



GRET

Professionnels du
développement
solidaire



DOCUMENT DE SYNTHÈSE

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

Synthèse réalisée 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 :



Ce document est une synthèse des résultats obtenus au cours du projet Typha réalisé par le Gret, l'Islet de Rosso et le Parc national du Diawling de 2011 à 2016. Il présente l'origine de l'expansion du *Typha australis* dans la zone, la filière bois-énergie en Mauritanie, la genèse du projet, les résultats de la production artisanale du charbon de Typha, les résultats de la production semi-industrielle de charbon de Typha, les effets de la coupe du Typha et les conclusions à tirer de ce projet.

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

- 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° 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* »
-

DOCUMENT DE SYNTHÈSE

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

Synthèse réalisée 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 du Diawling et l'Institut supérieur d'enseignement technologique de Rosso, entre septembre 2011 et avril 2016.

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'Apasus. 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'Apasus.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE POUR CITATION : Benjamin Trouilleux, *Production de charbon de Typha en alternative au charbon de bois en Mauritanie*, Synthèse rédigée dans le cadre du projet Typha, Paris, Gret, décembre 2015, 52 p.

COORDINATION : Julien Cerqueira.

CONTRIBUTEURS : Minh Cuong Le Quan, Tourad Ould Sery et Ludovic Milic.

ÉQUIPE OPÉRATIONNELLE DU PROJET : N'diaye Abderahmane (Gret), Aboubecrine N'dongo (Gret), Ludovic Milic (Gret), Benjamin Trouilleux (Gret), Tourad Ould Sery (Gret), Babana Ould Mohamed Lemine (Iset), Zeine El Abidine Sidatt (PND), Abdallahi Magrega (PND).

CRÉDITS PHOTOS : *Couverture* : © Benjamin Trouilleux (Gret), Babana Lemine (Iset) et Ludovic Milic (Gret). *Intérieur* : © Benjamin Trouilleux (Gret). Sauf p. 4 et 36 : © Jessica Rat (Gret) / p. 7 : © enhaut.org / p. 19 : © Ludovic Milic (Gret) / p. 20 : © Kevin Doussan (Iset) / p. 21 : © Marie Bessières (Gret).

MAQUETTE : Hélène Gay (Gret), Nancy Cossin.

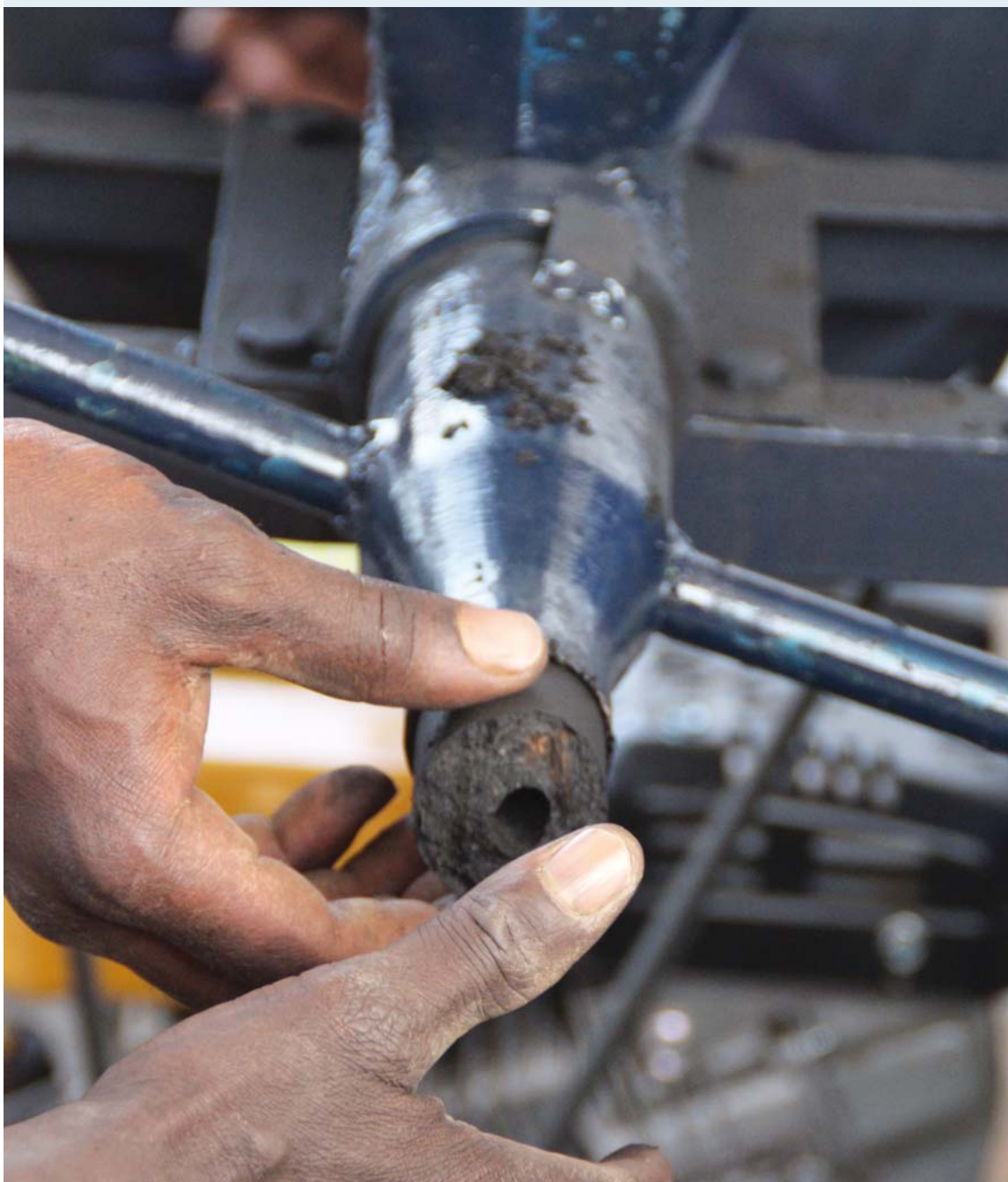
MOTS CLEFS : *Typha australis*, massette, quenouille, plante envahissante, plante invasive, biomasse, charbon de Typha, biocharbon, énergie renouvelable, biodiversité, Rosso, Trarza, Mauritanie, fleuve Sénégal, Parc national du Diawling, Iset de Rosso, Gret, etc.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	5
Le <i>Typha australis</i> dans le bas delta du fleuve Sénégal	5
Le bois-énergie en Mauritanie	8
Le projet Typha	9
FOCUS : Le charbon de bois à Rosso et Nouakchott	11
RÉSULTATS DU PROJET	15
Mise en place de sept unités de production artisanales de charbon de Typha	15
La production artisanale du charbon de Typha	15
Contexte des villages accueillant des unités artisanales	21
Mise en place des unités artisanales	22
Production et impacts	24
Une unité semi-industrielle à l'Iset	28
Contexte et choix technologiques	28
La production semi-industrielle de briquettes de charbon de Typha	29
Résultats obtenus	34
Commercialisation du charbon de Typha	35
Plan d'affaire de la production industrielle de charbon de Typha	39
La qualité des charbons de Typha	42
Laboratoire de mesures des caractéristiques physico-chimiques de l'Iset	43
Les caractéristiques des charbons de Typha et du charbon de bois	43
FOCUS : Le Typha en Mauritanie et les effets de la coupe	45
CONCLUSION	49

LE PROJET TYPHA

Ce document est une synthèse des résultats obtenus au cours du projet Typha réalisé par le Gret, l'Iset de Rosso et le Parc national du Diawling de 2011 à 2016. Il présente l'origine de l'expansion du *Typha australis* dans la zone, la filière bois-énergie en Mauritanie, la genèse du projet, les résultats de la production artisanale du charbon de Typha, les résultats de la production semi-industrielle de charbon de Typha, les effets de la coupe du Typha et les conclusions à tirer de ce projet.



Introduction

LE *TYPHA AUSTRALIS* DANS LE BAS DELTA DU FLEUVE SÉNÉGAL

★ Le bas delta du fleuve Sénégal, une zone écologique importante perturbée

Historiquement, le bas delta du fleuve Sénégal, au sud-ouest de la Mauritanie, est connu pour être parmi les zones humides les plus riches et étendues d'Afrique de l'Ouest. Cette zone est favorable à la reproduction de nombreuses espèces de poissons et d'oiseaux, dont des migrateurs des écozones paléarctique occidentale et afrotropicale. Les années 1970 ont été marquées par des sécheresses sévères et persistantes frappant tous les pays du Sahel et altérant durablement les écosystèmes. En réponse à ces événements, l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) a été créée pour améliorer l'autosuffisance agricole, l'accès à l'électricité hydraulique, le couvert végétal et la navigation fluviale dans la sous-région. Dans ce cadre, l'OMVS a mis en eau en 1988 le barrage anti-sel de Diama à 26 kilomètres en amont de Saint-Louis sur le fleuve Sénégal, frontière naturelle entre le Sénégal et la Mauritanie.

FIGURE 1 : LOCALISATION DU BARRAGE DE DIAMA



Le barrage permet d'empêcher les remontées d'eau de mer salée qui pouvaient aller jusqu'à 200 kilomètres de l'embouchure du fleuve dans les terres. Il permet aussi de contrôler les variations saisonnières du niveau d'eau, notamment pendant l'étiage. La combinaison de ces deux actions permet de rendre disponible de l'eau douce toute l'année pour l'agriculture sur les deux rives et pour l'approvisionnement en eau potable de Dakar, Nouakchott et de villages le long du fleuve. Ces effets positifs réels sont à mettre en perspective avec les bouleversements écologiques négatifs non anticipés induits par le barrage. Le principal est la prolifération de la plante *Typha australis* sur plus de 50 000 ha de terres et de fleuve, dont 24 000 ha en Mauritanie¹.

1. Estimation réalisée par le Gret et le PND sur la base de relevés GPS entre 2012 et 2014, d'images Google Earth 2013 et d'une image Spot 2007.

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

Synthèse réalisée dans le cadre du projet Typha



Le *Typha australis*



Une pirogue de pêcheur au milieu du *Typha australis*

Une grande partie des surfaces envahies se trouve dans le Parc national du Diawling (PND), créé en 1991 pour restaurer la biodiversité détruite par les sécheresses historiques et la construction du barrage de Diama, tout en appuyant ses 12 000 habitants à redévelopper des activités traditionnelles en interaction avec leur environnement. Pour lutter contre l'envahissement du *Typha* et favoriser la reproduction des poissons, le PND utilise les ouvrages hydrauliques afin de simuler les crues et décrues naturelles du fleuve dans les bassins du Parc. Le PND s'étend sur une superficie de 16 000 ha dont environ 2 800 ha sont occupés par le *Typha*. Depuis 2005, le PND fait partie de la Réserve biosphère transfrontalière (RBT) et est classé parmi les zones humides d'importance internationale de la convention de Ramsar (1994). La présence du Parc a permis à de nombreux écosystèmes de retrouver une grande partie de leur fonction, mais il reste à trouver des moyens de contrôle et de valorisation du *Typha*. Cela confirme l'importance des enjeux de conservation et de restauration liés à cette zone.

★ Le *Typha australis*

Le *Typha australis* (aussi appelé quenouille ou massette) est une plante herbacée, héliophyte, sociale et vivace de la famille des Typhacées. Il se propage par graines et par rhizomes en vastes peuplements denses (50 individus/m²) sur les berges et dans les zones à eau stagnante et faible courant d'une profondeur inférieure à 1,5 m. Il mesure jusqu'à 3,5 m de hauteur et 7 cm d'épaisseur au niveau de la tige et pèse 10 kg/m². Le *Typha* est une plante autochtone dont la prolifération était limitée par l'alternance naturelle entre l'eau douce et l'eau salée, et par les variations naturelles du débit et du niveau d'eau du fleuve. Le *Typha* est devenu envahissant au début des années 1990 à l'arrêt de ces phénomènes provoqué par la construction du barrage de Diama. Le mode de reproduction du *Typha* et sa biologie sont particulièrement adaptés au milieu qu'il occupe, cela lui confère un caractère dominant qui diminue fortement la biodiversité des espaces concernés. Il est souvent accompagné du *Phragmites australis* (roseau commun) dans les peuplements.

★ Les impacts négatifs de la présence du *Typha*

La présence de nombreux peuplements de *Typha* denses et vastes sur la rive mauritanienne du fleuve a des effets néfastes sur plusieurs aspects essentiels du bas delta :

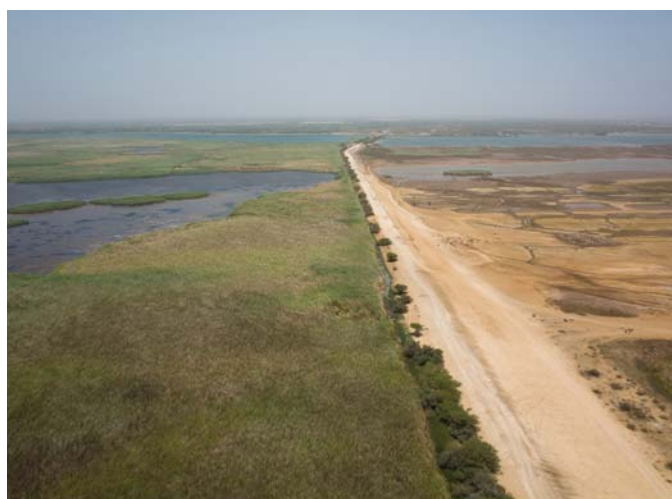
- **Agriculture** : accélération de l'envasement des axes hydrauliques et du colmatage des canaux d'irrigation, mauvaise hydraulité, augmentation de l'évapotranspiration, concurrence avec les cultures irriguées, envahissement de périmètres cultivés mal aménagés, habitat favorable aux oiseaux granivores.

- **Pêche** : difficulté d'accès à des zones de pêche navigables (plusieurs centaines de mètres de Typha entre la berge et le fleuve) et réduction du nombre d'espèces.
- **Élevage** : difficulté d'accès à l'eau, pâturage et recrudescence des maladies hydriques.
- **Santé humaine** : diminution de la qualité de l'eau à cause de l'eutrophisation, milieu favorable à la reproduction des moustiques porteurs du paludisme et des mollusques responsables de la bilharziose.
- **Biodiversité** : réduction de la présence d'espaces propices au développement d'espèces végétales utilisées par les populations (*Nymphaea lotus*) et d'espaces importants pour la reproduction des oiseaux et poissons.

La présence du Typha peut parfois être bénéfique pour la faune en facilitant la nidification de certaines espèces en les protégeant de certains prédateurs.

Le Typha est traditionnellement utilisé dans les villages en petite quantité pour confectionner des nattes et des habitations. Le bétail le consomme très rarement. L'impact de ces prélèvements sur la prolifération du Typha est nul.

➔ Pour plus d'information, consultez la fiche « *Le Typha australis* en Mauritanie ».



La digue sépare l'eau salée (à droite) de l'eau douce (à gauche)
Le barrage de Diama est au bout de la digue



Grande étendue de Typha sur le fleuve au niveau de l'ouvrage
de Cheyal



Maraîchage en bordure de Typha dans le Parc national du Diawling



Le village de Breune séparé du fleuve Sénégal par le Typha

LE BOIS-ÉNERGIE EN MAURITANIE

★ La dégradation des ressources ligneuses

La Mauritanie est un des pays les plus arides du Sahel (désertique sur 75 % du territoire). Cela n'est pas favorable à la présence d'un couvert forestier dense et induit un taux d'accroissement et de régénération annuel très faible des ressources ligneuses. Les différentes estimations² donnent le chiffre de moins de 4 % du territoire occupé par des formations ligneuses. Les données nationales sur l'évolution du couvert forestier sont inexistantes depuis 20 ans. Les connaisseurs du domaine s'accordent toutefois à dire que la production annuelle de ressources ligneuses est beaucoup plus faible que l'utilisation qui en est faite pour alimenter les filières, majoritairement informelles et illégales, de production de bois de chauffe et de charbon de bois à usage domestique (cuisson, chauffage, combustion de l'encens, repassage) et professionnel (restaurants, teintureriers, dibiteries, boulangeries, hammams). Le phénomène de dégradation de la forêt lié à l'utilisation du bois-énergie s'ajoute à la déforestation liée à la transformation d'espaces arborés en terres agricoles. Ces phénomènes induisent une amplification de la désertification des zones arables du pays qui fragilise un écosystème vulnérable en altérant les capacités de production agricole, végétale et animale vitales pour les populations.

★ Le bois, source principale d'énergie domestique

Malgré une forte pénétration du gaz en milieu urbain depuis le début des années 2000, le bois et le charbon de bois semblent toujours constituer les sources principales d'énergie domestique à l'échelle du pays à cause de l'utilisation massive du bois en milieu rural dans un pays recensant 3,5 millions d'habitants avec un taux d'urbanisation de 48 %³. Avec seulement 24 % de ménages de Nouakchott consommant du charbon de bois, contre 74 % consommant du gaz, les habitants de la capitale consomment au minimum 34 000 tonnes de charbon de bois par an sans compter les usages de charbon de bois des utilisatrices de gaz. En extrapolant les chiffres obtenus dans nos enquêtes à l'échelle du pays, la consommation de charbon de bois pourrait atteindre 147 000 tonnes/an⁴. Les zones de prélèvement du bois et de production du charbon de bois s'éloignent de plus en plus des

2. Espam (1988), FAO (1999) et Cilss/Predas (2006).

3. RGPH, 2013.

4. 34 000 tonnes (Nouakchott : 1 million d'habitants) + 61 300 tonnes (villes secondaires : 680 000 habitants sur la base de la consommation à Rosso) + 51 900 tonnes (milieu rural : 1,82 million d'habitants sur la base des villages du projet).



Meule traditionnelle de production de charbon de bois à 15 kilomètres à l'ouest de Rosso



Point de vente de charbon de bois à Rosso

centres urbains et des villages ruraux. L'accès au bois-énergie est donc de plus en plus difficile mais l'absence d'alternatives sérieuses en matière de coûts, de compatibilité aux usages traditionnels et d'accessibilité explique la persistance de cette source d'énergie.

LE PROJET TYPHA

★ Le charbon de Typha, une alternative au charbon de bois

Face à ces enjeux, le projet Typha proposait de produire du charbon à usage domestique à partir du *Typha australis* dans des villages le long du fleuve entre N'diogo et Tékane, dans l'objectif :

- d'atténuer la pression sur les ressources ligneuses due à la production du charbon de bois ;
- de rétablir des zones d'intérêts écologiques et économiques envahies par le Typha en instaurant une gestion stratégique des zones de coupe ;
- de générer des revenus complémentaires légaux pour les productrices de charbon de Typha.

Les moyens pour parvenir à l'émergence d'une filière de production ont été dans un premier temps le développement en laboratoire et en atelier d'un produit (recette) et d'un processus de production (équipements) adaptés aux usages et possibilités locales. Cela s'est poursuivi par l'accompagnement de coopératives agricoles à la production pilote du charbon de Typha dans sept unités artisanales (potentiel de production de 100 kg/j.) dans des villages de quelques centaines d'habitants non raccordés au réseau électrique. La production semi-industrielle (potentiel : 1 tonne/j.) a été testée au sein de l'Isset de Rosso afin d'être capable d'optimiser et de maîtriser complètement ce processus, avec l'objectif d'accompagner un ou plusieurs industriels à l'avenir. Enfin, la commercialisation du charbon de Typha industriel a permis de tester la satisfaction de ses utilisatrices en milieu urbain à Rosso et Nouakchott.

Le charbon de Typha se positionne comme une alternative légale, écologique et sociale au charbon de bois, dénuée de ses externalités négatives. Il permet de renforcer l'autonomie énergétique des populations en proposant un combustible accessible, de qualité, adapté aux usages traditionnels et produit localement avec des technologies appropriées à partir d'une ressource renouvelable nuisible.

★ Les partenaires de mise en œuvre et le budget du projet

Le projet Typha a été mis en œuvre entre septembre 2011 et avril 2016 (56 mois) par trois acteurs du développement :

- **le Gret**, ONG internationale française de développement solidaire créée en 1976 et présente en Mauritanie depuis 1991, était en charge de la coordination générale du projet et des activités socio-économiques comme l'appui organisationnel aux productrices de charbon de Typha et l'analyse des marchés des combustibles domestiques ;
- **l'Institut supérieur d'enseignement technologique de Rosso (Isset de Rosso)**, établissement public créé en 2009 dans l'objectif de proposer des formations répondant aux défis du développement durable des secteurs agropastoral et agroalimentaire, était en charge des aspects techniques du projet, à savoir le développement des processus artisanal et industriel de transformation du Typha en un charbon de qualité ;
- **le Parc national du Diawling (PND)**, établissement public à caractère administratif créé en 1991 afin de restaurer et préserver le bas delta du fleuve Sénégal, était en charge des aspects environnementaux du projet, comme le suivi des impacts de la coupe du Typha sur la biodiversité et l'accompagnement de l'unité de production artisanale pilote située dans sa zone.

TABLEAU 1 : PROFIL DES MEMBRES DE L'ÉQUIPE DU PROJET

Gret	Iset de Rosso	PND
* Chef de projet	* Enseignant-chercheur en génie mécanique	* Ingénieur environnementaliste
* Animateur-enquêteur	* Enseignant-chercheur en chimie	* Conservateur du PND
* Technicien supérieur en électromécanique	* Enseignant-chercheur en biologie végétale	* Cartographe/SIG
* Responsable marketing		
* Assistant technique		

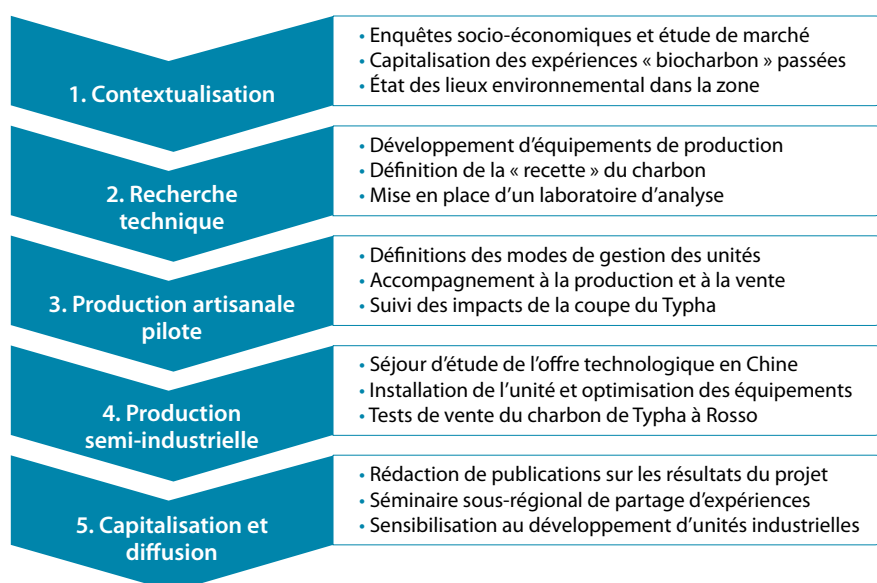
Le projet Typha était financé par l'Union européenne (UE) dans le cadre de la Facilité Énergie ACP-UE et l'Agence mauritanienne de promotion de l'accès universel aux services de base (APAU). Le budget du projet était de 1,5 million d'euros.

* La naissance du projet

Face aux impacts négatifs du Typha, plusieurs acteurs du développement de la sous-région (chercheurs, ONG, entrepreneurs) ont essayé dans le passé de le transformer en charbon. La plupart de ces initiatives ont été menées sur un temps court et avec des moyens limités, et elles n'ont pas permis d'aboutir à des résultats convaincants.

L'Iset de Rosso est l'acteur mauritanien qui a su s'appuyer sur ces expériences pour développer, en adaptant les technologies, un premier produit de qualité, composé uniquement de Typha. Lors d'une visite du Gret à l'Iset, l'idée de développer cette innovation et de travailler à sa diffusion avec les populations de la région a germé. C'est ainsi que le Gret a sollicité des bailleurs pour apporter des moyens importants permettant de financer dans la durée un projet de recherche-action autour de cette innovation. Ce projet a mobilisé des expertises en matière de recherche technique, d'écologie, de marketing et d'animation sociale. Le PND a rejoint l'équipe du projet du fait des problèmes sociaux et environnementaux liés à l'envahissement historique du Parc par le Typha.

* Les grandes phases du projet

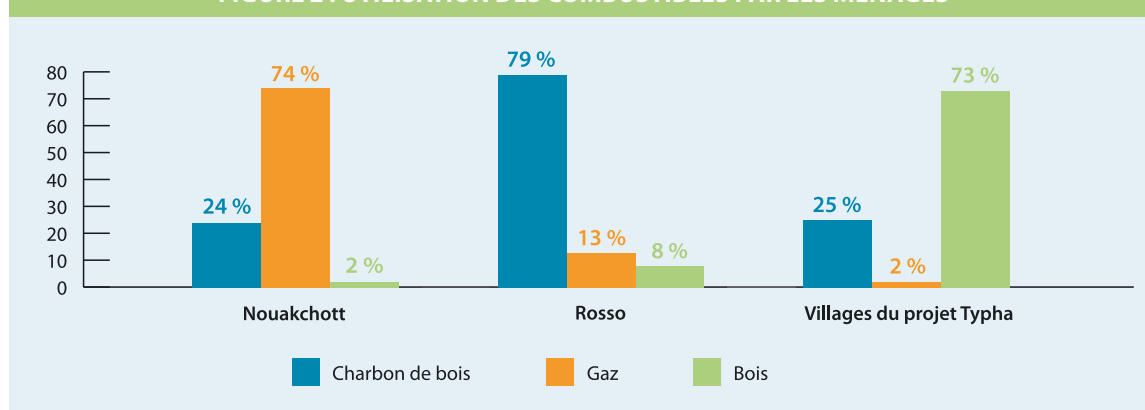


FOCUS : Le charbon de bois à Rosso et Nouakchott

Utilisation des combustibles domestiques par les ménages

Une série d'enquêtes et d'études de marché réalisées entre 2011 et 2014 a permis d'accumuler des informations sur les usages du charbon de bois par les ménages et professionnels, ainsi que sur l'organisation de la filière, du producteur au consommateur. Ces données concernent exclusivement les villages équipés d'une unité de production de charbon de Typha (Sud du Trarza) et les villes de Rosso et Nouakchott. Aucune donnée récente n'est disponible sur l'ensemble du pays.

FIGURE 2 : UTILISATION DES COMBUSTIBLES PAR LES MÉNAGES

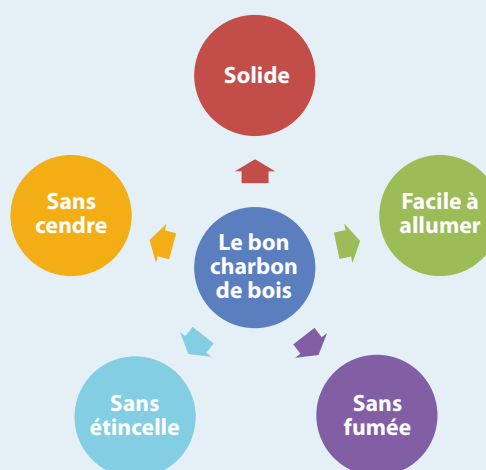


Sources : Gret

Le combustible le plus utilisé est le gaz à Nouakchott, le charbon de bois à Rosso et le bois dans les villages du projet équipés d'une unité de production. Bien que le gaz soit le combustible préféré des cuisinières pour sa rapidité et son confort d'utilisation, le bois et le charbon de bois demeurent très utilisés du fait de leur coût inférieur au gaz et de la possibilité de les acheter en petite quantité.

Pour les villages, la forte utilisation du bois s'explique du fait de sa disponibilité comme ressource « gratuite » à proximité de certains villages. Les familles n'achètent donc pas le bois mais le ramassent elles-mêmes. Le bois est utilisé dans des foyers trois pierres et le charbon de bois dans des foyers de type « malgache ». Le charbon de bois est principalement utilisé pour la cuisine (déjeuner et dîner), la préparation du thé, la combustion de l'encens, le chauffage (maison et eau chaude sanitaire) et le repassage (fers à repasser avec un compartiment à charbon).

FIGURE 3 : LES QUALITÉS D'UN BON CHARBON DE BOIS SELON LES UTILISATRICES



D'après les utilisatrices, un charbon de bois de bonne qualité doit d'abord être solide et sans fumée puis facile à allumer. Il ne doit pas produire trop de cendres et surtout pas d'étincelles.

TABLEAU 2 : ESTIMATION DES QUANTITÉS DE CHARBON DE BOIS CONSOMMÉES par les ménages déclarant utiliser le charbon de bois comme combustible principal à Nouakchott, Rosso et dans les villages du projet

	Nouakchott (1,1 million hab.) ⁵	Rosso (44 000 hab.) ⁶	Village type (moyenne 750 hab.) ⁷
Quantité consommée par mois	2 850 tonnes	405 tonnes	3 tonnes
Quantité consommée par an	34 200 tonnes	4 860 tonnes	36 tonnes
Valeur économique annuelle estimée	24 millions €	2 millions €	12 000 €
Nombre d'arbres coupés par an (estimation : 3 arbres/t)	102 600 arbres	14 600 arbres	108 arbres
Équivalent annuel en surface de Typha (production industrielle)	2 050 ha	290 ha	2 ha

Malgré la forte utilisation du gaz à Nouakchott, la capitale de la Mauritanie consomme chaque jour l'équivalent de six camions semi-remorques pleins de charbon de bois issus principalement de l'est du pays et de la vallée du fleuve Sénégal, plus particulièrement des alentours de Rosso.

La région de Rosso fait donc face à deux enjeux écologiques majeurs : la présence du Typha et la sur-utilisation de la ressource ligneuse pour répondre aux besoins en charbon de la capitale.

TABLEAU 3 : PRIX ET COÛTS D'UTILISATION QUOTIDIENNE DU CHARBON DE BOIS PAR LES MÉNAGES

	Nouakchott (1,1 million hab.)	Rosso (44 000 hab.)	Village type (moyenne 750 hab.)
Prix moyen du kg de charbon	0,70 € (250 MRO)	0,36 € (130 MRO)	0,31€ (110 MRO)
Consommation du ménage type	2,5 kg/jour	2,5 kg/jour	2,5 kg/jour
Coûts mensuels pour le ménage type	52 € (18 750 MRO)	27 € (9 750 MRO)	23 € (8 250 MRO)

Un ménage qui habite Nouakchott, Rosso ou un des villages du projet est constitué de huit personnes en moyenne et dépense entre 23 € et 52 € par mois pour sa consommation de charbon de bois. À titre de comparaison, un travailleur journalier gagne entre 100 € et 135 € par mois⁸.

D'autres acteurs consomment du charbon de bois en grande quantité mais ne sont pas intégrés dans les estimations ci-dessus. Les professionnels comme les restaurants et les dibiteries consomment du charbon de bois pour réaliser des grillades de viande dans les villes. Chaque professionnel consomme entre 5 et 10 kg de charbon de bois par jour.

5. CUN (2009).

6. PDL Rosso (2010).

7. Enquêtes du Gret dans les villages du projet (2012 à 2014).

8. Calcul par rapport au revenu moyen d'un ménage en Mauritanie.

La filière du charbon de bois à Rosso et Nouakchott

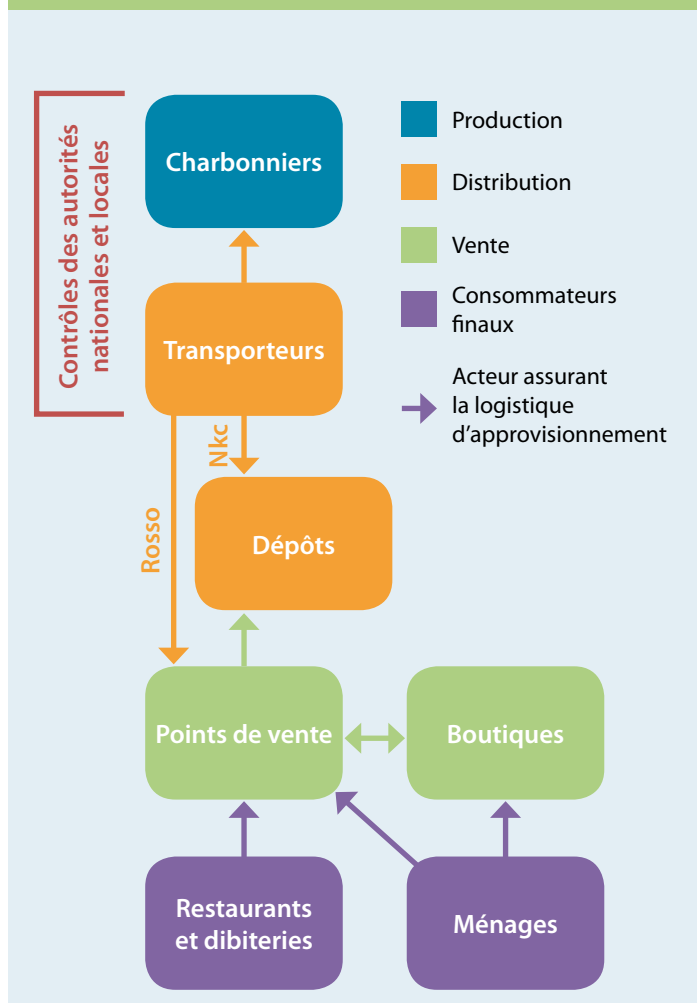
L'analyse de la filière du charbon de bois pour les villes de Rosso, en tant que zone de production importante de charbon de bois, et de Nouakchott, en tant que zone de consommation de masse, fournit un bon aperçu de l'organisation générale de la filière pour la Mauritanie. La figure 4 ci-dessous présente les principaux acteurs de cette filière et leurs relations, sur la base des résultats d'une enquête spécifique réalisée en novembre 2014. Le sens de la flèche correspond à l'acteur qui organise l'approvisionnement.

Le cadre législatif mauritanien (code forestier principalement) interdit la coupe des arbres sans autorisation de défrichage pour le propriétaire du terrain qui est taxé en fonction de sa superficie. Il l'interdit sans permis de coupe pour le producteur qui est taxé au volume d'arbres coupés. Enfin, le transport de charbon de bois sans autorisation est interdit et est taxé à 277 €/an (100 000 MRO/an) et 139 € (50 000 MRO) pour chaque sortie de la région d'origine de la production ainsi qu'au nombre de sacs. La réalité est toute autre : la grande majorité des charbonniers coupent le bois illégalement de manière aléatoire autour de Rosso, sans être inquiétés par la Délégation régionale de l'environnement et du développement durable (DREDD) qui a le mandat de surveillance. Les taxes payées par les charbonniers et transporteurs le sont de façon très aléatoire, la plupart du temps sans remise de reçu. Ce système de malversation est connu en Mauritanie mais les enjeux financiers liés à la filière (26 M€ de CA annuel) et le manque de moyens et de volonté de l'État semblent le faire perdurer.

Les charbonniers sont souvent indépendants et spécialisés dans ce métier. Ils produisent le charbon de bois dans des meules traditionnelles en coupant deux à trois arbres dans un rayon de 10 à 20 kilomètres autour de Rosso. Une meule permet d'obtenir environ une tonne de charbon de bois en cinq jours. Les charbonniers ont des problèmes de production pendant la saison des pluies (hivernage). Cela explique les pénuries et l'augmentation du prix du charbon pendant cette période de l'année. Ils utilisent beaucoup le *Prosopis juliflora* qui est considéré comme envahissant dans certaines zones, ainsi que de nombreuses essences protégées par l'article 44 du code forestier comme l'*Acacia nilotica*, l'*Acacia sénégale*, l'*Acacia radiana* et le *Commiphora africana*.

Les transporteurs font des tournées dans la zone de production sur la base d'informations fournies par des indicateurs pour acheter la production des charbonniers indépendants. Une fois les 4x4 ou les camions remplis, ils les amènent directement dans leurs propres **dépôts** à Nouakchott ou dans des points de vente à Rosso. Les dépôts

FIGURE 4 : ORGANISATION DE LA FILIÈRE DU CHARBON DE BOIS ENTRE ROSSO ET NOUAKCHOTT



sont des zones de déchargement spécifiques à Nouakchott pouvant contenir plusieurs dizaines de tonnes de charbon. Les propriétaires des **points de vente** vont s'approvisionner auprès des dépôts en gros sacs (ou directement auprès des transporteurs pour Rosso). Ces points de vente revendent uniquement du charbon de bois en détail aux **boutiques, aux consommateurs professionnels** et aux ménages. Un très grand réseau de boutiques indépendantes permet de revendre, en plus d'autres marchandises, le charbon aux **ménages** dans des sachets plastiques contenant 500 g et 1 kg à Nouakchott et 850 g à Rosso.

Les acteurs clés de la filière sont les transporteurs propriétaires de dépôts à Nouakchott. L'enquête réalisée durant le projet a permis d'estimer qu'une dizaine de transporteurs se partage le marché de la capitale. Cela leur donne une position de domination et de force dans leur rapport avec les producteurs en amont et les points de vente en aval ainsi que vis-à-vis des autorités étatiques qui souhaiteraient réguler la filière.

L'analyse de la filière permet de fournir des indications sur le prix de vente, d'un acteur au suivant, pour un kilogramme de charbon de bois à Rosso et à Nouakchott. Les prix indiqués rendent compte de l'ensemble de la filière du producteur, le charbonnier, au consommateur qui achète le charbon à 0,36 €/kg (130 MRO/kg) à la boutique à Rosso et 0,69 €/kg (250 MRO/kg) à la boutique à Nouakchott. Attention, ces chiffres sont donnés à titre indicatif ; ce sont des moyennes qui sont issues de recoupements effectués suite à des entretiens avec plusieurs acteurs de la filière. Ils permettent de comprendre les ordres de grandeurs dans la chaîne de valeur du charbon, de sa production à sa commercialisation, mais ne doivent pas être pris comme des valeurs absolues.

TABLEAU 4 : PRIX DE VENTE D'UN KILOGRAMME DE CHARBON À ROSSO EN FONCTION DE L'ÉTAPE DE LA FILIÈRE

Charbonniers	→	Transporteurs	→	Points de vente	→	Boutiques
0,15 €/kg 55 MRO/kg		0,24 €/kg 85 MRO/kg		0,28 €/kg 100 MRO/kg		0,36 €/kg 130 MRO/kg

TABLEAU 5 : PRIX DE VENTE D'UN KILOGRAMME DE CHARBON À NOUAKCHOTT EN FONCTION DE L'ÉTAPE DE LA FILIÈRE

Charbonniers	→	Transporteurs	→	Points de vente	→	Charretiers	→	Boutiques
0,06 €/kg 20 MRO/kg		0,37 €/kg 133 MRO/kg		0,42 €/kg 150 MRO/kg		0,61 €/kg 220 MRO/kg		0,69 €/kg 250 MRO/kg

Résultats du projet

MISE EN PLACE DE SEPT⁹ UNITÉS DE PRODUCTION ARTISANALES DE CHARBON DE TYPHA

La première phase du projet (1. *Contextualisation*) a permis d'accumuler des informations sur les habitudes de consommation du charbon de bois des cuisinières et sur l'organisation des villages touchés par le Typha dans la zone du projet. La seconde phase du projet (2. *Recherche technique*) a permis de développer en atelier et en laboratoire des équipements artisanaux appropriés pour produire un charbon de Typha de qualité adapté aux usages.

Suite à ces deux premières étapes, trois unités « pilotes » de production ont été installées pour tester le processus de transformation de la plante en charbon et l'organisation que cela implique dans les différents villages (3. *Production artisanale pilote*). À cette phase pilote a succédé une phase de diffusion durant laquelle quatre nouvelles unités de production ont été installées.

Les sept villages ont été sélectionnés sur la base des critères suivants :

- présence en quantité importante de Typha accessible aux abords du village (critères d'analyse : distance, profondeur) ;
- impacts négatifs importants du Typha sur la vie des habitants (critères d'analyse : activités économiques, santé, mobilité) ;
- présence de groupes, coopératives, associations intéressés pour la production du charbon ;
- présence d'un marché minimum de consommation de charbon de bois.

* La production artisanale du charbon de Typha

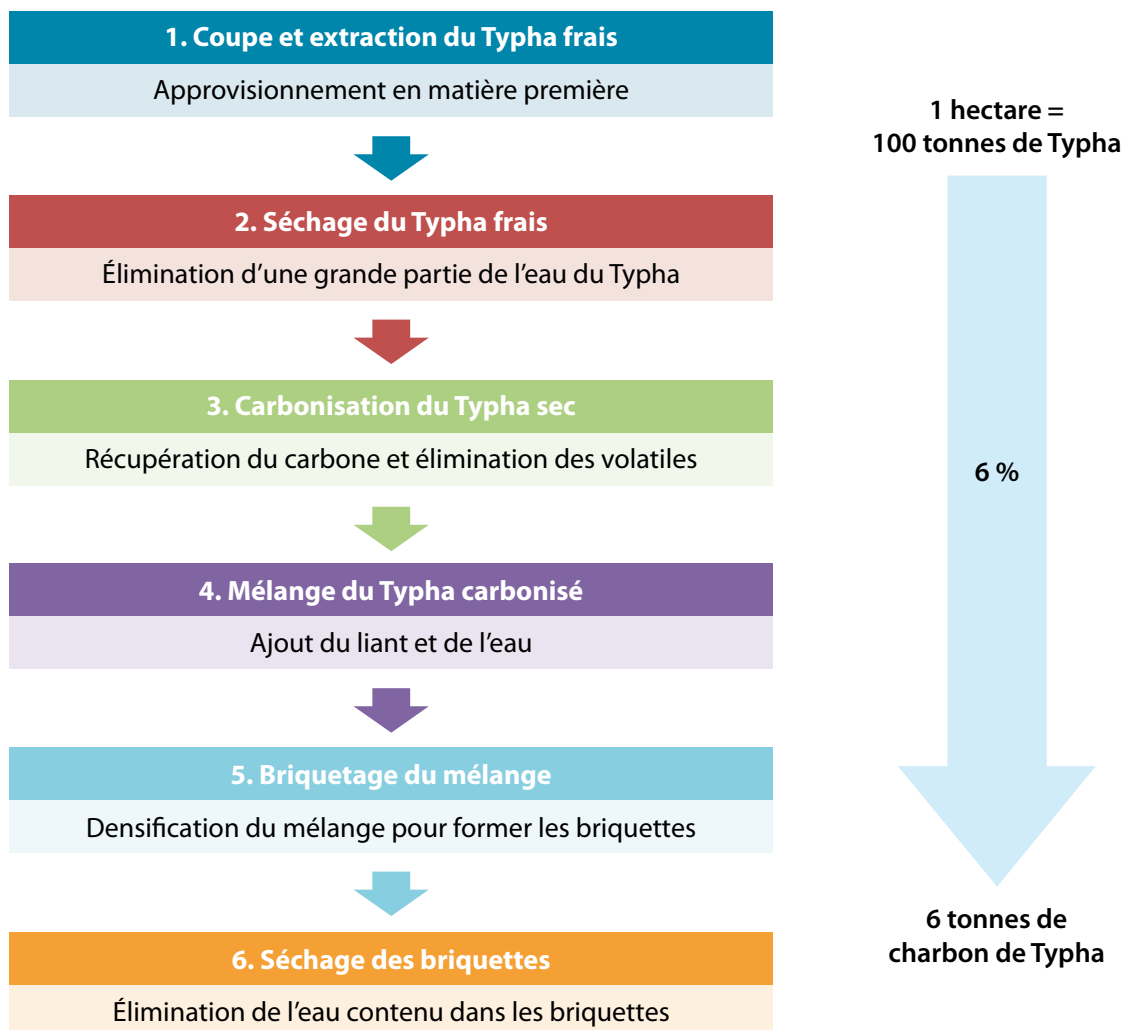
Le charbon de Typha est constitué intégralement de *Typha australis* en tant que matière première combustible, à laquelle est ajouté un liant. Le processus de production du charbon est un enchaînement d'étapes interdépendantes qui mobilisent des techniques particulières et nécessitent l'utilisation d'équipements spécifiques. Ce processus permet de transformer la plante à l'état naturel en charbon après carbonisation puis densification. Cette transformation rend possible son utilisation dans les foyers de combustion des cuisinières. Après toutes les étapes de production, la masse de charbon de Typha produite représente 6 % de la masse de Typha frais coupé.



Combustion du charbon de Typha

9. Initialement huit unités de production ont été installées dans huit villages de la zone. Cependant l'unité de Keur Macène n'a jamais dépassé le stade des tests car le Typha présent à proximité du village y a brûlé intégralement quelques temps après l'installation. Cette unité n'est donc pas intégrée à la capitalisation.

Les étapes du processus de production artisanal du charbon de Typha



Techniques de production adaptées au contexte rural

Les techniques et équipements utilisés dans les villages sont appropriés à leur contexte, et notamment à l'absence de réseau électrique. Les machines et équipements de production utilisés sont conçus et fabriqués à l'Islet de Rosso en Mauritanie et adaptés aux capacités de maintenance disponibles à proximité des villages ainsi qu'au dimensionnement des unités de production artisanales. Tous les équipements sont réparables localement. Le détail des étapes de production du charbon de Typha est synthétisé ci-dessous.

Capacité de production d'une unité

Une unité de production type composée de quatre carbonisateurs et d'une presse permet une production maximale de 100 kg/jour soit environ 2 tonnes par mois. Le goulot d'étranglement est le nombre de carbonisateurs. Ce niveau de production implique une mobilisation quotidienne jamais atteinte dans les unités du projet. Les producteurs ont toujours considéré la production comme une activité complémentaire à leur activité principale du fait de la nouveauté de celle-ci. Les unités en place peuvent produire entre 400 et 600 kg par mois lorsque l'ensemble des facteurs sont réunis. Le descriptif présenté ci-dessous fait référence à un scénario de production atteignable de 800 kg/mois.

Le processus de production artisanal par étape

• **Coupe et extraction**

La coupe du Typha est une étape importante pour la production du charbon mais aussi pour les impacts positifs que cela peut apporter au village. Il est important de choisir une zone de coupe qui pourra être valorisée à travers des activités comme la pêche, l'agriculture ou l'accès à un point d'eau. Cette zone doit toutefois être peu profonde et s'étendre en largeur le long de la berge, car au-delà de la coupe de la plante, c'est l'extraction de la matière hors de l'eau qui est très chronophage et difficile physiquement. La mécanisation de la coupe est difficile à cause de la variabilité des fonds.

TABLEAU 6 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE COUPE

Capacité de production (avec extraction) par coupeur	Masse de Typha par m ²	Équipements	Personnel nécessaire minimum
15 m ² /h	10 kg/m ²	Faucilles, waders, gants	2



Coupe manuelle du Typha



Séchage naturel du Typha

• **Séchage naturel**

Le Typha frais coupé contient beaucoup d'eau. Il est important de le faire sécher avant de le transformer car l'eau contenue dans le Typha a un impact négatif sur le rendement de la carbonisation. Après séchage, le Typha ne pèse plus que 35 % de sa masse initiale. La zone de séchage au sol doit être proche de la zone de coupe (moins de 50 m), ensoleillée et protégée du passage des animaux. Le séchage naturel extérieur fait que la production de charbon est impossible pendant la saison des pluies. Le transport de la zone de coupe à la zone de séchage se fait par fagot ou avec une charrette.

TABLEAU 7 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE SÉCHAGE

Nombre de jours de séchage	Rendement du séchage	Équipements de protection	Emprise au sol
10 à 14 jours	35 %	Gants	1 m ² coupé = 1,6 m ² étalé

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

Synthèse réalisée dans le cadre du projet Typha

• Carbonisation

L'étape de carbonisation est l'étape la plus technique du processus. Elle permet de faire passer le Typha de l'état de biomasse à l'état de poudre composée principalement de carbone afin d'éliminer du Typha tous les éléments qui pourraient être source de fumée, d'odeurs et d'étincelles. Cette poudre est obtenue en carbonisant du Typha sec en atmosphère contrôlée (apport limité en oxygène). Le volume occupé par le Typha carbonisé est réduit drastiquement par rapport au Typha sec. Cette étape se fait dans des carbonisateurs métalliques en tôle galvanisée constitués d'un cylindre, d'un couvercle et d'un chapeau fabriqués à l'Iset de Rosso. La carbonisation du Typha est dite rapide comparée aux carbonisations de plusieurs jours nécessaires pour le charbon de bois.

TABLEAU 8 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE CARBONISATION

Rendement de carbonisation	Masse de Typha sec/ Typha carbonisé	Durée d'une carbonisation	Personnel nécessaire minimum
15 %	90 kg/13,5 kg	7 h	2



Carbonisation du Typha



Poudre de Typha et argile

• Mélange avec le liant

Le Typha carbonisé est très friable, il ne peut pas être utilisé directement comme combustible. Afin de pouvoir le compacter, il est nécessaire de le broyer grossièrement et de le mélanger à un liant et de l'eau. Les liants utilisés dans les unités sont l'argile ou la gomme de *Acacia tortilis raddiana*. Il faut mélanger 1 kg de poudre de Typha avec 1 litre d'eau et 150 g d'argile ou 50 g de gomme. Le mélange se fait à la main dans des demi-barils couverts d'une bâche.

TABLEAU 9 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DU MÉLANGE

Quantité de Typha carbonisé	Quantité d'argile	Quantité de gomme	Quantité d'eau
1 kg	150 g (15 %)	50 g (5 %)	1 litre

- **Briquetage**

L'étape de briquetage permet de transformer le mélange en briquettes adaptées aux fourneaux des cuisinières. La méthode utilisée suit le principe de l'extrusion : le mélange ajouté par la trémie d'alimentation est acheminé et compressé grâce à une vis sans fin à travers le fourreau de la presse jusqu'à la filière cylindrique en sortie qui donne sa forme finale au charbon. La presse a été conçue et fabriquée à l'Iset de Rosso. Elle est composée d'un moteur thermique à essence de 4,3 chevaux qui entraîne la vis via une transmission par poulie/courroie.



Briquetage du mélange dans la presse

TABLEAU 10 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE BRIQUETAGE

Capacité de production (avec extraction) par coupeur	Consommation d'essence	Personnel nécessaire minimum	Équipements de protection
25 kg/h	0,25 l/h	2	Gants, protège trémie

- **Séchage naturel**

Le séchage des briquettes sur des claies amovibles permet d'extraire l'eau ajoutée lors du mélange. Il doit durer au minimum trois jours avant de pouvoir stocker, en fin de journée (pour éviter la reprise d'humidité de la nuit), les briquettes dans des sacs dans un lieu sec et sécurisé.



Séchage du charbon de Typha

Fabrication locale et coûts

Les carbonisateurs, presses et claies de séchage ont été conçus et fabriqués à l'Iset de Rosso. Cela a permis d'innover par incrémentation d'une unité à l'autre pour aboutir à des équipements en version finale lors de l'installation des quatre dernières unités artisanales. La fabrication des équipements nécessite des matières premières disponibles à Nouakchott et des soudeurs compétents. Les villages ne disposant pas de locaux ont été équipés d'un bâtiment permettant l'étape de briquetage et le stockage des équipements et du charbon de Typha. Le coût d'une unité de production, en intégrant la main-d'œuvre pour la fabrication, est estimé à environ 9 200 euros. Il se décompose comme suit :



Tôles en acier galvanisé qui composent le carbonisateur

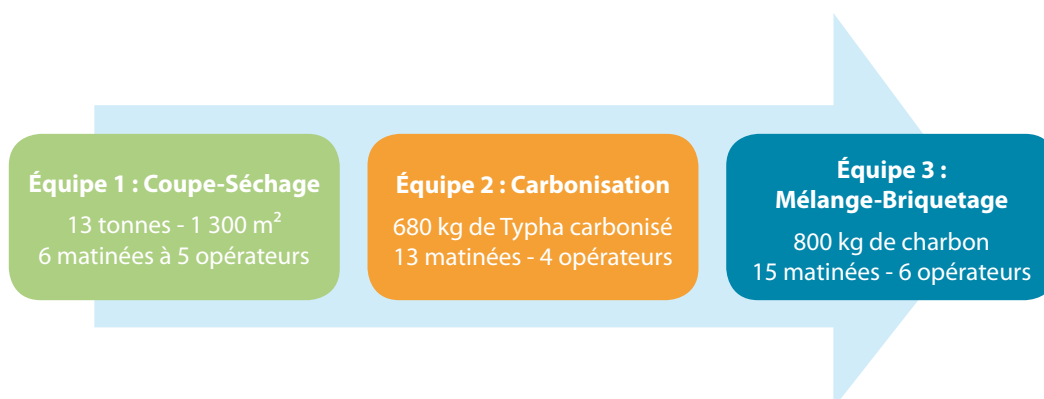
TABLEAU 11 : COÛTS D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION ARTISANALE

Carbonisateurs (4), presses (1) et claies (1)	Équipements de production et de protection	Construction du bâtiment – 21 m ²	Total
5 780 €	1 590 €	1 800 €	9 170 €

Les équipements sont fabriqués à partir d'éléments réparables localement par des soudeurs ou des mécaniciens. La maintenance se limite à l'entretien du moteur de la presse et au nettoyage des équipements après leur utilisation. Il est toutefois nécessaire de protéger les équipements avec des bâches lors de la saison des pluies, notamment les carbonisateurs en acier galvanisé.

Organisation de la production

Les groupes gestionnaires des unités se sont souvent organisés en trois équipes. Chaque équipe de production se spécialise sur une étape du processus. Une coordinatrice est chargée d'assurer le lien entre toutes les équipes et de renseigner les outils de suivi de la production et de la vente. L'organisation type pour atteindre un niveau de production de 800 kg en un mois est la suivante :



Une dernière équipe s'occupe de l'emballage dans du papier de sac de ciment usagé et de la vente du charbon. Cette vente se fait, en fonction des villages, dans des familles de productrices, au marché, à l'unité de production et lors de ventes ambulantes.

Formations et suivi technique par l'équipe du projet

Les formations techniques se concentrent sur les étapes de carbonisation et de mélange/briquetage. Ces deux étapes nécessitent d'être réalisées au moins quatre fois avec l'équipe du projet pour que les producteurs acquièrent les bases leur permettant d'être autonomes. L'équipe technique effectue ensuite une visite chaque semaine pendant les premiers mois de production, pour vérifier que la maîtrise des étapes est totale et assurer le suivi de la production en ce qui concerne la qualité et la quantité.

➔ Pour plus d'information, consultez le Cahier technique n° 1 : « Guide de production artisanale de charbon de Typha ».

★ Contexte des villages accueillant des unités artisanales

TABLEAU 12 : LISTE DES VILLAGES ÉQUIPÉS D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION ARTISANALE DE CHARBON DE TYPHA

Villages	Communes	Population (hab.)	Consommation de charbon de bois (tonnes/mois)	Superficie de Typha à moins d'1 km du village (ha)
Bouhajra	N'diogo	340	0,4	135
Breune	Rosso	1 120	0,8	12
Tounguène	Rosso	500	3	60
Garack	Rosso	930	3	36
Chgara	Rosso	800	4,5	8
Keur Madické	Rosso	330	1,2	47
Oumou El Ghoura	Tékane	1 930	12	53
Moyennes		850	3,5	50
Totaux		5 950	25	351

Les variations de consommation de charbon de bois sont principalement liées au niveau d'accessibilité du bois aux alentours des villages. Plus le bois consommable est proche, plus les habitants le ramassent eux-mêmes et l'utilisent pour leurs besoins énergétiques quotidiens. La consommation du bois comme combustible principal concerne en moyenne 73 % des ménages de ces villages. Dans certains villages, 95 % de ménages utilisent principalement le bois.

Pourtant le bois n'est pas apprécié par les cuisinières à cause de l'intense fumée qu'il dégage, mais sa « gratuité » explique sa persistance en milieu rural. Dans les sept villages, la part d'utilisatrices de charbon de bois représente une quantité suffisante pour y installer des unités de production. Le dimensionnement technique des unités a été adapté en fonction du marché potentiel de chaque village qui ne doit pas être inférieur à 400 kg de charbon de bois par mois.

En moyenne, 8 % des surfaces se trouvant à moins d'un kilomètre des sept villages concernés sont occupés par le Typha, soit l'équivalent de 50 ha de Typha par village. Cela représente un potentiel de plus de 300 tonnes de charbon de Typha artisanal. Dans tous ces villages, les activités telles que la pêche et l'agriculture ainsi que l'accès à une eau propre sont rendus difficiles voire impossibles par la présence du Typha en colonies denses et larges.

* Mise en place des unités artisanales

Activités et méthodologie

L'accompagnement de sept unités dans le cadre du projet a permis de définir un processus type pour mettre en place une unité artisanale. Lorsqu'un village était choisi sur la base des critères de sélection, 22 activités étaient mises en place par le Gret, ses partenaires et les habitants du village, pour mieux connaître l'organisation du village, définir un mode de gestion de l'unité, choisir un opérateur, former les producteurs et suivre le bon fonctionnement de l'unité pendant six mois. Ce processus se découpe en trois grandes phases pour une durée totale de 9,5 mois :

TABLEAU 13 : LES TROIS PHASES DU PROCESSUS D'INSTALLATION D'UNE UNITÉ ARTISANALE

A. Diagnostic et enquêtes	B. Déploiement technique	C. Accompagnement, suivi et maintenance
≈ 2,5 mois	≈ 1 mois	≈ 6 mois

TABLEAU 14 : LISTE DÉTAILLÉE DES ACTIVITÉS PAR PHASE POUR L'INSTALLATION D'UNE UNITÉ ARTISANALE

N°	Activité	Outils	Temps indicatif de réalisation ¹⁰
A1	Recensement exhaustif de la population.	Fiche de recensement et rapport	3 jours
A2	Enquête organisationnelle approfondie auprès de tous les groupes, associations, GIE, entreprises et coopératives pour connaître leurs activités, leur organisation, leurs capacités et leur motivation.	Note méthodologique et fiche d'enquête	7 jours
A3	Étude de marché sur l'utilisation des combustibles domestiques et les volumes consommés.	Note méthodologique et rapport	5 jours
A4	Visite d'échange des habitants intéressés dans une unité de production fonctionnelle du projet.	Note méthodologique	2 jours
A5	Focus group sur les modes de gestion possibles de l'unité regroupant les principaux acteurs du village et les habitants intéressés.	Note méthodologique et rapport	3 jours
A6	Choix du mode de gestion et de l'opérateur après plusieurs rencontres.	Rapport	1 mois
A7	Validation du choix de l'opérateur par la commune.	PV	7 jours
A8	Visite technique afin de déterminer la zone de coupe et l'emplacement des carbonisateurs.	Note méthodologique et rapport	2 jours
A9	État des lieux de la biodiversité sur la zone de coupes.	Note méthodologique et rapport	3 jours
A10	Réalisation du plan d'affaire de l'unité de production avec l'opérateur permettant de cadrer le dimensionnement de l'unité en fonction du marché et de ses ressources. Ce plan définit également le circuit de vente et la répartition des bénéfices.	Plan d'affaire	8 jours

10. La durée des activités est une moyenne. Elle est variable en fonction de la taille du village. Elle inclut le remplissage des outils.

N°	Activité	Outils	Temps indicatif de réalisation ¹⁰
A11	Validation finale du plan d'affaire avec l'opérateur.	Présentation du plan d'affaire simplifié	7 jours
A12	Contractualisation entre le projet et l'opérateur pour concrétiser l'appui financier du projet (subvention en équipement et fonds de roulement).	Contrat	2 jours
B13	Rénovation ou construction du bâtiment abritant l'unité de production (stockage et presse).	Plans et devis	14 jours
B14	Panneau de communication affiché à l'unité.	Fichier du panneau et panneau	3 jours
B15	Formation de l'opérateur en organisation et gestion d'une unité de production de charbon de Typha.	Guide de formation en organisation et gestion	2 jours
B16	Installation des équipements de production.	Inventaire et décharge	1 jour
B17	Formation technique au processus de production.	Guide de formation technique	5 jours
B18	Journée de lancement avec des activités de sensibilisation autour du Typha et de promotion du charbon de Typha.	Note méthodologique et rapport	3 jours
C19	Suivi de la gestion et des ventes (trois mois minimum).	Fiches de suivi en gestion et ventes	½ journée 1 fois/semaine
C20	Suivi technique de la production et tests de la qualité du charbon produit en laboratoire (trois mois minimum).	Fiche de suivi technique	1 journée 1 fois/semaine
C21	Enquête de satisfaction auprès des utilisatrices du charbon de Typha.	Questionnaire et rapport	3 jours tous les 6 mois
C22	Bilan technico-économique et environnemental des six premiers mois de production	Note	3 jours après 6 mois



Entretien lors d'une enquête organisationnelle par l'animateur du projet



Visite d'échange de l'équipe de production de Bouhajra à Garack

Les modes de gestion des unités

Les unités de production sont gérées de différentes manières, mais toujours par des habitants du village.

Le terme de « gestion » englobe la coordination des étapes techniques de production du charbon, l'organisation de la vente et la gestion économique de l'unité.

On distingue quatre types d'organisation en fonction des unités :

- **Coopératif féminin** : dans ce mode d'organisation, la gestion de l'unité est confiée par les représentants du village à une coopérative agricole féminine du village. Ce fonctionnement implique que les femmes payent des hommes du village ou des alentours pour la coupe du Typha qu'elles ont du mal à réaliser elles-mêmes. Les femmes coupent le Typha dans un seul village du projet (Chgara). Les autres étapes sont intégralement réalisées par les femmes de la coopérative avec un roulement des équipes de production du fait du grand nombre de femmes membres des coopératives. Lorsque certaines femmes produisent le charbon, d'autres membres s'occupent de leur parcelle agricole. Les bénéfices générés par la vente du charbon dans le village alimentent les fonds de la coopérative et permettent d'effectuer des réparations ou des acquisitions d'équipements agricoles. L'unité de production qui représente le mieux cette gestion est celle de Garack où la presque totalité des femmes du village font partie de la coopérative. L'unité de Chgara fonctionne aussi selon cette organisation.
- **Coopératif mixte** : dans ce type d'organisation, une coopérative féminine et une coopérative masculine dirigent l'unité en cogestion et se répartissent les tâches. Les hommes s'occupent de l'approvisionnement en Typha et les femmes de la transformation et de la vente. Ce type d'organisation permet une coopération des villageois dans l'intérêt du village. Cette coopération est en place dans plusieurs villages comme Keur Madické, Breune et Oumou El Ghoura.
- **Groupe de femmes** : ce mode de gestion est issu du dysfonctionnement d'une association de coopératives mixtes à Bouhajra au PND. Le résultat a été que huit femmes se sont associées par intérêt pour l'activité de production de charbon de Typha et ont repris l'activité. Elles gèrent cette activité en complément de leurs autres activités personnelles et s'entraident lorsqu'elles sont mobilisées sur des activités de production ne leur permettant pas d'être sur leur parcelle de maraîchage.
- **Privé** : ce modèle est expérimenté à Tounguène. L'unité de Tounguène est gérée par un habitant du village de manière indépendante. Il gère seul une petite production en complément de son activité principale et récolte entièrement les bénéfices de son travail. Ce mode de gestion a émergé dans ce village car aucune structure existante ne s'était dégagée pour assurer la production du charbon.

Quel que soit le mode de gestion des unités de production, la production de charbon de Typha est une activité génératrice de revenus complémentaires pour les entités opératrices. Elle n'est jamais considérée comme une activité principale.

★ Production et impacts

Production atteinte

L'unité qui a produit le plus de charbon est celle de Garack qui a démarré en décembre 2012. Les mois où toutes les bonnes conditions étaient réunies (matière première, équipements, disponibilité des membres, météo), la production atteignait 400 kg/mois. À Garack, le prix de vente du charbon de Typha est de 0,28 €/kg (100 MRO/kg) contre 0,33 €/kg (120 MRO/kg) pour le charbon de bois. Dans la plupart des villages, le charbon de Typha est vendu 15 à 20 % moins cher que le charbon de bois.

TABLEAU 15 : PRODUCTION ARTISANALE DE CHARBON DE TYPHA ATTEINTE DANS LES VILLAGES DU PROJET

Villages	Production moyenne par mois de production	Production maximale	Production totale de charbon de Typha	Superficie totale de Typha coupé (m ²)
Bouhajra	61	150	1 033	1 721
Breune	43	66,5	172	286
Tounguène	23	58	205	341
Garack	129	440	2 069	3 448
Chgara	24	50	192	320
Keur Madické	31	67	93	155
Oumou El Ghoura	72	157	216	360
Moyennes	54,7	131,7	568,5	947
Total			3 980	6 631

Comme le montre le tableau, la production a été variable en fonction des unités. Globalement, la production de charbon de Typha artisanal n'a pas atteint les objectifs quantitatifs fixés avant le démarrage du projet pour plusieurs raisons :

- le démarrage de la production a été retardé car les technologies disponibles localement pour transformer la plante en charbon avaient besoin d'électricité. Cependant aucun village de la zone du projet n'est raccordé au réseau électrique. De nouveaux équipements ont été développés pour pallier ce problème mais ils ont des capacités de production inférieures aux précédents. Ensuite, la phase pilote sur le terrain a été longue car elle a été source d'un apprentissage mutuel pour l'équipe du projet et les producteurs qui ne favorisent pas la production quantitative à tout prix ;
- la nouveauté de l'activité et sa rentabilité potentielle ont limité pendant un temps l'implication totale des producteurs qui conservaient leur revenu principal en n'accordant qu'une faible partie de leur temps à la production du charbon. Les bénéfices économiques liés à l'activité sont faibles et les bénéfices indirects sur l'environnement local prennent quelques mois avant d'être visibles. De plus, ces derniers effets concernent tout le village et pas seulement le groupe de producteurs qui ne le valorise donc pas forcément comme un bénéfice propre.

Ces limites n'affectent en rien la pertinence du développement de la filière artisanale mais renforcent la nécessité de son accompagnement dans le temps pour permettre de dépasser le stade de l'expérimentation.

Le projet a permis de montrer que des producteurs artisanaux de villages isolés peuvent être techniquement autonomes pour produire un charbon de Typha de bonne qualité représentant une alternative sérieuse au charbon de bois. De plus, la vente du charbon génère des revenus couvrant les frais de production. Les bénéfices générés sont encore faibles mais il faudrait y ajouter les impacts locaux directs et indirects liés à diminution de l'envahissement du Typha et à la limitation de la dégradation de la forêt qui restent plus difficiles à valoriser.

Génération de revenus

Le prix du charbon de Typha fixé dans chaque village couvre les dépenses liées à la production et permet de dégager un bénéfice. La production est rentable.

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

Synthèse réalisée dans le cadre du projet Typha

La production de 800 kg de charbon de Typha en un mois, un scénario de production atteignable, nécessite la coupe de 1 300 m² de Typha. Elle génère 222 € (80 000 MRO) de chiffre d'affaires pour un prix de vente de 0,28 €/kg (100 MRO/kg).

Les charges liées à ce niveau de production sont les suivantes :

- dans une unité de production qui paie des coupeurs externes, la coupe représente un coût équivalent à 20 % du chiffre d'affaires attendu de la vente du charbon, soit 44 € (16 000 MRO). Cela correspond à un salaire mensuel d'un coupeur à mi-temps (3 h/jour). Ce prix a été fixé pour atteindre un équilibre entre une rémunération juste pour les coupeurs et la rentabilité de l'unité de production. Le paiement au pourcentage de la production attendue sur la base d'une surface est une garantie pour les deux parties qui a été mise en place après le test de nombreux systèmes de rémunération ;
- les autres étapes de production sont assurées par les membres du groupe par roulement ;
- il faut ajouter à cela 8,3 € (3 000 MRO) de frais d'emballage en papier de sacs de ciment usagés ;
- puis 13,9 € (5 000 MRO) pour l'achat de l'essence pour la presse.

Ces 67 € (24 000 MRO) de dépenses permettent de dégager 156 € (56 000 MRO) qui sont généralement intégrés aux recettes générales issues de toutes les activités de la coopérative gestionnaire. Celle-ci se chargera de prendre en charge les frais de maintenance et de renouvellement et de répartir les bénéfices globaux entre tous les membres de la coopérative.



Logo du charbon de Typha à Garack

Acceptation

L'écoulement du produit dans les villages n'a jamais été un problème car les qualités du charbon de Typha artisanal et son prix accessible en font un concurrent apprécié et différent du charbon de bois. En effet, d'après les tests d'acceptabilité et les enquêtes de satisfaction, les qualités du charbon de Typha artisanal par rapport au charbon de bois sont les suivantes :

- peu de fumée ;
- peu d'odeur ;
- pas d'étincelles ;
- allumage rapide.

Toutefois les cuisinières constatent une puissance moindre que le charbon de bois et un temps de cuisine un peu plus long. À l'usage, le charbon de Typha artisanal est davantage utilisé pour la préparation du repas du soir ainsi que pour les usages secondaires souvent à l'intérieur des maisons comme la préparation du thé, le repas et l'encens où les qualités comme l'absence d'étincelles et d'odeur sont très appréciées. Les femmes de l'unité de production de Garack ont d'ailleurs appelé le charbon de Typha, le *Keurigne Noflaye* en Wolof, que l'on peut traduire par « charbon reposant ».



Emballage et vente du charbon de Typha de l'unité de Garack

ANALYSE DES CONDITIONS DE SUCCÈS POUR UNE PRODUCTION ARTISANALE DE CHARBON DE TYPHA

Dans le village :

- * un Typha proche du village, facile d'accès, dans une zone peu profonde et d'intérêt (pêche, accès au fleuve) pour les habitants ;
- * une consommation de charbon de bois d'au moins 400 kg/mois ;
- * un prix du charbon de bois d'au moins 0,28 €/kg (100 MRO/kg) dans le village ;
- * un ou des groupes locaux vivement intéressés par la production de charbon de Typha.

Dans l'unité de production :

- * un mode de gestion clairement défini auprès des membres du groupe de producteurs et vis-à-vis de l'ensemble des villageois ;
- * des objectifs de production réalistes et évoluant par palier ;
- * un système de rémunération clair et équitable de l'ensemble des acteurs de l'unité ;
- * un accompagnement rapproché et de long terme sans substitution sur les dimensions technique et de gestion.

TABLEAU 16 : RÉSULTATS ATTEINTS POUR L'ENSEMBLE DES SEPT UNITÉS DE PRODUCTION ARTISANALES

Personnes formées à la production de charbon de Typha et la gestion d'une unité de production	350 personnes
Personnes impliquées dans la production de charbon de Typha	162
Production de charbon de Typha artisanal	3 400 kg
Ventes de charbon de Typha artisanal	3 400 kg
Surface de <i>Typha australis</i> coupée	5 700 m ²
Chiffre d'affaires généré par les ventes	944 €
Utilisateurs potentiels du charbon de Typha artisanal	5 950

Les éléments sur les impacts environnementaux de la coupe du Typha seront abordés dans la partie « focus environnemental ».

➔ Pour plus d'information, consultez les fiches de résultats « Unités artisanales ».

UNE UNITÉ SEMI-INDUSTRIELLE À L'ISET

★ Contexte et choix technologiques

La quatrième étape du projet était de tester la production industrielle de charbon de Typha, puis de mettre en place une unité de production (4. *Production semi-industrielle*).

L'option de développer un processus industriel se basant sur le processus artisanal maîtrisé, en développant la capacité des équipements et en les multipliant, n'a pas été retenue. Le Typha étant très volumineux, cela aurait nécessité un nombre trop important de carbonisateurs artisanaux dont le rendement est variable. Il a plutôt été décidé d'identifier des pays disposant d'usines de fabrication d'équipements et d'usines de production de charbon à base de biomasse utilisant ces mêmes machines. Les technologies européennes sont principalement faites pour produire des agro-pellets alimentant les chaudières collectives. L'usage du produit en sortie et le niveau technologique n'étaient pas adaptés aux enjeux du développement d'un processus industriel de charbon de Typha en Mauritanie. Parmi plusieurs pays asiatiques, la Chine présentait le plus de potentiel pour identifier des équipements adaptés au contexte et aux objectifs du projet.

Un séjour en Chine de deux semaines de l'équipe technique a permis de visiter six usines de fabrication d'équipements de production, quatre unités de production de charbon à partir de bambou, de sciure de bois et de coques d'arachide, et une unité de production de charbon pour l'encens et le narguilé/chicha. Cela a permis de vérifier que les équipements fabriqués dans les usines étaient bien utilisés dans des unités rentables. Aucun fabricant n'ayant travaillé avec du Typha comme matière première, ils étaient certains que cela impliquerait un travail de tests pour trouver les réglages et modifications nécessaires.

Une fois les équipements identifiés et face à l'incertitude de la compatibilité de notre matière première, il a été décidé d'installer l'unité à l'Iset de Rosso afin de tester la production semi-industrielle de charbon de Typha dans des conditions favorables à la recherche. Cette unité se situe entre le stade expérimental et l'exploitation industrielle. Cette implantation a permis aux équipes du projet d'optimiser les équipements, de trouver le moyen technique de produire du charbon à base de Typha ainsi que d'accumuler des informations technico-économiques sur le fonctionnement de l'unité pour la rédaction du plan d'affaire d'une future unité industrielle de production.



Livraison des équipements à l'Iset de Rosso



Unité de production semi-industrielle de charbon de Typha à l'Iset de Rosso

* La production semi-industrielle de briquettes de charbon de Typha

Matières premières utilisées

Le processus de production choisi pour la transformation du Typha en charbon utilise l'extrusion pour densifier la matière. Contrairement au processus artisanal, il ne nécessite pas l'utilisation de liant. Cependant cette technique ne permet pas de compacter le Typha seul. L'intérieur de la plante est constitué d'une matière filandreuse blanche et légère qui ne se compacte pas bien lors de l'extrusion et provoque de nombreux blocages de la machine. Une phase de tests poussés de plusieurs mois a permis de montrer que l'ajout de la balle de riz (coproduit du décorticage du riz) permet le compactage du Typha dans des proportions intéressantes.

Ainsi, la production d'une tonne de charbon de Typha nécessite 6 000 kg de Typha frais (600 m²) et 1 500 kg de balle de riz. La proportion (en masse) des deux matières premières en entrée du processus est donc de 80/20 en pourcentage. Le mélange des deux matières se fait avant l'extrusion, lorsque le Typha a été broyé et séché, dans des proportions égales en masse (50/50). La balle de riz n'a besoin d'aucun traitement avant l'extrusion. La quantité de balle de riz produite à Rosso est estimée à 8 000 tonnes par an.



Typha sec broyé avant l'extrusion



Balle de riz

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 inclut la production et la consommation comme apport de chaleur externe d'une partie de la production (bûchettes) au cours du processus (séchage et carbonisation).

La capacité de production mensuelle (sur 22 jours travaillés) de l'unité de production comme elle sera décrite ci-dessous est de 14 tonnes de charbon. L'unité peut fonctionner pendant les 12 mois de l'année. Cela correspond à l'installation actuellement présente à l'Iset de Rosso.

Les étapes de production



Le processus de production industriel par étape

- **Coupe, extraction et séchage naturel (cf. processus artisanal)**

Les étapes de coupe du Typha, d'extraction de la zone de coupe et de séchage au soleil se font de la même manière que dans le processus artisanal, mais dans des proportions plus importantes.

Pour plus d'informations sur ces étapes, veuillez-vous reporter à la partie *La production artisanale du charbon de Typha*, page 15.

- **Broyage du Typha**

Le broyage mécanique du Typha sec permet d'obtenir une granulométrie adaptée (moins de 5 mm) pour que le Typha puisse ensuite être séché artificiellement et compacté par la presse à extrusion. Le broyage facilite l'évaporation naturelle de l'eau des couches internes de la plante. Le broyeur utilisé à l'Iset est un broyeur à marteaux. (C'est l'équipement du processus qui traite la plus grande masse de matière première.) Les marteaux sont les principales pièces d'usure.

TABLEAU 17 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE BROyage

Capacité de production	Consommation électrique	Granulométrie en sortie	Personnel nécessaire minimum
450 kg/h	12 kWh	0,5 à 5 mm	2



Broyeur à l'Iset de Rosso



Séchoir rotatif

- **Séchage artificiel**

Le séchage du Typha dans le séchoir rotatif permet d'atteindre un niveau d'humidité faible qui facilite l'extrusion. Le séchoir est équipé d'un foyer de combustion à bûchettes qui apporte la chaleur nécessaire au séchage forcé de la plante (autour de 100 °C). Le flux d'air chaud parcourt un cylindre de 10 m en rotation dans lequel le Typha est séché avant d'être extrait par ventilation. Cette étape joue aussi le rôle de tri de la partie filandreuse du Typha qui pose problème lors de l'extrusion, qui est évacuée par le cyclone hors de l'unité. Cette étape réduit la masse de la matière première.

TABLEAU 18 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE SÉCHAGE

Capacité de production	Consommation électrique	Rendement matière	Personnel nécessaire minimum
450 kg/h	7 kWh	75 %	2

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

Synthèse réalisée dans le cadre du projet Typha

• Densification par extrusion

La matière broyée et séchée doit être densifiée avant d'être carbonisée. Pour cela, une extrudeuse électrique à vis sans fin est utilisée. Le mélange de Typha broyé sec et de balle de riz (50/50 en masse) est forcé à passer dans une filière de sortie hexagonale qui permet d'obtenir des bûchettes huit fois plus compactes que le mélange en entrée. L'extrusion sollicite beaucoup la vis qui doit être réparée régulièrement ; cela peut être fait localement. Les bûchettes produites font 45 cm de longueur, 5 cm de diamètre et pèsent 1 kg. L'apparence et la consistance des bûchettes ressemblent à celles du bois.

TABLEAU 19 : DONNÉES DE L'ÉTAPE D'EXTRUSION

Capacité de production	Consommation électrique	Rendement matière	Personnel nécessaire minimum
190 kg/h	19 kWh	87,5 %	3



Presse à extrusion et bûchettes au premier plan



Fours de carbonisation

• Carbonisation des bûchettes

La carbonisation, par élévation de la température, permet de faire passer le Typha et la balle de riz de l'état de bûchettes de biomasse à l'état de briquettes de charbon. Les bûchettes sont insérées dans trois pots métalliques chauffés par en dessous avec des bûchettes. Après plusieurs heures de chauffage, les gaz produits par la carbonisation sont réutilisés pour entretenir le processus. Un palan électrique permet de sortir les pots pour le refroidissement hors du carbonisateur ou pour le déchargement du charbon. Une carbonisation de 1,65 tonne de bûchettes est possible par jour (8 h de carbonisation et 16 h de refroidissement) et produit environ 775 kg de charbon de Typha.

TABLEAU 20 : DONNÉES DE L'ÉTAPE DE CARBONISATION

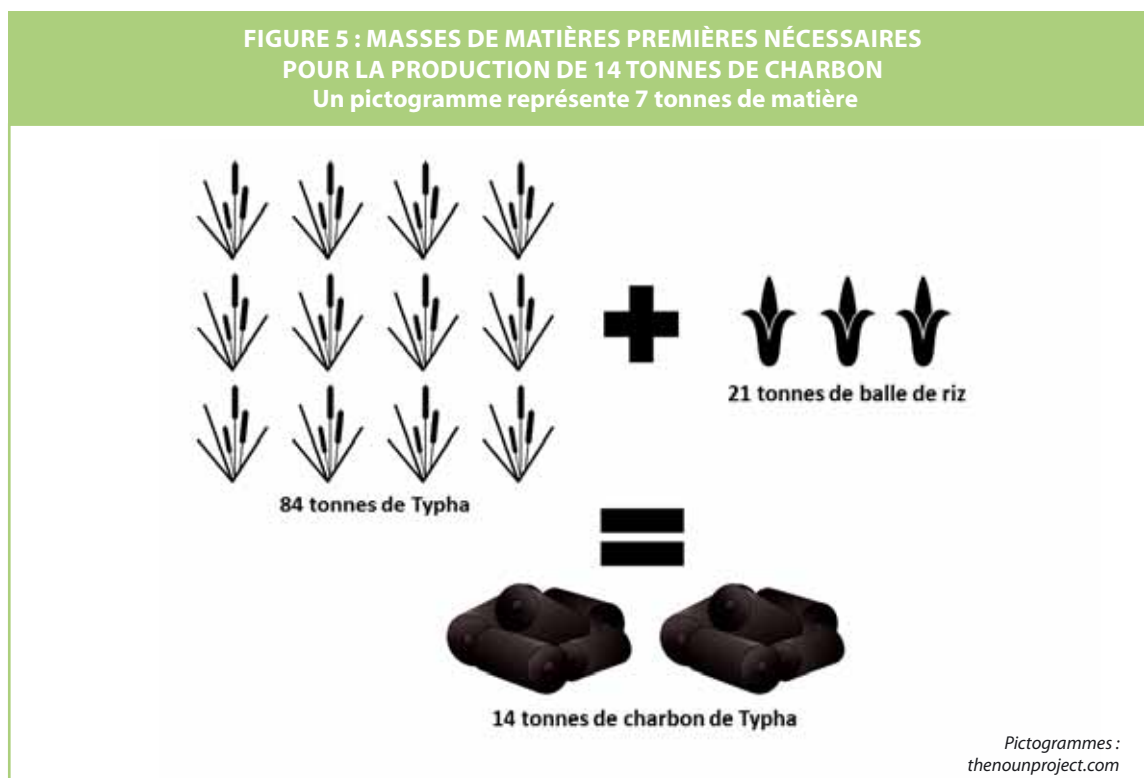
Capacité de production	Consommation de bûchettes	Rendement matière	Personnel nécessaire minimum
775 kg/jour	270 kg/carbonisation	47 %	2

Organisation de la production et capacité de production de l'unité

L'unité de production est installée dans un bâtiment de 200 m² à l'Iset de Rosso. Le bâtiment abrite le broyeur, le séchoir, la presse à extrusion et des stocks intermédiaires de matières. Le carbonisateur est à l'extérieur du bâtiment. Le Typha à couper se situe à deux kilomètres de l'unité. La balle de riz est livrée gratuitement par des industriels à l'unité. Le charbon produit est stocké hors de l'unité, dans des sacs de riz placés sous un hangar qui les protègent de la pluie.

Les équipements installés permettraient une production théorique de 14 tonnes de charbon de Typha par mois en fonctionnant en parallèle 22 jours par mois. Au cours du projet, les équipements ne pouvaient pas fonctionner tous en même temps à cause d'un problème de raccordement électrique. En les faisant fonctionner les uns après les autres, un niveau de production d'environ 5 tonnes par mois avec cinq opérateurs se chargeant de toutes les étapes, de la coupe à la carbonisation a été atteint. L'extrudeuse et le carbonisateur sont les deux équipements qui limitent la production théorique à 14 tonnes.

La figure 5 ci-dessous montre que les quantités de matières premières à réunir pour produire 14 tonnes de charbon de Typha par mois sont très importantes, ce qui nécessite une organisation robuste et continue pour gérer l'approvisionnement. Le Typha mettant plus de dix jours à sécher naturellement, la moindre interruption de la coupe peut induire des arrêts de production non souhaités par manque de matière première. L'approvisionnement en balle de riz doit être sécurisé auprès de plusieurs industriels livrant la balle à l'unité pendant la période de décorticage afin de disposer d'un stock suffisant jusqu'à la prochaine campagne.



Les 84 tonnes de Typha frais représentent 8 400 m² de surface de Typha à couper (environ un terrain de football). Cinq coupeurs travaillant 5 h/jour peuvent permettre ce niveau d'approvisionnement en Typha pour un mois.

➔ **Pour plus d'information, consultez le Cahier technique n° 2 : « Guide de production semi-industrielle de charbon de Typha ».**

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

Synthèse réalisée dans le cadre du projet Typha



Bûchette avant carbonisation



Briquette de charbon de Typha

★ Résultats obtenus

Gamme de produits – Bûchettes et briquettes à base de Typha

Le processus de production semi-industriel du charbon de Typha permet la transformation du Typha et de la balle de riz en deux produits. Le premier, qui est appelé « bûchette », est obtenu après l'extrusion et avant la carbonisation. La bûchette est l'équivalent du bois en matière d'usage. Dans l'unité de production, elle sert aussi à alimenter les foyers de combustion du séchoir et du carbonisateur. Sur le marché mauritanien, elle pourrait intéresser des utilisateurs de bois comme les teinturières par exemple. Il est important de noter que sa combustion génère beaucoup de fumée et qu'elle est très solide. Le second produit est appelé briquette de charbon de Typha. Elle est obtenue après la carbonisation des bûchettes et elle est l'équivalent du charbon de bois. Il est facile de la casser en plus petits morceaux. Cette unité semi-industrielle permettra à l'Isset de tester l'incorporation d'autres biomasses avec le Typha, afin de continuer la recherche d'alternatives variées et renouvelables au charbon de bois et d'augmenter ainsi leur chance de pénétration du marché en s'adaptant au contexte. La balle de riz est adaptée à Rosso, la tige de cotonnier pourrait l'être dans d'autres pays.

LE CHARBON DE TYPHA POUR L'ENCENS

Les études de marché réalisées au cours du projet ont montré qu'une grande partie de la population utilise du charbon de bois appelé localement *aderss* issu de l'arbre protégé *Commiphora africana*, ainsi que du charbon de bois importé de Chine, pour faire brûler de l'encens dans les maisons. Cet usage spécifique représente une masse estimée à environ 200 tonnes par an pour Nouakchott pour ces charbons spécifiques vendus à plus de 1 000 MRO/kg. L'équipe technique a profité de son séjour en Chine pour visiter une unité de production de charbon pour encens. Un malaxeur et une presse dédiée à la production de ce produit ont été testés au cours du projet et ont permis de produire un charbon à encens à base de Typha en utilisant la gomme arabique locale comme liant, afin de proposer une alternative légale, renouvelable et abordable aux produits disponibles sur le marché mauritanien.



Presse à vis pour le charbon de Typha à encens



Production du charbon de Typha à encens

Production de briquettes de charbon de Typha atteinte à l'Iset de Rosso

L'équipe de production de l'Iset de Rosso a produit 25 tonnes de briquettes de charbon de Typha de février 2015 à décembre 2015. Une montée en puissance a été réalisée pendant ces 12 mois de production, afin d'atteindre 5 tonnes par mois après une importante phase de tests et d'optimisation.

TABLEAU 21 : DONNÉES DE PRODUCTION DE L'UNITÉ SEMI-INDUSTRIELLE DE L'ISET DE ROSSO DE FÉVRIER 2015 À FÉVRIER 2016	
Surface de Typha frais coupée	15 000 m ²
Masse de Typha frais coupée	150 000 kg
Masse de balle de riz ajoutée	38 000 kg
Bûchettes extrudées	66 000 kg
Consommation électrique totale de l'unité	9 500 kWh
Briquettes de charbon de Typha	25 000 kg

Dans une logique industrielle, il est important de surveiller deux paramètres qui sont la consommation électrique d'environ 400 Wh par kilogramme de charbon de Typha produit et l'entretien régulier de la vis de l'extrudeuse.

*** Commercialisation du charbon de Typha**

En juillet 2015, l'unité industrielle expérimentale avait produit du charbon en quantité suffisante pour envisager de démarrer une phase de test de commercialisation.

La mise en place de la vente s'est faite de manière progressive, afin d'adapter l'offre aux attentes des utilisateurs en s'insérant dans les modes de distribution traditionnels du charbon de bois.

Les distributeurs traditionnels de charbon de bois sont :

- **les boutiquiers** : ce sont des commerçants qui tiennent un magasin juxtaposé à leur domicile. Ils vendent toutes sortes de produits destinés aux usages de la vie courante. Ce type de commerce est très répandu dans les quartiers d'intervention. Chaque boutiquier écoule entre 100 et 400 kg de charbon de bois par mois. Le Gret a sélectionné 13 boutiquiers au total (5 à Médine, 3 à Sattara et 5 à Nouakchott) ;
- **les femmes vendeuses de charbon** : ce sont des femmes qui pratiquent la vente exclusive du charbon de bois depuis leur domicile. Elles écoulent entre 100 et 400 kg de charbon de bois par mois. Nous en avons sélectionné 3 au total, une par quartier d'intervention ;
- **les épiceries** : ces commerces sont des boutiques plus spacieuses et plus équipées que les boutiquiers « classiques ». Elles sont situées sur des axes stratégiques de circulation et dans des positions de carrefour qui leur confèrent une grande visibilité. Elles écoulent entre 100 et 400 kg de charbon par mois. Nous en avons sélectionné 4 (1 à Sattara, 2 à Médine et 1 à Nouakchott).
- **les points de vente du charbon** : ces commerçants viennent de s'implanter de façon exponentielle dans le quartier d'El Mina à Nouakchott. Ils vendent exclusivement du charbon de bois à destination des ménages et des professionnels, et écoulent un stock mensuel cinq à dix fois plus important que les boutiquiers, l'équivalent de 1 tonne à 2,5 tonnes de charbon de bois. Ils captent une grande majorité de la clientèle qui s'approvisionnait auparavant dans les boutiques.

Stratégie d'insertion du produit sur le marché

Le Gret a fait le choix de prendre en charge l'organisation de la distribution du charbon de Typha industriel, avec l'idée de suivre l'acceptabilité du produit par les ménages et de réfléchir à des mécanismes d'approvisionnement du marché. Le conditionnement de produit retenu n'a pas été le même à Rosso et à Nouakchott, car les prix et conditionnements du charbon traditionnel variaient d'une ville à l'autre.

À Rosso : l'étude de marché réalisée en 2013 avait démontré que le conditionnement dominant est le « libre » (les commerçants remplissent de charbon de bois un pot à tomates, qu'ils transfèrent ensuite dans un sac en plastique pour la vente), l'équivalent environ de 800 grammes par sachet, vendu au tarif de 0,27 € (100 MRO). L'équipe du projet a fait le choix de tester deux conditionnements différents pour analyser l'acceptabilité du produit et ses usages par la population :

- format 500 grammes à 0,16 € (60 MRO) ;
- format 1 kilogramme à 0,32 € (120 MRO).

Le choix s'est porté sur des filets comme contenants du charbon de Typha qui présentent l'avantage d'être peu onéreux (10,65 € [4 000 MRO] les 1000) et de favoriser la visibilité du produit. Des sacs d'une contenance de 10 kg (pouvant accueillir 10 filets de 1 kg ou 20 filets de 500 g) ont été utilisés pour la livraison. Ces sachets sont achetés à 0,27 € (100 MRO).



Chargement de la voiture du projet avec des filets de 500 grammes

TABLEAU 22 : QUANTITÉ DE FILETS DE 500 G ET 1 KG LIVRÉS À ROSSO ENTRE JUILLET 2015 ET FÉVRIER 2016

Quartier visé	Nombre de filets de 500 g livrés	Nombre de filets de 1 kg livrés	Nombre total de filets livrés	Quantité totale livrée en kg
Sattara (Rosso)	530	565	1 095	830
Médina (Rosso)	340	155	495	325
Total	870	720	1 590	1 155

La population a accepté les deux conditionnements et a légèrement privilégié l'achat de filets de 500 g qui servait à la préparation du repas du soir, du thé et de l'encens. Le filet de 1 kg servait principalement, quant à lui, à la préparation du repas du midi.

À Nouakchott : l'étude réalisée en novembre 2015 auprès des commerçants de la zone d'intervention du projet a démontré que le conditionnement en paquet de 1 kg de charbon de bois était en train de disparaître. Deux conditionnements dominaient ainsi le marché :

- le format 500 g pesé à 0,27 € (100 MRO) ;
- le format « libre » (environ 800 g) dont le tarif varie de 0,31 € (120 MRO) à 0,34 € (130 MRO).

Sachant que le format 500 g pesé est le produit le plus vendu sur le marché, un choix a été fait de s'aligner sur ce format et de distribuer aux commerçants partenaires des filets de 500 g pesés de charbon de Typha. La totalité des ménages enquêtés dans le cadre de l'étude de satisfaction a mentionné qu'il était possible de préparer le repas du midi avec 500 g de charbon de bois. Cela a par ailleurs été confirmé par l'équipe du projet lors de tests de cuisine comparés réalisés en mars 2016 (possibilité de cuisiner avec 500 g de charbon de bois contre 700 g de charbon de Typha). Cependant, cela n'a pas été possible avec le charbon de Typha, aucun ménage enquêté n'ayant réussi à préparer un repas du midi avec 500 g de charbon seulement.

Résultats commerciaux

Les résultats de la vente sont globalement positifs après huit mois de vente ; plus d'une tonne de charbon de Typha a été vendue par les commerçants partenaires.

TABLEAU 23 : SYNTHÈSE DES RÉSULTATS DE LA VENTE DE CHARBON DE TYPHA INDUSTRIEL

Quartier visé	Nombre d'habitants	Nombre de boutiquiers impliqués	Nombre d'habitants situés à moins de 100 m des boutiques	Taux d'utilisateurs du charbon de bois ¹¹	Quantité de charbon Typha distribuée	Quantité de charbon vendue (nombre de mois)
Sattara (Rosso)	21 864	5	1 900	77,3 %	830 kg	654 kg (8 mois)
Médina (Rosso)	3 675	8	1 142	97,1 %	325 kg	245 kg (4 mois)
El Mina (Nouakchott)	45 000	7	1 350	62,9 %	250 kg	192 kg (2 mois)
Total	70 539	20	4 392	79,1 %	1 405 kg	1 091 kg

Acceptabilité du produit et satisfaction des utilisatrices du charbon de Typha industriel

Le charbon de Typha industriel fabriqué dans le cadre du projet est un produit nouveau et peu connu par les utilisatrices : une grande attention a donc été portée sur l'acceptabilité de celui-ci par la population. En additionnant les différents tests d'acceptabilité et enquêtes de satisfaction, on peut estimer le nombre de ménages enquêtés à 80. Sur ces 80 ménages, seulement 5 n'ont pas réussi à cuisiner avec et ont dû abandonner la cuisson ou ajouter du charbon de bois pour terminer leur préparation.

Ces enquêtes ont permis de faire ressortir les éléments d'analyse suivants.

- **L'aspect du combustible** : les utilisatrices du charbon Typha industriel ont bien réussi à reconnaître et à identifier le combustible, plusieurs d'entre elles signalant qu'il ressemble à un « charbon tuyau » en référence au trou qui traverse les briquettes produites à l'unité industrielle. En revanche, du fait de son compactage important, le charbon de Typha paraît moins volumineux : ainsi, à format égal, le nombre de briquettes de charbon de Typha est trois fois moins élevé que pour le charbon de bois. Ce manque de « volume » a été constaté et perçu comme un défaut et un frein à l'achat pour 90 % des utilisateurs du charbon de Typha.

11. Calcul réalisé sur la base du nombre de concessions situées dans un rayon de 100 m autour des boutiques rapporté au nombre d'habitants par concession et du taux d'utilisateurs de charbon de bois.

- **La qualité du combustible :** la totalité du panel de consommatrices a indiqué que le charbon de Typha émet peu de fumée, pas d'étincelles et pas d'odeur. Malgré cet avantage comparatif très net par rapport au charbon de bois, ce n'est pas l'unique facteur de décision qui déclenche l'achat du combustible. En effet, il est courant que les ménages n'aient pas de lieu spécifique où faire la cuisine : le repas est préparé dehors et le foyer de combustion est donc exposé au vent, ce qui relativise ce défaut spécifique à certains charbons de bois.
- **Pour l'allumage :** 75 % des utilisatrices sondées ont estimé que l'allumage ne représentait pas une difficulté pour le charbon de Typha industriel. La méthode d'allumage du charbon de bois est compatible avec l'allumage du nouveau combustible.
- **Pratiques avec le fourneau de cuisson :** les utilisatrices ont pour coutume (pour la très grande majorité d'entre elles) de secouer leur fourneau de cuisson au moment de l'ajout du riz lors de la préparation du riz au poisson (le plat national). À cette étape de la préparation, le charbon de bois perd en puissance et secouer permet de raviver la flamme. Avec le charbon de Typha, deux tiers des utilisatrices ont secoué au même moment. Le tiers restant des utilisatrices a déclaré avoir dû secouer plusieurs fois à d'autres moments de la cuisson, jugeant que le charbon de Typha n'avait pas atteint la puissance désirée, du fait d'un dépôt de cendres sur les briquettes. En tout état de cause, les utilisatrices n'ont pas à modifier ce type de pratiques, mais un nécessaire travail de sensibilisation doit accompagner la vente du produit pour indiquer que le dépôt de cendre autour des briquettes ne signifie pas que celles-ci ont perdu en puissance ou sont éteintes.
- **Quantité utilisée :** 30 % des utilisatrices n'ont pas estimé nécessaire d'utiliser plus de charbon de Typha par rapport au charbon de bois. Ce chiffre est à tempérer du fait qu'il s'agit du format 1 kg (les femmes n'ayant pas réussi à cuisiner le repas du midi avec le format 500 g). En revanche, la totalité des enquêtées ont pour habitude de mettre une petite quantité de charbon de bois au début de la cuisson, à laquelle elles ajoutent une autre partie au moment de secouer le fourneau. Cela s'est avéré impossible avec le charbon de Typha pour lequel il est préférable de mettre la totalité du charbon nécessaire en début de cuisson.
- **Rapidité de cuisson :** 50 % des femmes ont pu percevoir une certaine lenteur liée au nouveau combustible, estimant qu'il est moins puissant que le charbon de bois. En revanche, elles ont estimé en très grande majorité que le charbon de Typha industriel conservait la chaleur plus longtemps, qualifiant volontiers le produit « de charbon dormant ». Les usagers considèrent donc que le charbon de Typha est plus approprié pour le repas du soir, qui est un repas qui nécessite moins d'attention et qui peut être servi à une heure tardive. Les plats que les utilisatrices ont préféré préparer sont le couscous, qui nécessite un long mijotage, et les macaronis, qui ne demandent qu'une « surveillance » limitée du foyer de combustion.

- **Les autres usages :**

Le thé est la « boisson nationale » servi à toutes heures de la journée et de la nuit. Le charbon de bois est le combustible que la population préfère utiliser car elle estime qu'il lui confère un meilleur goût. Le charbon de Typha ne déroge pas à la règle et a été utilisé spécifiquement pour cette activité par 90 % des sondées.

Le charbon de Typha a été utilisé comme combustible pour brûler de l'encens : l'écrasante majorité des utilisatrices ont apprécié la capacité du charbon à durer une bonne partie de la nuit contrairement au charbon de bois.

La teinture est une activité complémentaire de revenus qui nécessite d'utiliser un fourneau à combustion pour bouillir de l'eau, qui ensuite doit être conservée tiède, le temps que la couleur imprègne le tissu. Toutes les femmes qui pratiquent cette activité ont apprécié le charbon de Typha car il apporte la quantité de chaleur et d'énergie adaptée à ce type d'activités, en « conservant » la chaleur plus longtemps.

TABLEAU 24 : SCHÉMA RÉCAPITULATIF DE BONNES PRATIQUES AVEC LE CHARBON DE TYPHA				
Allumage		Secousses du foyer de cuisson		Fin de la cuisson
Faire	Ne pas faire	Faire	Ne pas faire	Faire
Fendre les briquettes	Allumer depuis le bas du foyer	Secouer au même moment que le charbon de bois	Secouer dès l'apparition de la cendre	Utiliser les braises pour le thé
Allumer depuis le haut du foyer				
Disposer les briquettes autour du comburant				

★ Plan d'affaire de la production industrielle de charbon de Typha

La production de 25 tonnes de charbon de Typha dans l'unité pilote installée à l'Iset de Rosso a permis d'évaluer les coûts de cette production. À partir de ces données, un outil a été élaboré pour estimer la rentabilité de la production de charbon de Typha. Cet outil simule le plan d'affaire prévisionnel d'une unité industrielle en fonction d'hypothèses :

- **d'organisation de la production** : quantité de charbon produite mensuellement, rendement des différents équipements, automatisation ou non de la production, etc. ;
- **de charges de production** : niveau d'investissement initial, coût de production (électricité, transport, emballage, maintenance) et charges salariales ;
- **de prix de vente** : prix de vente par format (500 g, 1 kg, 20 kg), taxes (TVA, taxes sur le chiffre d'affaires, etc.).

Analyse de la rentabilité de la production industrielle de charbon

Cet outil, entièrement automatisé, a permis de tester différents scénarios afin de mieux comprendre comment se construit la rentabilité de la production industrielle de charbon. Il ressort de ces simulations les éléments d'analyse suivants :

- **Activité à haute intensité de main-d'œuvre** : la production de charbon de Typha nécessite une main-d'œuvre importante, tant pour la coupe du Typha que pour le fonctionnement des équipements de production dans l'unité. Les ressources humaines sont donc le premier poste de charges de l'unité et représentent 44 % à 64 % du chiffre d'affaires potentiel en fonction du niveau de production. Une solution pour diminuer les ressources humaines est d'automatiser l'unité de production en installant entre les équipements des systèmes de tapis roulant pour transporter la matière première. Cette option technique n'a pas été testée dans le cadre du projet, mais elle est relativement facile à mettre en place. Elle doit permettre de diminuer par deux le personnel non spécialisé de l'unité de production, réduisant ainsi les charges de RH à 28 % du chiffre d'affaires.

TABLEAU 25 : MAIN-D'ŒUVRE NÉCESSAIRE POUR LA PRODUCTION INDUSTRIELLE DE CHARBON					
Production/mois (tonnes)	7	10	15	25	30
Nombre d'employés assurant la coupe du Typha	2	3	4	6	8
Nombre de manœuvres dans l'usine de production	4	6	8	14	16
Nombre total d'employés	6	9	12	20	24

- **Coût de l'électricité** : l'électricité est le second poste de dépense de l'unité de production, et peut atteindre jusqu'à 25 % des charges de l'unité. L'automatisation de la production augmente légèrement la consommation électrique de l'unité mais ce surcoût est très largement compensé par les économies permises sur les ressources humaines. L'installation électrique de l'unité doit être optimisée pour éviter les pannes et garantir la sécurité de la production. La consommation d'électricité mensuelle est supérieure à 11 000 kWh pour une production de 30 tonnes de charbon.
- **Taxation du charbon de Typha** : la question de la taxation du charbon de Typha est cruciale. Aujourd'hui le charbon de bois est globalement peu taxé, ce qui en fait un produit peu cher alors même que son impact environnemental est important (voir la partie *Le bois énergie en Mauritanie*). Le charbon de Typha doit pouvoir bénéficier d'un système fiscal incitatif pour encourager les investisseurs et concurrencer le charbon de bois. Alors même que le charbon de bois est vendu principalement par le secteur informel, sans paiement de la TVA à 16 %, il semble pertinent de négocier une exonération de TVA pour les unités de production de charbon de Typha.
- **Prix de vente** : le prix de vente du charbon de Typha doit couvrir les charges de production tout en restant concurrentiel par rapport au charbon de bois. Le prix fixé dans le *business plan* est « sorti d'usine », c'est-à-dire qu'il n'intègre pas le transport vers Nouakchott et le coût de distribution. Du fait des économies d'échelle, de l'amélioration du rendement des équipements et de l'optimisation des ressources humaines, le prix d'équilibre réduit fortement en augmentant le niveau de production. Ainsi le prix d'équilibre de 186 MRO/kg (0,53 €) pour une production de 7 tonnes de charbon par mois réduit à 115 MRO/kg (0,33 €) pour une production mensuelle de 30 tonnes.

TABLEAU 26 : TARIF À L'ÉQUILIBRE DU CHARBON POUR UNE UNITÉ AUTOMATISÉE					
Production mensuelle (tonnes)	7	10	15	25	30
Tarif à l'équilibre (MRO/kg)	186	158	132	119	115

Simulation : production progressive de 30 tonnes de charbon dans une unité automatisée

Nous présentons ici les résultats pour une production progressive de 30 tonnes de charbon par mois dans une unité automatisée : 7 tonnes en année 1, 10 tonnes en année 2, 15 tonnes en année 3, 25 tonnes en année 4 et 30 tonnes en année 5. Cette simulation correspond à une hypothèse réaliste d'après l'expérience du projet Typha : elle laisse le temps à un entrepreneur d'organiser sa production, de maîtriser les équipements et de construire des partenariats pour assurer la distribution du projet sur le marché de Nouakchott¹². Il reste bien sûr possible de prévoir une production de charbon plus importante dès le début.

- **Hypothèses d'investissement** : l'investissement total nécessaire pour une production de ce type est d'environ 39 M MRO, soit 112 000 € : 94 000 € doivent être investis dès la première année pour la construction de l'usine et l'achat des premiers équipements ; le solde est investi au fur et à mesure de l'achat d'une nouvelle extrudeuse pour augmenter la production. Afin d'encourager un entrepreneur, nous simulons une subvention à l'équipement à hauteur de 25 M MRO. Cette subvention permet de réduire le montant de l'apport de l'entrepreneur tout en accélérant la rentabilité de l'unité de production. Cela nous semble judicieux dans une phase de test d'une production privée de charbon de Typha.
- **Prix de vente du charbon** : le prix de vente du charbon est fixé à 140 MRO/kg en sortie d'usine (0,40 €). C'est un tarif relativement faible qui laisse des marges de manœuvre pour organiser le transport du charbon à Nouakchott et sa distribution dans les points de vente.

12. La vente de charbon industriel à Rosso semble peu pertinente du fait du prix très peu élevé du charbon de bois à Rosso. Dans les conditions actuelles, le charbon de Typha n'est pas concurrentiel. Il reste cependant possible de vendre du charbon de Typha à Rosso en concentrant le marketing sur des usages spécifiques comme le thé ou l'encens.

- **Coût des ressources humaines** : les salaires proposés sont réalistes par rapport aux fonctions exercées. En plus de manœuvres, nous prévoyons l'embauche de personnel qualifié pour les fonctions techniques et commerciales.

TABLEAU 27 : GRILLE SALARIALE PROPOSÉE POUR LE PERSONNEL DE L'UNITÉ INDUSTRIELLE

Fonction	Nombre	Unité	Salaires brut unitaire (MRO)
Coupeur	NA	Mois	50 000
Manœuvre	NA	Mois	50 000
Ouvrier qualifié	NA	Mois	80 000
Responsable technique	1	Mois	110 000
Directeur – Responsable commercial	1	Mois	150 000

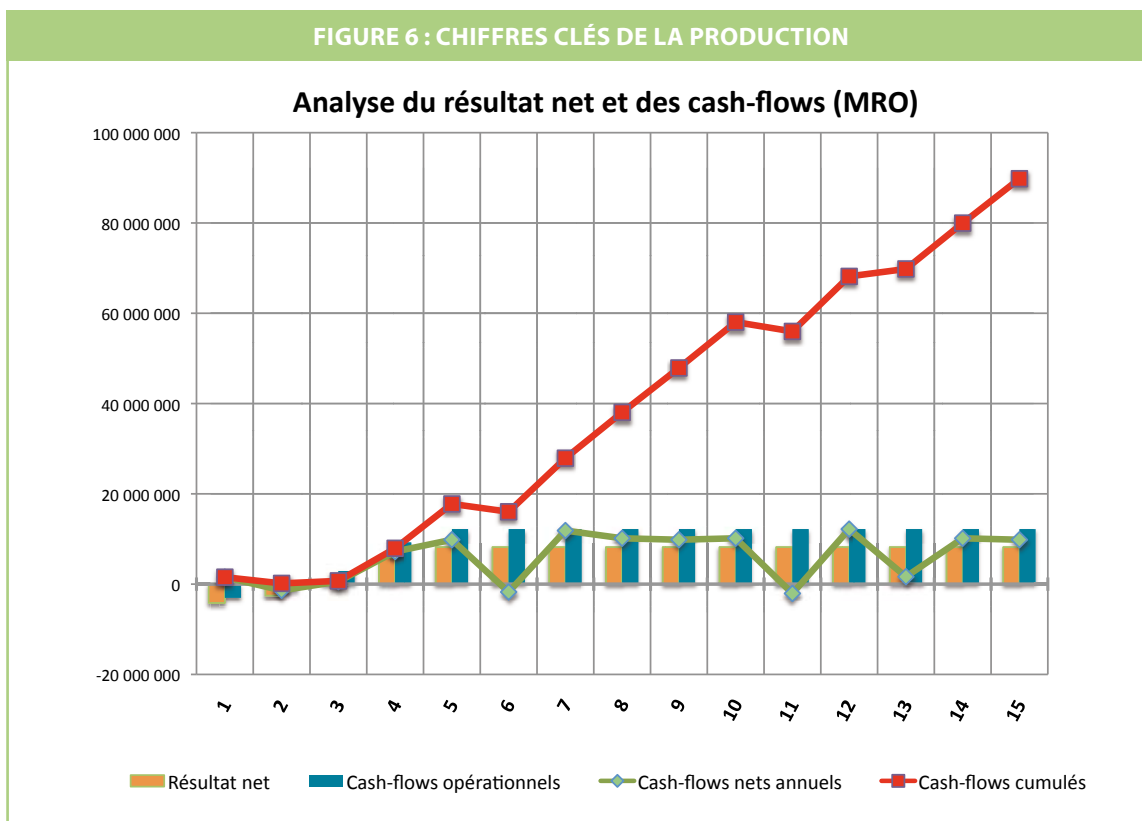
Le tableau ci-dessous résume les principaux paramètres techniques de l'unité. Il confirme que la production de 30 tonnes de charbon par mois permet d'optimiser l'utilisation des équipements. Avec ce niveau de production, il est nécessaire de procéder à plusieurs carbonisations par jour, et donc de recourir à des équipes de nuit.

TABLEAU 28 : CHIFFRE CLÉS DE LA PRODUCTION

	Taux d'utilisation des équipements					
	Année 1	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Années suivantes
Production/mois (t)	7	10	15	25	30	30
Broyeur	19 %	28 %	41 %	69 %	83 %	83 %
Séchoir	14 %	20 %	30 %	50 %	59 %	59 %
Extrudeuse (3)	65 %	93 %	70 %	77 %	93 %	93 %
Four 3 pots	44 %	63 %	94 %	157 %	188 %	188 %
Superficie de Typha à couper par mois (m ²)	4 162	5 946	8 919	14 864	17 837	17 837
Superficie de Typha à couper par an (ha)	5	7,1	10,7	17,8	21,4	21,4
Quantité de balle de riz utilisée par mois (t)	1	1,5	2,2	3,7	4,5	4,5
Quantité de balle de riz utilisée par an (t)	12,6	18	27	44,9	53,9	53,9
Consommation électrique par mois (kWh)	2 638	3 769	5 653	9 422	11 307	11 307
Nombre d'employés assurant la coupe de Typha	2	3	4	6	8	8
Nombre de manœuvres dans l'usine de production	3	4	5	7	8	8
Nombre total d'employés	5	7	9	13	16	16

Résultats : une rentabilité à trois ans et un retour sur investissement en cinq ans

Les résultats de cette simulation sont très encourageants : la rentabilité de l'unité est assurée à partir de la troisième année, lorsque la production de charbon atteint 15 tonnes par mois. Les bénéfices de la vente de charbon permettent de couvrir l'intégralité des charges de renouvellement des équipements sans besoin d'un apport supplémentaire. Le *cash-flow* du projet, qui correspond pour simplifier à la trésorerie disponible, est toujours positif : les recettes de la vente paient l'intégralité des coûts de fonctionnement de l'unité. Pour finir, le temps de retour sur investissement est quant à lui de cinq ans.



LA QUALITÉ DES CHARBONS DE TYPHA

La connaissance des caractéristiques physico-chimiques du charbon de bois et des charbons de Typha artisanaux et industriels produits dans le cadre du projet répondait à quatre nécessités :

- fournir des données scientifiques pour appuyer le développement de charbons de qualité ;
- s'assurer du suivi du respect du cahier des charges lors de la production de ces charbons dans les unités ;
- s'assurer de la mise sur le marché de produits répondant aux usages et attentes des utilisatrices, en complément des informations qualitatives récoltées grâce aux tests d'acceptabilité et de satisfaction ;
- positionner les charbons de Typha sur le marché en fonction de leurs forces et faiblesses.

Pour cela, des protocoles de mesure spécifiques à la caractérisation des combustibles solides ont été définis et un laboratoire de l'iset de Rosso a été équipé d'appareils de précision. Sur ces bases, des campagnes de mesures ont été réalisées tout au long du projet.



Bombe calorimétrique à l'Iset de Rosso



Four à moufle à l'Iset de Rosso

✳ Laboratoire de mesures des caractéristiques physico-chimiques de l'Iset

Protocoles de mesures

Les protocoles de mesure présentent la méthode à suivre pour caractériser les charbons. Ils permettent de déterminer les caractéristiques suivantes :

- ✳ le pouvoir calorifique
- ✳ l'humidité
- ✳ la solidité
- ✳ la masse volumique
- ✳ la masse volumique apparente
- ✳ la facilité d'allumage
- ✳ le taux de cendres
- ✳ le temps d'ébullition de l'eau et l'efficacité énergétique
- ✳ la capacité à cuisiner le plat national dans de bonnes conditions
- ✳ la composition des fumées

Mise en place d'un laboratoire de mesures

L'Iset de Rosso dispose actuellement d'un laboratoire de mesures des caractéristiques physico-chimiques des combustibles solides, équipé d'appareils sophistiqués comme, entre autres, une bombe calorimétrique, un analyseur de fumée, un four à moufle et une étuve. L'Iset dispose aussi des équipements nécessaires pour réaliser des Tests d'Ébullition de l'eau (TEE) et des Tests de cuisine comparée (TCC) selon les normes internationales du secteur des biocombustibles.

➔ Pour plus d'information, consultez le Cahier technique n° 3 : « Guide de mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides ».

✳ Les caractéristiques des charbons de Typha et du charbon de bois

Les différentes campagnes de mesures réalisées au cours du projet sur la base des protocoles ont permis d'accumuler des données sur les différents charbons de Typha en comparaison au charbon de bois.

Le charbon de bois est un combustible présentant de très bonnes caractéristiques globales, qui expliquent en partie qu'il soit toujours utilisé par de nombreux ménages en Mauritanie, 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 principal, la cuisine.

TABLEAU 29 : CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DU CHARBON DE BOIS ET DES CHARBONS DE TYPHA INDUSTRIEL, ARTISANAL AVEC L'ARGILE COMME LIANT ET ARTISANAL AVEC LA GOMME ARABIQUE COMME LIANT

	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 %
Pouvoir calorifique inférieur humide	26 300 kJ/kg (100 %)	19 300 kJ/kg (73,4 %)	14 650 kJ/kg (55,7 %)	16 000 kJ/kg (60,8 %)
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 31 % plus rapide	11 secondes 82 % plus rapide	14 secondes 77 % plus rapide
Test d'Ébullition de l'eau (TEE)				
Temps d'ébullition	4,26 %	31,40 %	37,68 %	25,59 %
Quantité de charbon consommé	72,3 %	54,7 %	69,5 %	63,4 %
Efficacité énergétique	31 %	42 %	38 %	42 %
Test de cuisine comparée (TCC)				
Temps de cuisine	Référence	+ 14,5 %	+ 29 %	+ 31,5 %

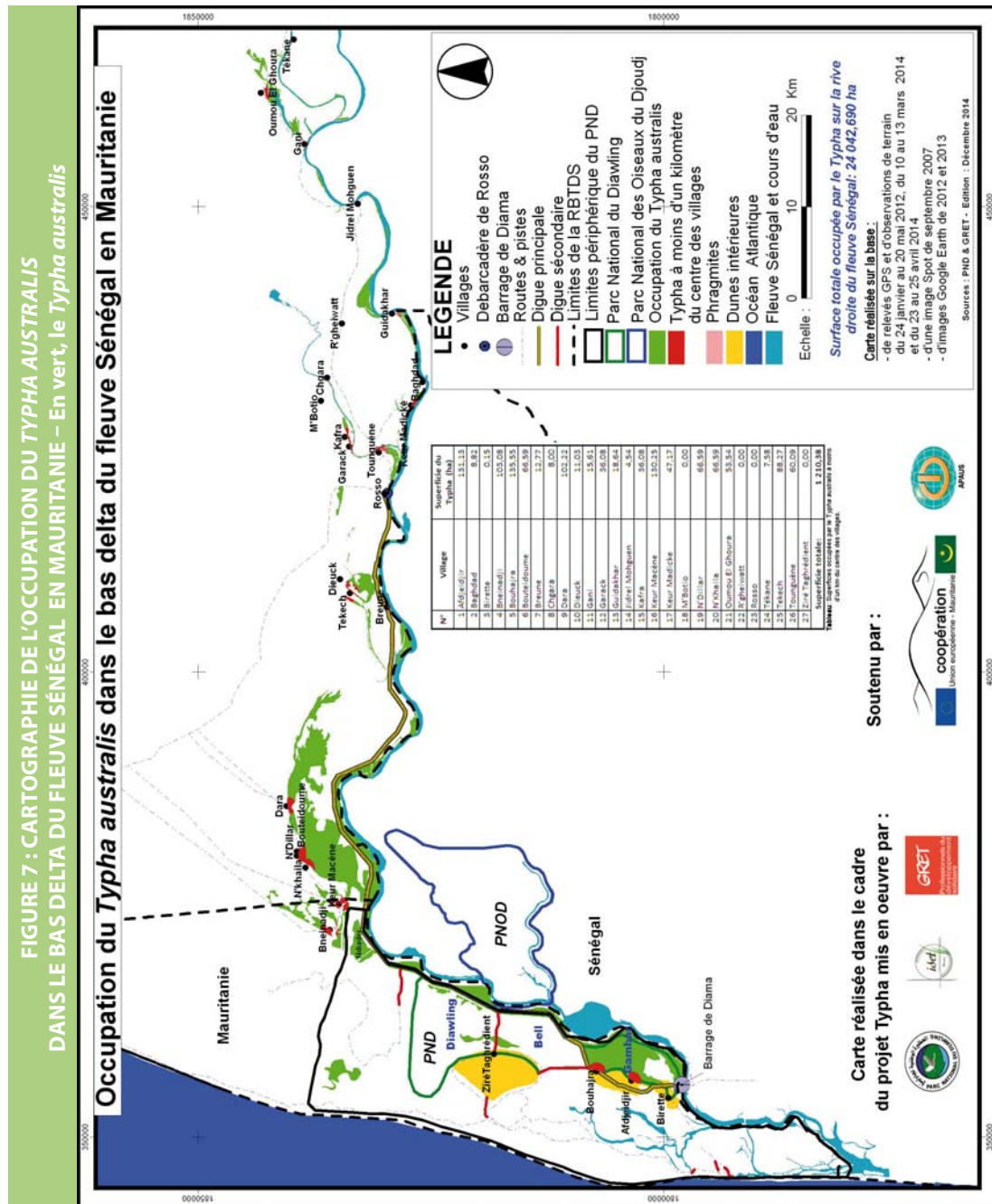
Le charbon de Typha Industriel se rapproche du charbon de bois pour ce qui est de l'utilisation, notamment grâce à sa solidité. Il a un pouvoir calorifique inférieur humide suffisant pour son utilisation en cuisine. Ce charbon a une meilleure efficacité énergétique car sa puissance moindre est adaptée à la phase longue de mijotage lors de la préparation du repas. Cependant, cela rallonge d'environ 15 % le temps de cuisine total en comparaison au charbon de bois. Le charbon de Typha Industriel dispose des caractéristiques requises pour être diffusé comme une alternative de qualité au charbon de bois dans les villes mauritaniennes.

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 pour l'argile et à la carbonisation artisanale. L'allumage est rapide avec ces charbons. Les charbons de Typha artisanaux sont adaptés pour la préparation de tous les repas mais demandent quelques changements d'habitudes, notamment par rapport au temps de cuisine qui est plus long.

Les charbons de Typha ont comme avantage commun de se consumer moins vite que le charbon de bois permettant ainsi d'utiliser une partie du charbon acheté pour d'autres usages comme la préparation du thé après le repas. De plus, ils produisent peu de fumées et pas d'étincelles (les étincelles du charbon de bois sont responsables de nombreux incendies domestiques).

➔ Pour plus d'information, consultez le Cahier technique n° 4 : « Caractéristiques physico-chimiques de charbons produits à base de *Typha australis* ».

FOCUS : Le Typha en Mauritanie et les effets de la coupe



Surfaces occupées par le *Typha australis* en Mauritanie

Le travail de cartographie du Typha a permis d'estimer qu'environ 24 000 hectares de berges du fleuve Sénégal, marigots, canaux d'irrigations, parcelles agricoles et bassins sont recouverts de Typha en Mauritanie. À titre de comparaison, 20 000 hectares de rizicultures sont cultivés chaque année en Mauritanie, dont une très large partie autour de Rosso, le long du fleuve Sénégal. Le PND a une superficie de 16 000 ha dont 2 800 sont recouverts de Typha, soit 17,5 % de son espace.

En transformant industriellement 10 % du Typha présent en Mauritanie, il serait possible de couvrir les besoins annuels de Nouakchott, Rosso et des 27 villages de la zone du projet.

TABLEAU 30 : SURFACES OCCUPÉES PAR LE TYPHA ET POTENTIEL EN CHARBON PRODUIT INDUSTRIELLEMENT

Zone occupée par le Typha	Superficie du Typha	Potentiel en charbon de Typha industriel
En Mauritanie	24 000 ha	400 000 tonnes
Au Parc national du Diawling (PND)	2 800 ha	46 000 tonnes
À moins d'un kilomètre des 27 villages touchés par le Typha de Birette à Tékane	1 200 ha	20 000 tonnes
Dans la commune de Rosso	1 911 ha	32 000 tonnes

Il est toutefois important de noter qu'une grande partie du Typha disponible à l'ouest du village de Breune (90 km du barrage) jusqu'à Birette (au niveau du barrage) contient un niveau de salinité important. Ce sel est accumulé par la plante lorsqu'elle se trouve dans des eaux contenant du sel même en faible quantité. La présence du sel dans la plante a été étudiée car le Typha est connu pour être une plante d'eau douce.

Des recherches au cours du projet ont permis de montrer que ce sel s'accumule dans la plante qui a en fait en Mauritanie une résistance à la salinité plus importante que ce que la littérature scientifique avait relevé. Le sel a un impact sur la production artisanale d'un charbon de Typha de qualité car lorsque le charbon est produit avec de l'argile, le sel forme une croûte dure à la surface des briquettes qui empêche l'allumage. De plus, le sel en surface rend le stockage du charbon difficile car il absorbe l'humidité, l'ennemie d'une bonne combustion. Dans ces zones, il est important d'utiliser de la gomme d'*Accacia radiana* comme liant afin de diminuer les effets du sel. Les effets du sel sur le charbon de Typha industriel restent à démontrer. Le fait qu'il soit produit sans liant et mélangé à de la balle de riz permet d'envisager qu'il est possible de produire un charbon de qualité avec ce processus.

Le Sénégal et le Mali sont deux pays frontaliers qui sont eux aussi concernés par le *Typha australis*. On estime que le Typha occupe une surface deux fois plus importante au Sénégal qu'en Mauritanie.

Effets de la coupe du Typha sur l'écosystème local

Un suivi des impacts écologiques de la coupe du Typha a été réalisé par l'équipe du PND tout au long du projet, dans chacune des zones de coupe des unités de production. L'évolution de la qualité de l'eau, de la faune et de la flore était mesurée et observée.

Malgré ce dispositif, il est encore difficile de tirer des conclusions fermes sur tous les impacts de la coupe, à cause du nombre importants de facteurs entrant en jeu et du manque de recul dans le temps.

Les photos ci-dessous montrent les impacts visibles qui ont été observés dans le village de Garack, le premier village à avoir été équipé d'une unité de production artisanale. Avec le village de Bouhajra au PND, Garack est le village dans lequel les surfaces coupées ont été les plus importantes.



Zone de coupe du Typha à Garack avant le démarrage de la production



La même zone après quatre mois de coupe



Reprise de la pêche dans la zone après six mois de coupe



Apparition de nénuphars (*Nymphaea lotus*) et de la jussie (*Ludwigia sp.*) après neuf mois

La coupe du Typha dans les différents villages du projet a permis de montrer que le premier impact positif concret et visible est le retour de la pêche traditionnelle. Dans la plupart des villages, les plans d'eau dégagés du Typha sont rapidement des espaces que les pêcheurs se réapproprient et dans lesquels les poissons sont nombreux.

➔ Pour plus d'information, consultez le Cahier technique n° 5 : « Guide pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle de *Typha australis* ».

Les impacts de la coupe sur la repousse du Typha et sur la flore diffèrent selon la méthode de coupe :

- Lorsque le Typha est coupé bien en dessous du niveau de l'eau (min. - 40 cm), la repousse est lente. Le Typha retrouve sa taille adulte entre 8 et 12 mois après la coupe si le plan d'eau n'est pas fréquenté pour les activités humaines (pêche, transport, baignade, lessive, etc.). S'il est fréquenté ou entretenu (coupe des nouvelles pousses), le Typha ne repousse presque pas et devient maîtrisable. Dans ce cas, des nénuphars apparaissent souvent sur les plans d'eau calme libérés et peuvent être valorisés par les habitants. Toutefois, la Jussie (*Ludwigia sp.*) a aussi fait son apparition dans certaines zones de coupe après neuf mois. La Jussie est une plante aquatique à développement rapide qui diminue rapidement la diversité de la faune et de la flore.

- **Lorsque le Typha est coupé au ras de l'eau ou dans une zone presque sèche**, la repousse est rapide, il retrouve sa taille adulte en moins de six mois dans la plupart des sites suivis sans que d'autres espèces n'aient eu le temps de s'y développer.

Le mode de coupe, la profondeur de l'eau et l'usage fait de la zone après la coupe sont des facteurs ayant un effet important sur la repousse de la plante et le retour de la biodiversité. Il est donc important d'intégrer ces paramètres lors de la définition de zones de coupe dans les villages et des méthodes de coupe, afin de trouver l'équilibre entre des zones de lutte durable contre le Typha et des zones de libre repousse de la plante pour son utilisation en combustible. Cela est valable aussi pour les futurs industriels qui auront un impact plus important sur la diminution des surfaces occupées par le Typha.

Les effets de la coupe du Typha sur la faune étaient difficiles à évaluer. Toutefois les connaissances en environnement montrent que le retour d'une certaine forme de diversité floristique facilite l'implantation et le développement de nouvelles espèces animales et d'insectes qui y trouvent des habitats et sources d'alimentation adaptés.

Afin de maximiser les impacts positifs et de limiter les impacts négatifs de la coupe, il est préférable de couper le Typha en laissant des zones de Typha intactes au milieu ou en bordures des zones de coupe. Le Typha, en petite quantité, est un habitat intéressant pour des espèces animales et des insectes. Il est aussi important d'éviter la coupe mécanique intensive qui peut être source de destruction d'habitats d'animaux (oiseaux, poissons, reptiles) et peut provoquer des changements rapides perturbant l'écosystème local.

La coupe du Typha favorise donc à certaines conditions le retour d'une forme de biodiversité permettant de meilleures interactions dans l'écosystème local entre les animaux, les plantes, le sol, l'air et l'eau.

À une échelle plus globale, la consommation du charbon de Typha est neutre en émission de CO₂ puisque la quantité de CO₂ émise lors de la combustion est réassimilée lors de la croissance du Typha. Le bilan carbone devient positif lorsque le charbon de Typha remplace la consommation de charbon de bois issu de forêts qui sont ensuite transformées en terres agricoles ou envahies par le sable.

Conclusion

★ La recherche-expérimentation comme fil conducteur du projet

Durant toute la durée du projet, les allers-retours fréquents entre la recherche dans les laboratoires et les ateliers de l'Iset de Rosso, et l'expérimentation dans les unités de production artisanales ont permis de développer des équipements de production appropriés au contexte des villages et un produit répondant aux attentes des utilisatrices. Les innovations techniques proposées par les chercheurs étaient constamment améliorées grâce aux critiques des producteurs utilisant les équipements en conditions réelles. La phase de recherche pure, qui comprend la capitalisation des expériences de la sous-région et la conception de prototypes, a duré un an. La phase de recherche-expérimentation au cours de laquelle les prototypes ont été utilisés dans les villages tout en étant optimisés a duré deux ans. Enfin, la phase de diffusion des technologies validées par l'expérience a duré un an et demi.

La même méthodologie a été utilisée pour l'unité semi-industrielle. L'implantation de cette unité à l'Iset de Rosso a largement facilité la phase de recherche-expérimentation. Les équipes du projet se sont appuyées sur les données accumulées pendant cette phase, où une production industrielle a été réalisée pour proposer un plan d'affaire rentable et durable pour des unités autonomes. Travailler directement avec un opérateur privé n'aurait pas permis de trouver des solutions au problème de compactage du Typha aussi rapidement et de maîtriser et d'optimiser les équipements de production, comme c'est le cas actuellement à l'institut. Grâce à cette phase d'expérimentation, l'équipe du projet dispose de toutes les informations techniques, économiques et organisationnelles pour accompagner des producteurs intéressés lors d'une seconde phase du projet.

★ La matière première, un enjeu stratégique encore d'actualité

La régularité de l'approvisionnement en Typha des unités de production artisanales et industrielles est primordiale pour assurer un niveau de production stable et suffisant pour être rentable. Elle dépend de plusieurs facteurs dont le choix d'une zone de Typha facilitant la coupe. En même temps, il est indispensable que les zones de coupe choisies soient intéressantes pour une réappropriation de l'espace libéré. Il faut donc trouver un équilibre entre ces deux dimensions parfois contradictoires pour que la coupe génère le double effet positif escompté : permettre l'approvisionnement des unités et encourager le retour de la biodiversité et de l'accès à l'eau à proximité des habitants.

Lorsqu'un équilibre est trouvé, il est aussi important de maîtriser, dans la mesure du possible, les paramètres suivants pour s'assurer de la disponibilité de la matière première dans le temps :

- les variations saisonnières dues à la fois aux pluies et à la gestion du niveau d'eau du fleuve par les barrages ainsi qu'aux constructions humaines (nouvelles digues, canaux) peuvent assécher de vastes zones de Typha et ainsi les faire disparaître ou inonder des zones, avec pour effet de les rendre inaccessibles ;
- des incendies d'origine humaine (pêcheurs, agriculteurs) ou accidentelle peuvent brûler en quelques heures plusieurs milliers de m² de Typha ;
- une salinité excessive de la plante peut rendre le charbon qui en sera issu difficile à allumer.

Au-delà de ces paramètres, la coupe de la plante est l'étape de production qui est la plus difficile à gérer et qui représente une charge importante pour une production de type industrielle. La coupe

du Typha frais induit la manipulation de volumes et de quantités importantes qui nécessite une organisation humaine (coupeurs), logistique (coupe/extraction) et spatiale (zone de coupe et zone de séchage) adaptée. La coupe manuelle du Typha est difficile physiquement. Elle doit être limitée dans le temps et la difficulté de l'extraction du Typha de la zone de coupe vers la berge ne doit pas être négligée. La rémunération des coupeurs doit être particulièrement équitable et calculée sur une base transparente afin d'éviter tout risque de rupture d'approvisionnement.

Fort de ces constats, il y a un enjeu technologique et économique à trouver des solutions pour rendre cette coupe/extraction plus aisée, même si une mécanisation industrielle (faucardage mécanique) de cette étape présente des limites en matière de destruction d'emplois et d'atteinte à l'environnement. Tout acteur qui prolongera cette expérience devra s'y confronter et trouver un équilibre afin de rendre possible un changement d'échelle.

★ L'émergence du charbon de Typha sur le marché illégal du charbon de bois

Un fois les défis de la production du charbon de Typha relevés, les producteurs sont confrontés à un dernier défi majeur, celui de la vente de leur produit. Le marché existant du charbon de bois est en partie informel, illégal et non régulé, tant au niveau de la production, du transport que de la vente. Le charbon de Typha fait donc face à un concurrent dont les coûts de production sont particulièrement bas, les marges particulièrement importantes, et dont les prix peuvent varier en fonction des choix de quelques grands propriétaires de dépôts. Par ailleurs, les externalités négatives du charbon de bois ne sont aucunement compensées par une forme de taxation ou de fiscalité étatique.

La déforestation et la dégradation des forêts dues en partie à la production de charbon de bois amplifient la désertification qui a des effets négatifs importants sur l'agriculture et l'élevage du bétail, deux secteurs majeurs de l'économie mauritanienne qui sont des sources de revenus importantes pour des centaines de milliers de Mauritaniens.

Parallèlement, la production d'énergie domestique renouvelable et propre n'est pas incitée et soutenue par l'État mauritanien. Le marché existant contraint donc le prix du charbon de Typha par le bas et ne permet pas encore aux producteurs de dégager des marges qui pourraient augmenter l'attrait de cette filière émergente.

Ces constats amènent à poser deux questions d'ordre politique aux autorités mauritaniennes qui sont déterminantes pour la mise en place de filières légales et durables de production de combustibles domestiques renouvelables et propres dans la décennie à venir :

- Quels seront les moyens juridique et économique mis en œuvre pour faire émerger une offre légale et renouvelable de production de charbon de bois (gestion de la ressource ligneuse, optimisation de la production du charbon, amélioration de l'utilisation dans les ménages) ?
- Quels seront les moyens juridique et économique mis en œuvre pour soutenir les alternatives renouvelables au charbon de bois, comme le charbon de Typha ?

★ Les défis à relever pour la diffusion de cette expérience

Le projet Typha a permis de faire émerger un début de filière artisanale avec la mise en place de sept unités de production dans le bas delta du fleuve Sénégal, sur environ 27 villages affectés directement par le Typha. Ces unités ont montré la pertinence de cette production artisanale locale ainsi que ses limites actuelles. La faisabilité du développement d'une filière industrielle a été prouvée dans les locaux de l'Islet de Rosso.

Enfin, la complémentarité de l'approche par les deux filières est démontrée puisqu'elles permettent de répondre à des besoins et des enjeux différents, mais tout aussi pertinents pour la mise sur le marché rural et urbain d'une offre de combustibles renouvelables.

Le changement d'échelle qui permettra de proposer un combustible alternatif au charbon de bois pour les marchés tant ruraux qu'urbains, ne pourra avoir lieu sans un accompagnement politique mauritanien ainsi qu'un soutien financier des bailleurs de fonds nationaux et internationaux pendant encore plusieurs années. En s'appuyant sur l'amorce des deux filières et sur l'expérience acquise des partenaires mauritaniens que sont le Parc national du Diawling et l'Iset de Rosso, il semble possible qu'à moyen terme une partie des cuisinières du sud du Trarza et de Nouakchott contribuent à la protection de leur forêt et à la réappropriation d'espaces aquatiques perdus en produisant et consommant régulièrement du charbon de Typha. À long terme, il est envisageable de penser que le charbon de Typha fasse partie de l'offre de combustibles domestiques renouvelables et durables à l'échelle nationale.

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

Le projet Typha récompensé par deux prix internationaux

LE PRIX DES 100 INNOVATIONS POUR UN DÉVELOPPEMENT DURABLE EN AFRIQUE

Au début du mois d'octobre 2013, Babana Mohamed Lemine, responsable technique du projet Typha à l'Institut supérieur d'enseignement technologique de Rosso, a participé avec l'appui du Gret au « Forum Afrique : 100 innovations pour un développement durable » organisé par le ministère français du Développement et l'Agence française de développement.



Pascal Canfin, ancien ministre français chargé du Développement et Babana Mohamed Lemine
5 décembre 2013

Babana a postulé en tant qu'innovateur à l'origine du développement du processus de transformation du Typha en charbon en Mauritanie. Ce processus a été diffusé à l'aide du Gret et du Parc national du Diawling dans le cadre du Projet Typha.

Babana a été sélectionné dans les 21 meilleures innovations parmi les 800 innovations (techniques, sociales, culturelles, financières) africaines soumises.

Dans ce cadre, il a été invité à présenter son innovation le jeudi 5 décembre 2013 à Paris lors du Forum organisé en amont du sommet de l'Élysée pour la paix et la sécurité en Afrique.

LE PRIX CONVERGENCES INTERNATIONAL



Remise du Prix Convergences, 9 septembre 2015

Le Gret, l'Iset de Rosso et le PND ont été récompensés par le Prix Convergences international le 9 septembre 2015. Ce prix récompense les meilleurs projets internationaux à fort impact social ou environnemental portés par une entité solidaire, en partenariat avec des acteurs publics et/ou privés et présentant un fort degré d'innovation.

Lancée en 2008, Convergences est la première plateforme de réflexion en Europe destinée à établir de nouvelles convergences entre acteurs publics, privés, solidaires, académiques et des médias pour promouvoir les Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) et lutter contre la pauvreté et la précarité dans les pays du Nord et du Sud.

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.

Le *Typha australis* en Mauritanie

Nom binomial: *Typha australis* (*domingensis*)

Noms vernaculaires : massette, quenouille

Classification APG III :

- Clade : Angiospermes
- Clade : Monocotylédones
- Clade : Commelinidées
- Ordre : *Poales*
- Famille : *Typhaceae*

Classification de Raunkier :

- Vivace/pérenne
- Hélophyte à rhizomes

Reproduction :

- par anémochorie ;
- par les rhizomes ;
- Taux de croissance : 1 mètre par mois.

Caractéristiques physiques :

- Hauteur : 3 à 4 m
- Epaisseur de la tige : 3 à 4 cm
- Epaisseur des feuilles : 2 à 3 cm
- Masse fraîche par m² : 5 à 15 kg
- Masse sèche par m² : 1,5 à 4,5 kg
- Nombre de pieds par m² : 20 à 50

Caractéristiques chimiques :

- Taux de carbone : 47,2 % sur sec
- Taux d'hydrogène : 5,7 % sur sec
- Taux d'azote : 0,5 % sur sec
- Souffre : 978 mg/kg sur sec
- Chlore : 5 832 mg/kg sur sec
- Taux de cendres : 4 % sur sec
- Pouvoir calorifique Inf. humide séché naturellement : 10 000 kJ/kg

Zone de développement :

- Eaux calmes entre 10 et 150 cm
- Forte exposition au soleil
- Roselières
- Bords de fleuve, rivière
- Marigots
- Canaux d'irrigation
- Etangs, marres

Aire de répartition en Mauritanie :

- Du barrage de Diama au village de Tékane
- Superficie occupée : 24 043 hectares



Photo 1 : *Typha australis* et sa massette



Photo 2 : *Typha* coupé et *Typha* adulte



Photo 3 : Partie interne spongieuse de la tige



Photo 4 : *Typha* vu du ciel à Cheyal (enhaut.org)



CAHIER TECHNIQUE N° 1

Guide de production artisanale 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 artisanale 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 artisanale 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 : Babana Ould Mohamed Lemine, Benjamin Trouilleux, Kevin Doussan, *Guide technique de production artisanale de charbon de Typha*, Paris, Gret et Iset de Rosso, avril 2016, 37 p.

Crédits photos : © Gret

Sommaire

Introduction	4
1. Objectifs du guide	4
2. Processus de production et valeurs clefs.....	4
3. Étapes de production par mois et organisation	5
I. La coupe du Typha	5
1. Le <i>Typha Australis</i>	5
2. Choix de la zone de coupe	6
3. Méthode de coupe et d'évacuation	7
4. Matériels utilisés	9
5. Les données de la coupe pour atteindre 800 kg de charbon de Typha par mois.....	10
II. Le séchage du Typha frais	10
1. Principe	10
2. Choix de la zone de séchage	10
3. Méthode de séchage.....	10
4. Les données du séchage pour atteindre 800 kg de charbon de Typha par mois	11
III. La carbonisation	11
1. Principe	11
2. Choix de la zone de carbonisation	12
3. Méthode	12
4. Les données de la carbonisation	18
IV. Le broyage / mélange	18
1. Principe	18
2. Méthode de broyage et mélange	18
3. Les données du mélange	21
V. le briquetage et le séchage	22
1. Principe	22
2. Méthode de briquetage et de séchage	22
3. Les données du briquetage.....	23
Annexes.....	25
1. Fabrication du carbonisateur « 3 fûts » galvanisé.....	25
2. Fabrication de la presse à extrusion	31
3. Fiche de suivi technique mensuelle de l'unité	36

INTRODUCTION

1. Objectifs du guide

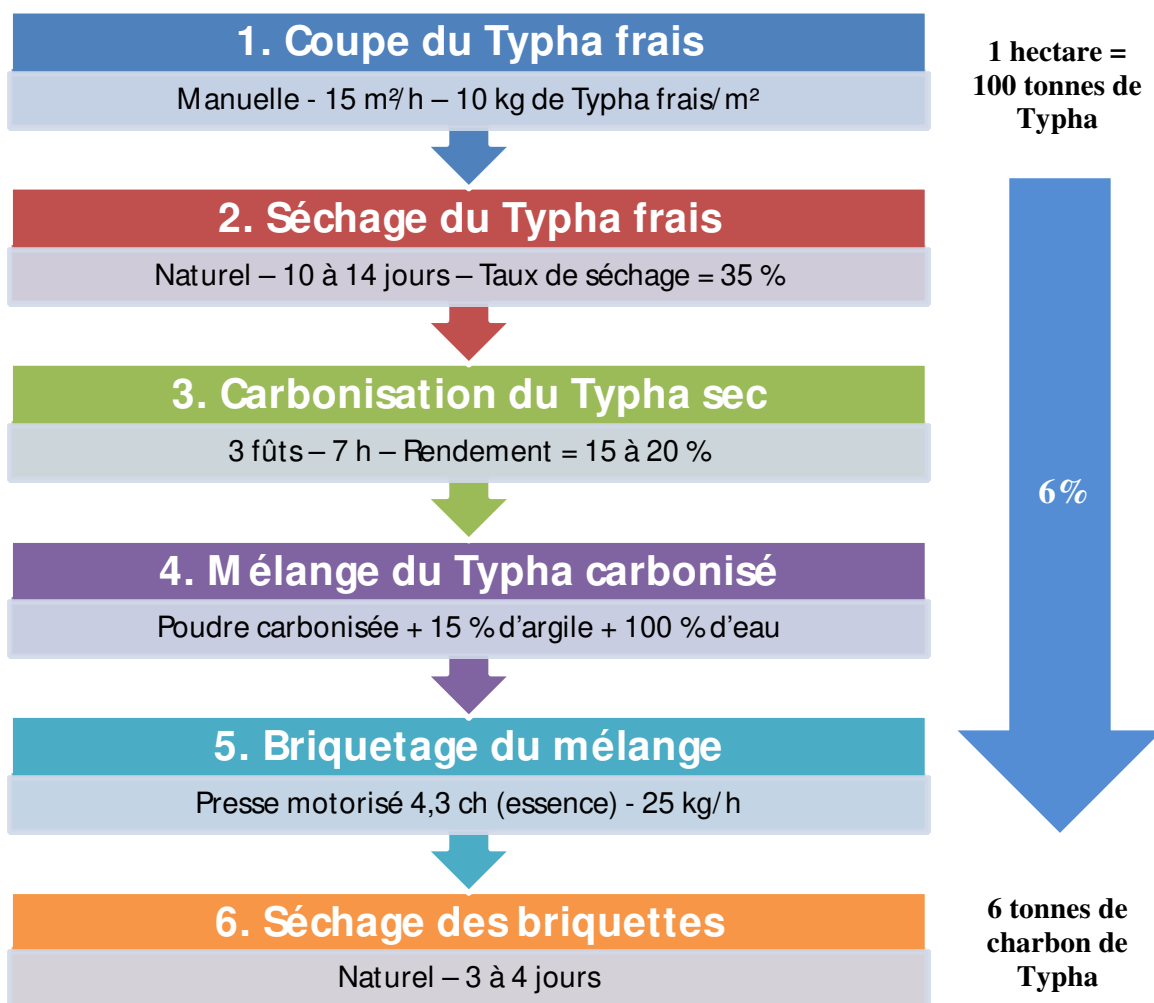
Le guide technique présente la méthode artisanale de production du charbon de Typha et les responsabilités des opérateurs dans l'ensemble des étapes du processus. Ce guide présente la méthode la plus adaptée pour mener chaque étape de production, les données techniques associées ainsi que les consignes de sécurité à respecter. Enfin, le guide définit la manière dont le suivi/contrôle de la production doit être effectué.

Ce guide a été adapté tout au long de l'expérience du projet dans les 7 villages ayant été équipés d'une unité artisanale de production de 2012 à 2015.

Ce guide présente le processus et l'organisation à adopter pour une production de charbon de Typha de 800 kg/mois.

2. Processus de production et valeurs clefs

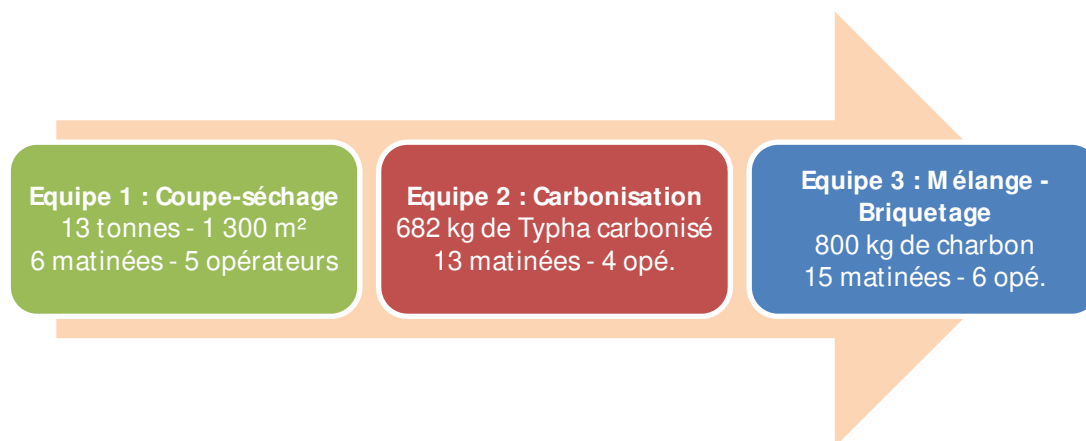
Le schéma ci-dessous présente les principales étapes du processus de production du charbon de Typha ainsi que les valeurs clefs :



Le rendement global de la production artisanale de charbon de Typha est de 6 %. Il faut 100 tonnes de Typha fraîchement coupé, soit une superficie d'un hectare, pour produire 6 tonnes de charbon de Typha prêt à être utilisé.

3. Étapes de production par mois et organisation

Les schémas ci-dessous présentent les trois grandes étapes de production (regroupement des étapes ci-dessus) avec la quantité de travail que cela implique :



I. LA COUPE DU TYPHA

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 mesurer 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 144 000 tonnes de charbon de Typha avec le processus artisanal.



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

2. Choix de la zone de coupe

La coupe est une étape de production importante pour la fabrication du charbon mais aussi pour les impacts positifs que cela peut apporter aux villages liés à la réduction des surfaces envahies que cela génère. Il est important de trouver un équilibre entre l'optimisation de cette étape et l'intérêt de la zone coupée pour le village.

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 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.



2 : Coupe du Typha au ras de l'eau

La zone coupée peut être valorisée pour lutter contre la repousse du Typha en y menant une activité humaine 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 et d'évacuation

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.






3 : Coupe du Typha en profondeur et extraction

Une fois coupé, le Typha peut être entassé derrière le coupeur en attendant le chargement. Il peut être chargé sur une barge ou une pirogue qui sera ramené au bord par un système de cordes pour le déchargement si la profondeur de l'eau le permet. Pour les zones sèches ou peu inondées, le Typha sera transporté jusqu'à la barge en fagots.



4. Chargement du Typha sur la barge

4. Matériels utilisés

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. Les données de la coupe pour atteindre 800 kg de charbon de Typha par mois

Les données de la coupe sur un mois	
Vitesse de coupe	15 m ² par heure par coupeur
Masse de Typha frais par m ²	10 kg
Quantité à couper par mois	13 000 kg – (1 300 m ²)
Nombre de coupeurs à mobiliser	5
Nombre d'heures de coupe par matinée et par coupeur	3 heures
Nombre d'heures nécessaire au transport entre zone de coupe et zone de séchage par coupeur	1 heure
Nombre de matinées de coupe nécessaires par mois	6 matinées
Nombre total d'heures travaillées nécessaires par mois	120 heures
Nombre total d'heures travaillées nécessaires par mois par coupeur	24 heures

II. LE SECHAGE DU TYPHA FRAIS

1. Principe

Le Typha coupé contient beaucoup d'eau. Il est important de le faire sécher avant de le transformer car l'eau contenue dans le Typha a un impact négatif sur le rendement de la carbonisation. L'objectif de cette étape est que le Typha ne pèse plus que 35% de sa masse initiale après le séchage.

2. Choix de la zone de séchage

La zone de séchage doit être très proche de la zone de coupe (moins de 50 mètres) afin de limiter les temps de transport. La zone doit être dégagée de tout objet (arbres, maisons) pouvant faire de l'ombre au sol afin d'optimiser la durée de séchage. La zone doit être protégée du passage des animaux qui pourrait manger le Typha.

3. Méthode de séchage

Le séchage dure entre 10 et 14 jours au soleil en fonction de la saison pour avoir un rendement de carbonisation satisfaisant. Le suivi du séchage doit se faire par zone afin d'avoir du Typha sec en continu.

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 carbonisation.



5. Zone de séchage du Typha

4. Les données du séchage pour atteindre 800 kg de charbon de Typha par mois

Les données du séchage pour un mois	
Nombre de jours de séchage nécessaire avant la carbonisation	10 - 14 jours (en fonction de l'humidité ambiante)
Taux de séchage à atteindre	35 % de la masse initiale
Quantité de Typha Sec obtenue après 10 à 14 jours	4 549 kg

III. LA CARBONISATION

1. Principe

L'étape de carbonisation est l'étape la plus importante du processus. Elle permet de faire passer le Typha de l'état de biomasse à l'état de poudre de carbone. Cette poudre de carbone est obtenue en carbonisant du Typha sec en atmosphère contrôlée (apport limité en oxygène). Ce procédé permet

d'extraire du Typha, par élévation de la température, les fractions liquéfiables et gazéifiables (humidité et matière végétale/organique volatile), afin de ne conserver que le carbone et quelques minéraux (futurs cendres). Cette étape permet donc d'éliminer du Typha tous les éléments qui pourraient être source de fumée, d'odeurs et d'étincelles. Le volume occupé par le Typha carbonisé est réduit drastiquement par rapport au Typha sec.

Cette étape se fait dans des fours métalliques « 3 fûts » en tôle galvanisée constitués d'un cylindre, d'un couvercle et d'un chapeau. La méthode de fabrication du carbonisateur est détaillée en annexe de ce guide (Voir partie VI).

La carbonisation du Typha est dite rapide comparée aux carbonisations de plusieurs jours nécessaires pour le charbon de bois.

2. Choix de la zone de carbonisation

La zone de carbonisation doit être très proche de la zone de séchage afin de limiter le transport de gros volume de Typha sec. La zone doit être éloignée des habitations pour limiter les nuisances dues aux fortes productions de fumées lors de la carbonisation. Le vent dominant doit être identifié afin de se positionner par rapport à celui-ci en anticipant les zones d'habitation qui seraient enfumées lors de la carbonisation.

3. Méthode

3.1. Mode de pose du carbonisateur :

Le carbonisateur est posé sur un espace dégagé et totalement aplani. Tout matériau susceptible de s'enflammer aux alentours est enlevé. Le cylindre est posé sur trois pierres pour le soulever de quelques centimètres.



6. Carbonisateur posé sur les trois pierres

3.2. Remplissage et pré-fermeture :

Les rendements sont améliorés si les tiges de Typha sont pliées avant d'être introduites dans le carbonisateur. Le fait de plier les tiges permet aussi de mieux remplir le carbonisateur, ainsi la quantité produite de charbon est plus importante pour une fournée avec des rendements identiques. De plus, la base des tiges peut être orientée vers le bord du carbonisateur afin de faciliter la carbonisation. Pour rendre la masse de Typha plus compact le charbonnier peut entrer dans le carbonisateur et l'entasser avec ses pieds. Le carbonisateur est ainsi rempli jusqu'à ras-bord pour atteindre une charge de 90 kg. Le Typha peut dépasser le bord supérieur du carbonisateur sans aucun préjudice pour la carbonisation. Il faut remplir le carbonisateur au maximum de sa capacité afin d'optimiser cette étape. Le couvercle est alors positionné sur le cylindre rempli de Typha.

Avec une pelle, tout le pourtour du carbonisateur, au niveau de la partie surélevée par les pierres et de la liaison couvercle-cylindre est couvert de terre pour le rendre étanche. Le chapeau du carbonisateur n'est pas posé pour le moment.



7. Remplissage du carbonisateur et fermeture de la base du carbonisateur



8. Fermeture du couvercle et dépôt de terre pour l'étanchéité

Avant toute mise à feu trois à quatre trous d'aération (évents de 10-15 cm) sont pratiqués à la base du carbonisateur avec une pelle. Ces événements sont diamétralement opposés.



9. Création des événements à la base du carbonisateur

3.3. Mise à feu et carbonisation :

Le carbonisateur est allumé par le chapeau ou par les événements. Comme la carbonisation est un processus de combustion partielle (une partie de la matière enfournée est brûlée pour fournir la chaleur nécessaire au démarrage de la carbonisation), le contrôle de l'admission de l'air est le facteur déterminant du fonctionnement du carbonisateur. Le front de carbonisation dans un tel carbonisateur se déplace du haut vers le bas.

Après la mise à feu, le carbonisateur doit faire l'objet d'une étroite surveillance. Les événements sont régulièrement inspectés. Une fois qu'il y a apparition du feu sur un événement, celui-ci est fermé et un autre ouvert pour faciliter le déplacement du feu dans le carbonisateur.

Le déroulement de la carbonisation se contrôle de deux manières :

- Contrôle de la couleur des fumées : la fumée au début est noire et jaune à cause de la vapeur d'eau et certains volatils que contient le typha qui en sont extraits. Cette fumée vire en une fumée blanche épaisse puis vers une couleur bleue. Cette couleur bleue indique que la carbonisation est en cours.
- Contrôle par les événements : ce deuxième contrôle est de sonder la masse à carboniser avec un bâton introduit à travers les événements. L'absence de résistance signifie que la carbonisation est terminée.



10. Contrôle de la carbonisation et déplacements des événements

3.4. Refroidissement et défournement :

Une fois la carbonisation terminée, les événements sont bouchés et le couvercle est fermé avec son chapeau (ajout de sable pour l'étanchéité). Ensuite commence le refroidissement. Le refroidissement demande parfois plus de 3h ce qui explique le temps assez long de carbonisation. Le refroidissement ne demande pas de surveillance. Il faut compter moins d'une heure de temps de travail effectif pour une carbonisation, pour assurer le remplissage du carbonisateur et le suivi de la carbonisation. Le temps de refroidissement n'est pas comptabilisé.



11. Fermeture des événements et pose du chapeau



12. Fermeture hermétique du chapeau du carbonisateur

Après le refroidissement, il faut ouvrir le carbonisateur en retirant le couvercle en faisant très attention à la présence éventuelle du feu à l'intérieur. Il faut toujours avoir de l'eau à côté. Le charbon

produit de cette manière est très réactif et peut prendre feu au contact de l'air si une petite source de chaleur est restée à l'intérieur. C'est pourquoi il est très important de fermer hermétiquement le carbonisateur avec de la terre à la fin de la carbonisation (base du carbonisateur, couvercle et chapeau). Le défournement peut ensuite avoir lieu avec une pelle pour charger la matière carbonisée dans des sacs de riz de 50 kg. Le Typha non carbonisé ne doit pas être mis en sac. Il doit être laissé dans le carbonisateur. Une méthode plus simple de défournement consiste à faire basculer le cylindre sur la tranche afin de ramasser le Typha carbonisé au sol en ayant pris soin d'enlever le couvercle avant.



13. Défournement de la matière carbonisée avec la méthode de la pelle

4. Les données de la carbonisation

Les données de la carbonisation pour un mois	
Rendement de la carbonisation	15 %
Capacité d'un carbonisateur (Typha sec)	90 kg
Nombre de carbonisations nécessaires par mois	50
Nombre de carbonisateurs installés	4
Nombre moyen d'heures nécessaire pour une carbonisation	1 h
Durée d'une carbonisation (avec refroidissement)	6 h
Nombre d'heures pour le déchargement du carbonisateur et du transport vers l'unité de production	30 minutes
Nombre de carbonisation par jour par carbonisateur	1
Nombre de carboniseurs (opérateurs)	4
Nombre de matinées de carbonisation par mois (si une carbonisation par jour)	13
Masse de poudre de Typha carbonisée produite par mois	680 kg
Nombre total d'heures travaillées par mois	75 h
Nombre total d'heures par carbonisatrice par mois	19 h

IV. LE BROYAGE / MELANGE

1. Principe

Le Typha carbonisé ne peut pas être utilisé directement comme combustible. En effet, il est trop friable. Afin de préparer sa mise en forme en briquette de charbon, il est nécessaire de le broyer grossièrement et de le mélanger à un liant et de l'eau. Le liant, l'argile ou la gomme de l'*Accacia tortillis* dans notre cas, va permettre l'agglomération en une masse solide (briquette) de la poudre de Typha carbonisée.

2. Méthode de broyage et mélange

Au préalable, de l'argile de bonne qualité doit être ramassé dans les environs de l'unité. Cette argile doit être très solide et il ne doit pas être salé. L'argile doit être broyé avec un mortier/pilon et tamisé avant d'être utilisé comme liant.

La matière carbonisée à mélanger doit être pesée précisément avec une balance à crochet numérique.

Lorsque l'argile est prête, il est mélangé à de l'eau dans un seau dans des proportions très précises : l'argile représente 15% de la masse de la matière carbonisée que l'on souhaite briqueter ; il faut ensuite ajouter 100% d'eau non salée par rapport à la masse de la matière carbonisée. Le mélange entre l'argile et l'eau doit être homogène. Le mélange d'argile et d'eau se fait dans un seau.

Pour la gomme de l'Accacia, il faut en mélanger une quantité équivalente à 5 % de la matière carbonisée avec une quantité d'eau équivalente à 100 % de la matière carbonisée.



14. Poudre de Typha carbonisé (à gauche) et argile brut (à droite)

Le mélange avec la matière carbonisée va se faire à la main dans un demi-baril. Avant cette étape il est important de filtrer grossièrement la matière carbonisée afin d'enlever les gros morceaux de Typha non carbonisés qui pourrait perturber le processus de compactage.

Pour une masse de 10 kg de Typha carbonisé, il faut suivre les proportions suivantes :

Poudre de Typha carbonisé	Argile broyé (liant) – 15%	Eau – 100%
10 kg	1.5 kg	10 litres
Poudre de Typha carbonisé	Gomme (liant) – 5%	Eau – 100%
10 kg	500 g	10 litres



15. Argile broyé/tamisé et pesé à l'aide d'une balance à plateau numérique

Lorsque le Typha carbonisé est filtré grossièrement, on ajoute le mélange argile/eau ou gomme/eau dans le demi-baril et on mélange très doucement à la main afin d'éviter les projections de poussières de charbon. Il est très important de ne pas manipuler la poudre de charbon avant d'avoir ajouté le mélange qui va limiter grandement les projections de poussières. Le mélange facilitera également le broyage grâce à la friabilité du Typha carbonisé.

Cette étape doit être réalisée dans un endroit isolé par rapport aux autres opérateurs et par un nombre très limité d'opérateur en même temps. L'opérateur en charge du mélange d'un demi-baril devra être équipé d'un masque anti-poussière et de gants adaptés. Le lieu choisi pour le mélange sera abrité du vent. La durée de mélange est laissée à l'appréciation de l'opérateur qui saura déterminer avec l'expérience le moment où le mélange est homogène.



16. Mélange homogène prêt à être briqueté

L'élément important de cette étape est le respect des proportions de Typha carbonisé, de liant et d'eau à mélanger ainsi que le respect d'un temps de mélange permettant l'homogénéité de la matière.

La qualité du charbon produit dépend beaucoup de la précision du mélange, de la qualité de matière carbonisée (filtrage) et de la qualité du liant. Lorsque le mélange est homogène, il est alors possible de passer à l'étape de briquetage. L'enchaînement des étapes de mélange et de briquetage doit être rapide afin que le mélange ne sèche pas.

3. Les données du mélange

Les données du mélange sur un mois	
Quantité d'argile sec (liant) à ajouter à la masse de Typha carbonisé	15% - Total = 102 kg
Quantité d'eau à ajouter par kg de poudre	100 cl – Total = 680 l
Masse totale de Typha + argile + eau à briqueter par mois	1 467 kg
Nombre de personnes pour le mélange	3
Nombre d'heures de mélange par matinée	1 h
Nombre de matinées de mélange par mois	15
Nombre d'heures de mélange par mois	15 h

V. LE BRIQUETAGE ET LE SECHAGE

1. Principe

L'étape de briquetage permet de mettre en forme le mélange de Typha carbonisé, de liant et d'eau. La méthode utilisée suit le principe de l'extrusion en forçant le mélange à passer dans une filière ayant la forme que nous voulons donner au charbon. La matière ajoutée par la trémie d'alimentation est acheminée et compressée grâce à une vis sans fin à travers le fourreau de la presse jusqu'à la filière de sortie.

La matière entre dans la presse sous forme de pâte et ressort sous forme de briquettes de charbon.

La presse a été conçue et fabriquée à l'Iset de Rosso. Elle est composée d'un moteur thermique à essence de 4,3 chevaux qui entraîne la vis via une transmission par poulie/courroie. Le moteur a été choisi pour que des femmes puissent le démarrer de manière autonome. La trémie d'alimentation en matière est protégée par un grillage afin que personne ne puisse mettre la main dedans lorsque la presse est en fonctionnement. La filière cylindrique qui permet la sortie de la briquette est facilement démontable afin de pouvoir la nettoyer après utilisation. Enfin, la presse peut être fixée au sol ou transportée par deux personnes.



17. Presse à charbon avec moteur thermique essence

2. Méthode de briquetage et de séchage

La première étape est de verser le mélange dans la presse en marche à une fréquence régulière par petite quantité pour ne pas créer un bourrage. Si un bourrage a lieu, il faut arrêter le moteur et dévisser la filière de la presse afin de la nettoyer car c'est le lieu principal de blocage.

La qualité du mélange est importante pour le briquetage. Une infime variation des quantités d'eau peut soit bloquer la presse (pas assez d'eau) ou soit donner un charbon trop mouillé sans trou au milieu (trop d'eau).



18. Séchage du Typha briqueté sur les claies

La deuxième étape consiste à récupérer les briquettes de charbon à la sortie de la presse en les coupant lorsqu'elles ont une taille de 10 cm et à les ranger sur des claies pour le séchage à l'extérieur.

Le séchage doit durer au minimum 3 jours. Le soir du 3^{ème} jour les briquettes de charbon peuvent être retirées des claies pour être stockées dans des sacs dans un lieu sec et sécurisé (cette étape doit se faire en fin de journée pour éviter la reprise d'humidité de la nuit). Il ne faut pas trop remplir les sacs au risque d'écraser les briquettes et d'en perdre une partie. Le mieux étant de mettre directement le charbon dans son emballage final après le séchage.

3. Les données du briquetage

Les données du briquetage sur un mois	
Capacité de la presse motorisée	25 kg/h de mélange
Consommation d'essence	0,25 l/h
Nombre d'heures de briquetage	58 h
Nombre de personnes pour le briquetage	3
Nombre de matinées de briquetage par mois	15
Nombre d'heures briquetage par matinée	4
Masse de briquettes de charbon de Typha produite par mois après le séchage (3 % de pertes inclus)	800 kg

Annexes

1. Fabrication du carbonisateur « 3 fûts » galvanisé

1.1. Matériels nécessaires

- Un poste de soudure à l'arc
- Une meuleuse

1.2. Matières premières nécessaires

- 5 tôles en acier galvanisé d'un mètre par deux mètres et d'épaisseur 2 mm
- ½ tôle en acier galvanisé d'un mètre par deux mètres et d'épaisseur 3 mm
- Cornières en acier galvanisé de 6 mètres de long, 40 mm de côté et d'épaisseur 4 mm
- Tube rond en acier galvanisé de diamètre 16 mm
- Disque à couper
- Disque à meuler
- Baguettes de soudure

1.3. Vue globale



19 Carbonisateur « 3 fûts » de l'Iset de Rosso

1.4. Le cintrage des cornières

Les cornières sont utilisées pour réaliser une goulotte entre le couvercle et la partie cylindrique et entre le chapeau et le couvercle pour réaliser le joint de terre. Une cornière cintrée est aussi placée au niveau de la base de la partie cylindrique pour renforcer les appuis et pour ne pas que le carbonisateur s'enfonce dans le sol.

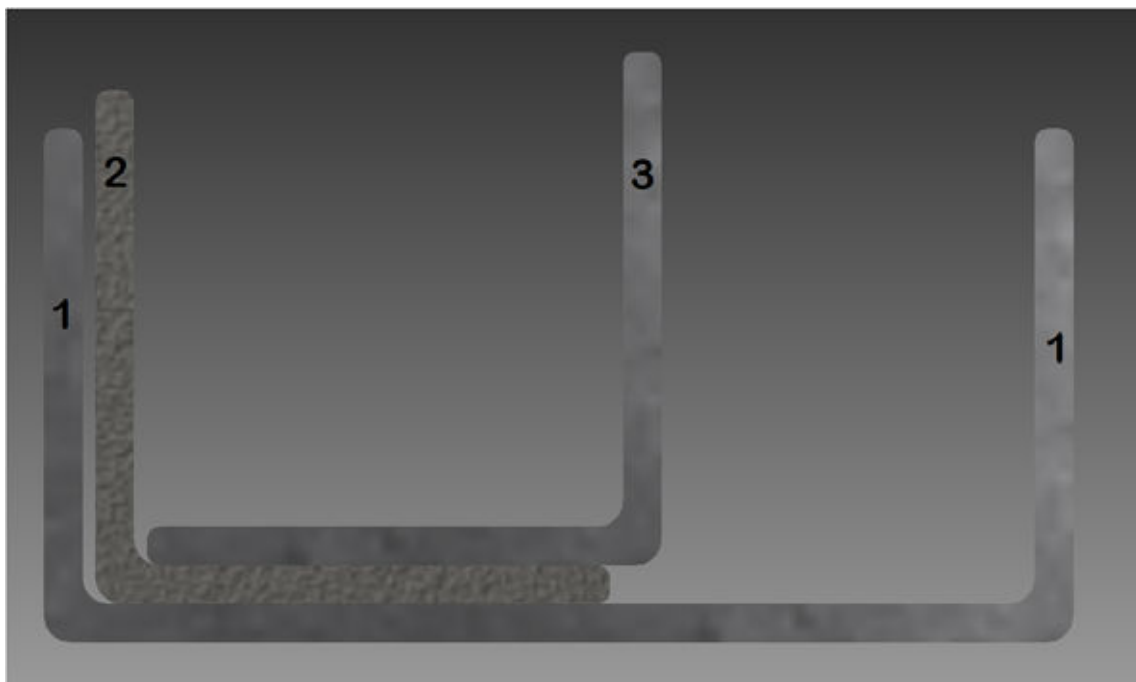
Pour le cintrage des cornières, un support de 2 mètres par 2 mètres composé de deux tôles acier permet de fixer les cornières une fois cintrée.



20. Cornières cintrées sur le support

Les cornières sont entaillées sur un côté avec une meuleuse pour pouvoir les cintrées. On réalise dans un premier temps la goulotte entre le couvercle et la partie cylindrique. Cette partie est composée de trois cornières. La première cornière est cintrée sur un diamètre extérieur d'1,80 mètre (côté entaillé vers l'intérieur) tracé sur le support. Des points de soudures sont réalisés à intervalle régulier (tous les 10 cm environ) entre le support et la cornière entaillé pour conserver le bon diamètre. On referme ensuite les entailles avec un trait de soudure. On place ensuite de la même manière une cornière à l'intérieur en miroir pour former la goulotte.

On réalise ensuite la cornière qui se fixera sur le couvercle ; cet élément servira comme appui pour le couvercle dans la goulotte. Il est donc nécessaire d'avoir un jeu pour ne pas devoir forcer lors de la fermeture du couvercle. On place donc une autre cornière cintrée sur l'extérieur de la goulotte pour réaliser le jeu. Elle sera réutilisée plus tard pour la base de la partie cylindrique du carbonisateur et elle ne devra pas encore être fermée (soudage des deux extrémités) lors de cette étape. La cornière du couvercle se place donc à l'intérieur de la goulotte par-dessus la cornière qui crée le jeu.



21. Vue en coupe des 3 éléments avec la goulotte en 1 la cornière qui crée le jeu en 2 et la cornière du couvercle en 3

On obtient donc :

- Une goulotte composée de deux cornières cintrées et soudées avec un diamètre extérieur d'1,80 mètre
- Une cornière qui a servi à créer le jeu, utilisée plus tard pour la base du carbonisateur, d'un diamètre extérieur légèrement inférieur à 1,80 mètre non fermée pour pouvoir l'ajuster au diamètre du cylindre
- Une cornière cintrée avec un diamètre extérieur inférieur à 1,80 mètre (environ 1,76 m) sur laquelle sera soudé le couvercle.



22. Goulotte (en dessous) avec la cornière gauche qui crée le jeu et la cornière droite pour le couvercle

1.5. Le couvercle

Pour réaliser le couvercle on utilise deux tôles d'un mètre par deux mètres pour obtenir une surface totale de 4 mètres carrés. On trace un cercle d'1,80 de diamètre ($r = 0,9$) au milieu du carré de 2 x 2.

On soude les deux tôles uniquement sur une moitié (jusqu'au centre du cercle) pour pouvoir former un cône à partir du carré. Une fois le cercle découpé, on forme le cône à l'aide d'un appui centrale. On se place au-dessus des cornières encore sur le support pour maintenir leur forme pour ajuster le diamètre de la base du cône qui doit correspondre à la cornière du couvercle (environ 1,70 à 1,72 m). On soude ensuite le cône (couvercle) et sa cornière.



235. Carbonisateur « 3 fûts » ouvert avec le couvercle fini et la goutlotte

On vient ensuite fixer deux poignées en tube d'acier galvanisé d'une longueur de 40 cm pour permettre une bonne emprise à deux mains par poignée pour une manipulation facile du couvercle.



246. Une des deux poignées du couvercle

1.6. Le haut du couvercle et son chapeau

Le haut du couvercle (cône) est découpé avec un diamètre grossier d'environ 26 cm. Un cylindre fabriqué à partir de tôle galvanisée d'épaisseur 3 mm, de dimension 30 cm de diamètre extérieur et 10 cm de hauteur, vient se positionner sur le haut du couvercle. Des entailles sont créées en haut du couvercle pour former des patés qui se rabattent à l'intérieur du cylindre. Le cylindre est ensuite soudé au couvercle. Le haut du cylindre doit être légèrement replié vers l'intérieur pour faciliter la pose du chapeau. Une cornière cintrée autour du cylindre est soudée à mi-hauteur (5 cm) pour créer une goulotte qui permettra de faire l'étanchéité entre le chapeau et le couvercle avec un joint de terre.



25. Vue du haut du couvercle

Le chapeau de diamètre 30 cm et de hauteur 5 cm est fabriqué à partir de tôle galvanisée. On y place une poignée d'une longueur de 40 cm en tube galvanisé pour permettre sa manipulation.



26. Le chapeau positionné sur le couvercle

1.7. Le cylindre

Le cylindre est composé de tôles galvanisées que l'on a au préalable courbé pour pouvoir ensuite les ajuster autour des cornières. Après l'ajustage des tôles, les cornières sont soudées à l'intérieur du cylindre sur les deux extrémités.



27. Tôles en acier galvanisés courbées

2. Fabrication de la presse à extrusion

2.1. Matériels nécessaires

- Un poste de soudure à l'arc
- Une meuleuse

2.2. Matières premières nécessaires

- Cornières en acier galvanisé de 6 mètres de long, 40 mm de côté et d'épaisseur 4 mm
- Poulie de diamètre 70 mm
- Poulie de diamètre 350 mm
- ½ tôle en acier galvanisé d'un mètre par deux mètres et d'épaisseur 2 mm
- ½ tôle en acier galvanisé d'un mètre par deux mètres et d'épaisseur 3 mm
- Courroies trapézoïdales
- Moteur essence 3 CV
- Disque à couper
- Disque à meuler
- Baguettes de soudure

2.3. Vue globale



28. Presse à extrusion motorisé de l'Iset de Rosso

2.4. Le moteur



29. Moteur essence de la presse

Marque : Subaru

Modèle : EX13D

Type : 4 temps monocylindre, arbre à came en tête, à essence

Cylindrée : 126 cc

Puissance : 3 CV en continue à 3600 tour par minute et 4,3 CV maxi à 4000 tour par minute

2.5. La structure



30. Structure de la presse

La structure rectangulaire est réalisée grâce à des cornières. Un logement est prévue à l'arrière pour le moteur et la transmission du mouvement par un système de poulies – courroie.

La hauteur est de 80 cm et les côtés sont de 50 cm.

2.6. La vis à extrusion



31. Partie hélicoïdale de la vis à extrusion

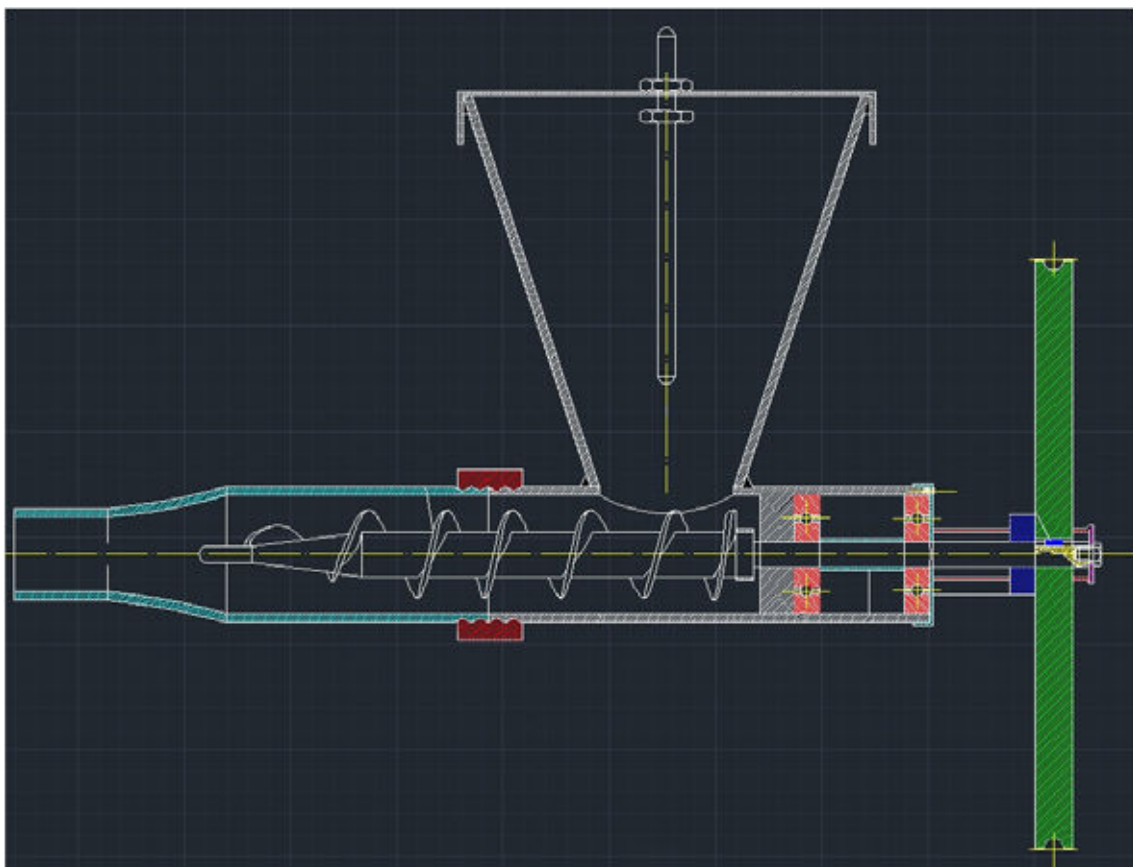
La vis à extrusion est fabriquée à l'aide d'un arbre à came de diamètre brut 30 cm et de longueur 60 cm. Les hélices sont des disques de tôles galvanisés d'épaisseur 2 mm tordu. Une partie conique est nécessaire à la fin de la vis à extrusion.



32. Partie arrière de l'arbre qui permet d'assurer le mouvement

La partie arrière de l'arbre est composé d'un espace pour accueillir les roulements et d'un autre pour accueillir la poulie avec un système de clavette.

Des entretoises sont placées entre les roulements et entre la poulie et le boîtier à roulement et une vis vient maintenir le tout après la poulie comme le montre la figure ci-dessous.



33. Vue en coupe de l'ensemble haut de la presse à extrusion

Le plan de l'ensemble met en évidence l'emplacement des roulements et de la poulie. On aperçoit aussi la trémie d'alimentation qui peut être munie d'une tige métallique pour faciliter la descente du mélange. Elle est maintenue sur une règle métallique pour ne pas qu'elle vienne percuter la vis à extrusion. Le fourreau est maintenu avec un écrou (en rouge sur le plan).



34. Vue extérieur de la partie haute de la presse à extrusion

Le tout est fixé au châssis avec deux cornières placés de part et d'autre de la trémie d'alimentation. Les cornières sont vissées directement sur le châssis.

2.7. La fixation du moteur

Le moteur est fixé sur une plaque métallique avec des silentblochs. Cette plaque métallique est maintenue avec des tiges filetées sur la structure pour pouvoir régler la tension de la courroie. Il faut veiller à l'alignement des deux poulies quand l'on positionne le moteur sur la plaque.



35. Plaque support moteur maintenue par les tiges filetés

3. Fiche de suivi technique mensuelle de l'unité

Suivi technique de l'unité

Village : Keur Macène

Mois de suivi :

COUPE			CARBONISATION			BRIQUETAGE	
Date	Nombre de coupeurs	Durée (h)	Date	Nombre de carbonisation	Quantité de Typha carbonisé (kg)	Date	Nombre de kg mis en sacs
	Surface coupée			Rendement moyen		Production mensuelle	

Moyenne

Vitesse de coupe en m ² /h	15
---------------------------------------	----

Moyenne

Masse de Typha sec par carbonisateur (kg)	90
---	----

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° 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° 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.



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

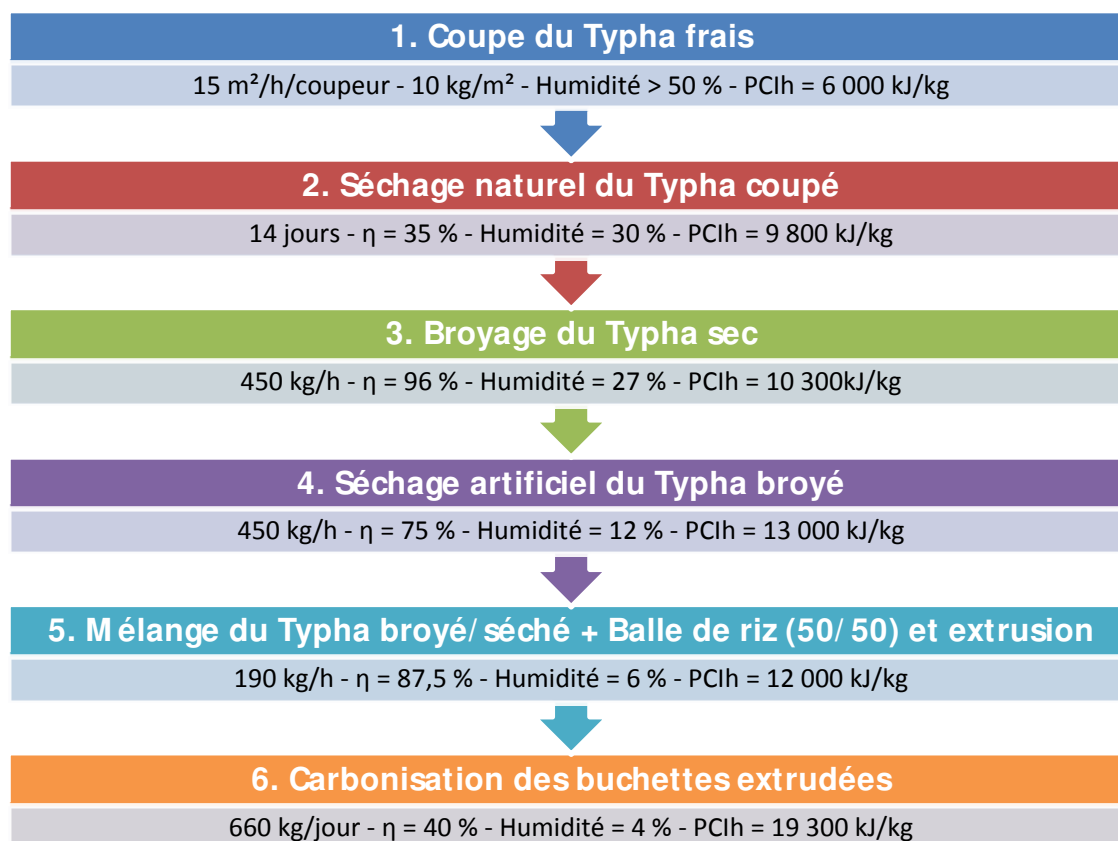
L'unité semi-industrielle de production de charbon de Typha a été installée à l'Institut Supérieur d'Enseignement Technologiques de Rosso dans le cadre du projet TYPHA afin de tester, modifier et optimiser des équipements non prévus spécifiquement pour le compactage du Typha. Après plusieurs mois de 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

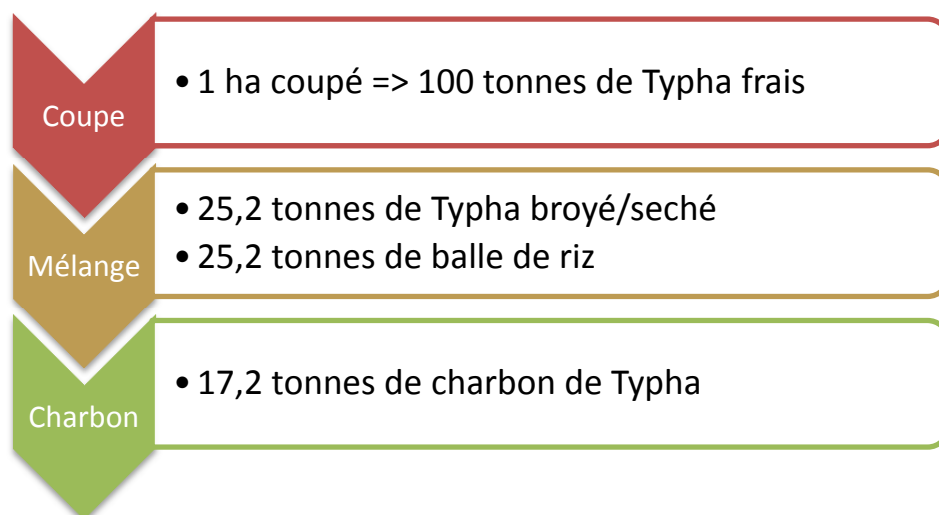
Le schéma ci-dessous synthétise les différentes étapes du processus de fabrication industriel du charbon de Typha avec les valeurs clés associées. Le rendement (η) est le rapport de la masse de matière récupérée à la fin d'une étape sur la masse de matière que l'on a introduite au début de l'étape. Ce 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 (bchettes) 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

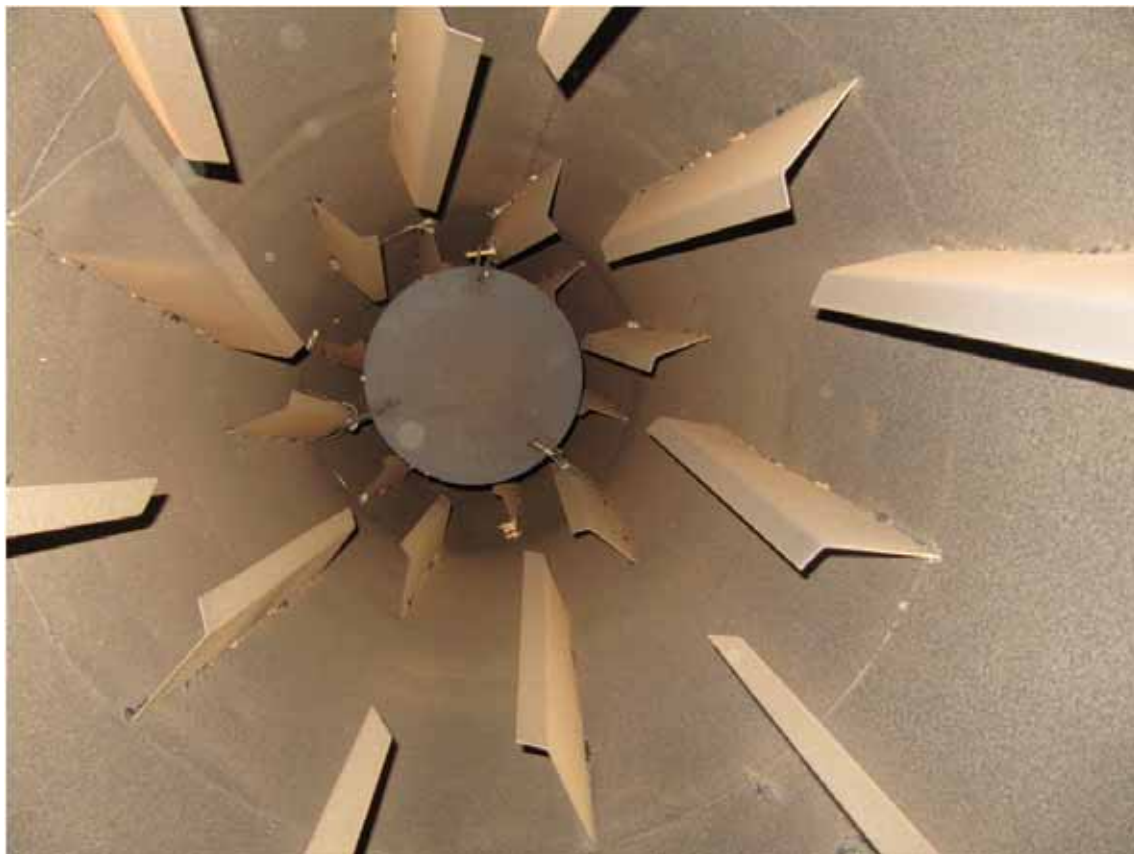
Le séchoir rotatif est muni d'un foyer de combustion en amont du processus pour chauffer le flux d'air qui traversera la matière à sécher. Le foyer est alimenté par des buchettes dites « non carbonisables » car elles sont trop courtes. Ce sont donc les pertes de l'extrusion qui sont utilisées pour chauffer 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 manipulé 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 est 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 entraine 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 :		Responsable :		Participants :	
Mois :					

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

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.



CAHIER TECHNIQUE N° 3

Mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides

Protocoles de mesures développés 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

Mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides

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 protocoles utilisés dans le cadre du projet Typha pour mesurer les caractéristiques physico-chimiques de combustibles domestiques solides. L'objectif de ces protocoles est de pouvoir mener des mesures avec une rigueur scientifique suffisante afin de comparer des combustibles existants, comme le charbon de bois, avec les charbons produits dans le cadre du projet Typha

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'Apas.
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'Apas.

Référence bibliographique pour citation : Babana Ould Mohamed Lemine, Benjamin Trouilleux, Kevin Doussan, *Guide de mesure des caractéristiques physico-chimiques des combustibles domestiques solides*, Paris, Gret et Iset de Rosso, avril 2016, 25 p.

Crédits photos : © Gret

Sommaire

I. Avant propos.....	4
II. Pouvoir calorifique	5
III. Humidité.....	9
IV. Solidité	11
V. Masse volumique.....	12
VI. Masse volumique apparente	13
VII. Facilité d'allumage.....	14
VIII. Taux de cendres.....	15
IX. Test d'ébullition de l'eau (TEE).....	17
X. Test de cuisine comparée (TCC).....	21
XI. Bibliographie.....	25

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 protocoles de mesures en laboratoire ont été définis afin d'aider au développement d'un combustible domestique alternatif de qualité.

La connaissance des caractéristiques des combustibles domestiques solides relève de trois nécessités :

1. S'assurer du respect du cahier des charges lors de leur production ;
2. S'assurer de la mise sur le marché de produits répondants aux usages et habitudes des utilisatrices ;
3. Aider au positionnement du combustible sur le marché en fonction de ses forces et faiblesses.

Les caractéristiques des combustibles concernées par les protocoles sont :

- le pouvoir calorifique
- l'humidité
- la solidité
- la masse volumique
- La masse volumique apparente
- la facilité d'allumage
- le taux de cendres
- le temps d'ébullition de l'eau et l'efficacité énergétique
- la capacité à cuisiner le plat national dans de bonnes conditions
- la composition des fumées

Il est recommandé de réaliser au moins trois fois la même mesure sur un même combustible avec des échantillons prélevés à différents endroits d'un même lot pour avoir une valeur moyenne significative. L'écart-type (S) donnée par la formule suivante permet de mettre en évidence la dispersion des valeurs mesurées avec la moyenne. Il est préférable d'accompagner une valeur moyenne de son écart-type.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n}}$$

Avec :

S : L'écart-type

x : La valeur mesurée

\bar{x} : La valeur moyenne

n : Le nombre de valeur

Formule associé sur Excel : ECARTYPEP

II. POUVOIR CALORIFIQUE

1. Définitions

Le pouvoir calorifique représente la quantité d'énergie contenue dans une unité de masse de combustible. On distingue le PCS (Pouvoir Calorifique Supérieur), le PCI_s (Pouvoir Calorifique Inférieur sec) et le PCI_h (Pouvoir Calorifique Inférieur humide). L'unité utilisée est le kilojoule par kilogramme (kJ/kg).

1.1. Pouvoir calorifique supérieur :

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible avec récupération par condensation de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau produite lors de la combustion. C'est le cas par exemple pour les chaudières à condensation. Si cette énergie n'est pas récupérée, il faut s'intéresser au pouvoir calorifique inférieur.

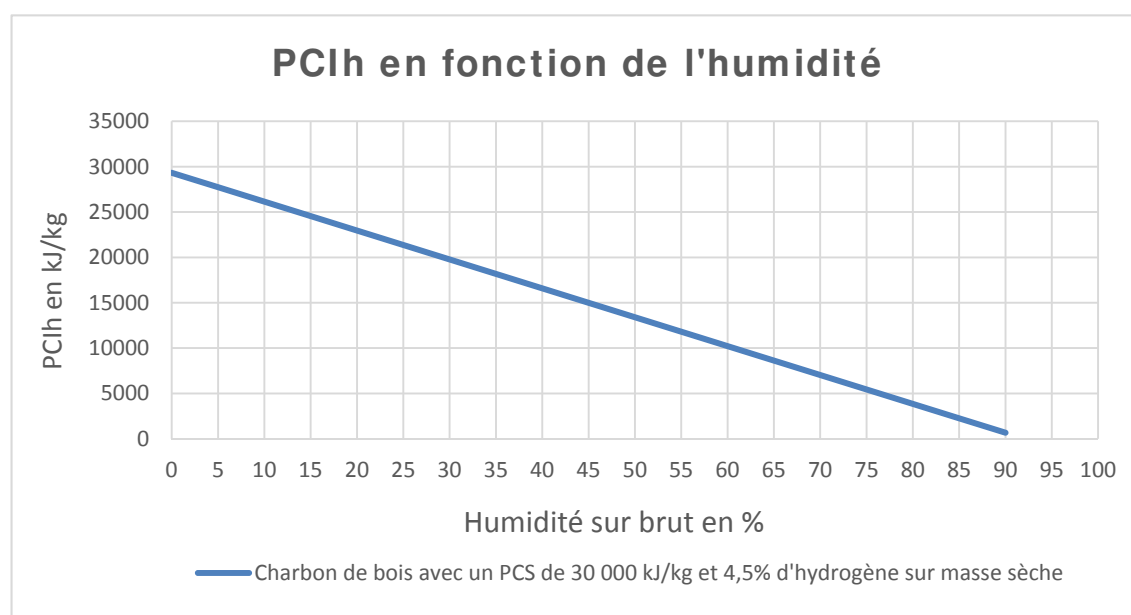
1.2. Pouvoir calorifique inférieur sec :

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur d'eau issue de la combustion.

1.3. Pouvoir calorifique inférieur humide :

Quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de masse de combustible sans récupération de l'énergie contenue dans la vapeur et en prenant en compte l'énergie perdue du à la présence d'eau dans le combustible.

Le PCI_h est donc directement lié à l'humidité du combustible (voir figure 1) et représente la quantité d'énergie réelle pouvant être dégagée. On peut ainsi comparer différents combustibles s'ils ont les mêmes conditions de stockage et une humidité stable.



1. Influence de l'humidité sur le pouvoir calorifique

2. Principe

On réalise une combustion parfaite dans une bombe calorimétrique en acier très conductrice de la chaleur. La combustion est dite parfaite car on y introduit un comburant en excès, le dioxygène (O_2), sous forte pression. Cette bombe calorimétrique, munie d'un système de mise à feu, est placée dans un récipient adiabatique (pas d'échange thermique avec l'extérieur) rempli préalablement d'une quantité d'eau connue et équipé d'un agitateur. L'étalonnage de la bombe calorimétrique à l'aide d'un combustible (acide benzoïque) dont on connaît le PCS nous permet de connaître la capacité du système calorimétrique (eau et accessoires) à emmagasiner de l'énergie thermique. Par comparaison, on peut calculer le PCS d'un échantillon inconnu.

Le pouvoir calorifique inférieur sec est calculé ensuite à partir du taux massique d'hydrogène du combustible et le pouvoir calorifique inférieur humide est calculé à partir du taux d'humidité sur brut du combustible.

3. Appareillage



2. La bombe calorimétrique et ses accessoires

3.1. Balance

- Une balance de précision 0,0001 gramme.

3.2. Calorimètre adiabatique

- Vase en métal destinée à recevoir la bombe et muni d'un couvercle. Sa section doit être telle que la bombe soit juste immergée avec 2 litres d'eau environ.
- Jaquette : récipient métallique calorifugé, et comportant une double paroi remplie d'eau.
- Agitateur permettant le brassage de l'eau.

3.3. Bombe calorimétrique

Surface interne inattaquable par les produits de combustion. Elle est destinée à recevoir la coupelle et le dispositif de mise à feu électrique. Elle doit être résistante à une pression de 210 bars. Ces conditions définissent une bombe permettant de brûler environ 1g de combustible.

3.4. Thermomètre

Thermomètre gradué muni d'un dispositif permettant les lectures à 0,002°C près.

3.5. Creuset

Creuset sous forme de petite coupelle à fond plat, en platine ou en silice ou en matériau similaire résistant à de fortes températures.

3.6. Fil d'allumage

Fil en platine ou en nickel-chrome de 0,1 mm de diamètre et dont on connaît le pouvoir calorifique exprimé en J/cm ou en J/g. Si son pouvoir calorifique est exprimé avec des calories, utiliser la valeur suivante pour le convertir dans l'unité souhaitée : 1 calorie = 4,1868 joules.

4. Échantillonnage

L'échantillon de combustible doit peser environ 1g. L'échantillon doit être représentatif du combustible étudié, il est donc nécessaire de s'assurer que celui-ci ne contient aucune caractéristique inhabituelle. Le pastillage à l'aide d'une presse manuelle après broyage est impératif pour une biomasse. Dans le cadre de l'étude d'un charbon, le pastillage ne peut être envisagé car le combustible est trop friable. Il faut donc prélever des morceaux d'environ 1g de combustible comme échantillon.

Prévoir un échantillon pour mesurer l'humidité du combustible.

DANGER: il y a risque d'explosion si l'échantillon s'avère être trop friable, la poudre peut se répandre dans la bombe calorimétrique lors de l'injection du dioxygène. La combustion peut avoir lieu dans tout le volume de la bombe calorimétrique et la montée en pression peut s'avérer suffisamment importante pour que le couvercle cède.

Il est donc impératif de ne jamais se positionner au dessus de la bombe calorimétrique lors du déroulement d'une expérience.

5. Mode opératoire

5.1. Détermination de l'humidité du combustible

- Déterminer l'humidité sur brut du combustible comme indiqué dans la partie 3

5.2. Mode opératoire

- Introduire, dans le vase calorimétrique, 2L d'eau. Cette quantité, vérifiée par pesée, doit être la même à 1g près que celle de référence utilisée au cours de l'étalonnage pour la détermination de la capacité calorifique du système. Positionner le vase calorimétrique dans la jaquette.
- Placer l'échantillon dans la coupelle préalablement positionnée sur son support du couvercle de la bombe calorimétrique. Relier les deux bornes internes de la bombe avec le fil

d'allumage de longueur et de pouvoir calorifique connus. Le fil doit avoir le meilleur contact possible avec le combustible, mais sans toucher la paroi de la coupelle.

- Fermer la bombe calorimétrique en prenant soin de ne pas faire de geste brusque afin que l'échantillon ne tombe pas de la coupelle. La bombe peut ensuite être chargée soigneusement de dioxygène jusqu'à une pression de 25 à 30 bars. Il suffit de fermer (visser) la vanne de vidange de la bombe calorimétrique, brancher la bombonne de dioxygène sur la bombe calorimétrique, ouvrir la vanne de la bombonne jusqu'à atteindre une pression comprise entre 25 et 30 bars dans la bombe calorimétrique.
- Placer la bombe calorimétrique dans le vase calorimétrique.
- Ajuster le thermomètre, établir les connexions et mettre l'agitateur en marche. La température de l'eau du calorimètre à jaquette adiabatique doit être stable.
- Noter la température initiale et fermer le circuit électrique pour provoquer l'ignition.
- Observer la température de l'eau du vase toutes les minutes jusqu'à trois lectures successives identique. Noter cette température comme la température finale.
- Retirer la bombe de l'intérieur du vase calorimètre et ouvrir lentement la vanne de vidange pour ramener la pression intérieure à la pression atmosphérique. Ouvrir la bombe et observer si le combustible a été complètement brûlé.
- Retirer le reste du fil et mesurer la longueur (ou la masse) de fil restant.

6. Etalonnage

L'étalonnage se fait sur le même mode opératoire qu'évoquer précédemment. Le combustible utilisé est par convention l'acide benzoïque. La quantité d'eau est de 2L et deviendra la référence pour les prochaines expériences.

La capacité thermique du système calorimétrique est calculée avec la formule suivante :

$$C = \frac{m_b \times PC_b + PC_f \times (L_i - L_f)}{(T_f - T_i)} \quad (\text{J/K})$$

Dans laquelle :

T_i : température initiale de l'eau en degrés Celsius

T_f : température final de l'eau en degrés Celsius

PC_f : pouvoir calorifique du fil d'allumage en J/cm

L_f : longueur de fil d'allumage restant en cm

L_i : longueur de fil d'allumage initial en cm

m_b : masse de l'échantillon d'acide benzoïque en gramme

PC_b : pouvoir calorifique de l'acide benzoïque en J/g

7. Expression des résultats

Le pouvoir calorifique supérieur est déterminé par la formule suivante :

$$PCS = \frac{C \times (T_f - T_i) - PC_f \times (L_i - L_f)}{m_h} \quad (\text{kJ/kg})$$

Dans laquelle :

C : capacité thermique du système calorimétrique en J/K

- T_i : température initiale en degrés Celsius
 T_f : température final en degrés Celsius
 PC_f : Pouvoir calorifique du fil d'allumage en J/cm
 L_f : Longueur de fil d'allumage restant en cm
 L_i : Longueur de fil d'allumage initial en cm
 m_h : masse de l'échantillon de combustible en gramme

Remarque : La consommation du fil d'allumage peut être évaluée par une mesure en centimètre ou par une pesée en gramme (précision 0.0001g dans le cas d'une pesée), on aura alors le PC_f en J/g et $(m_i - m_f)$ en gramme.

Le pouvoir calorifique inférieur sec se calcule selon la formule suivante :

$$PCI_s = PCS - 25,11 \times 9 \times H\% \text{ (kJ/kg)}$$

Avec $H\%$ la teneur massique d'hydrogène en pourcentage du combustible sur masse sèche.

On obtient le pouvoir calorifique inférieur humide avec la formule suivante :

$$PCI_h = \left(\frac{100 - H_b\%}{100} \right) \times PCI_s - 25,11 \times H_b\% \text{ (kJ/kg)}$$

Avec $H_b\%$, l'humidité sur brut du combustible exprimé en pourcentage.

III. HUMIDITE

1. Définition

Le taux d'humidité représente la teneur en eau de l'échantillon.

Il existe deux types d'humidité :

- L'humidité sur brut qui est le rapport entre la masse d'eau contenue dans l'échantillon et la masse totale de l'échantillon à son humidité initiale. L'humidité sur brut est alors comprise entre 0 et 100%
- L'humidité sur sec qui est le rapport entre la masse d'eau contenue dans l'échantillon et la masse sèche de l'échantillon. L'humidité sur sec peut donc aller au-delà de 100%.

Dans le domaine de l'énergie, on utilise principalement l'humidité sur brut.

2. Principe

Un échantillon humide de masse connue est séché à l'étuve afin de retirer toute l'eau qu'il contient. Après stabilisation à l'état anhydre de l'échantillon, l'humidité initiale est calculée en mesurant la différence de masse.

3. Appareillage

- Balance précise à 0,0001g
- Étuve ventilée permettant de maintenir la température à $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

- Plateau résistant à des températures de l'ordre de 105°C



3. Étuve ventilé et balance utilisée à l'Iset pour mesurer l'humidité

4. Échantillonnage

L'échantillon doit contenir entre 50 et 100 g de combustible.

5. Mode opératoire

- Régler l'étuve à 105°C
- Peser le plateau vide, propre et sec
- Placer l'échantillon sur le plateau et peser l'ensemble
- Laisser l'échantillon au moins 10 heures dans l'étuve. L'échantillon doit avoir atteint une masse constante pour être considéré comme anhydre. La masse de l'échantillon est considérée comme constante lorsque la perte de masse entre deux pesées successives effectuées à 1 heure d'intervalle est inférieure ou égale à 0,5g.

6. Expression des résultats

L'humidité sur brut en pourcentage est calculée selon cette formule :

$$H_b(\%) = \frac{m_{eau}}{m_{humide}} \times 100 = \frac{m_h - m_0}{m_h - m_p} \times 100$$

Dans laquelle :

m_{eau} : masse d'eau présente dans l'échantillon

m_{humide} : masse de l'échantillon à l'état humide

m_p : masse en gramme du plateau vide

m_h : masse en gramme du plateau et de l'échantillon avant séchage

m_0 : masse en gramme du plateau et de l'échantillon après séchage

L'humidité sur sec en pourcentage est calculée avec la formule suivante :

$$H_s(\%) = \frac{m_{eau}}{m_{anhydre}} \times 100 = \frac{m_h - m_0}{m_0} \times 100$$

m_{eau} : masse d'eau présente dans l'échantillon

$m_{anhydre}$: masse de l'échantillon à l'état anhydre

IV. SOLIDITE

1. Définition

Dans le cadre d'une utilisation domestique, un combustible doit avoir une certaine solidité pour son transport et son utilisation. Un combustible qui n'est pas assez solide peut s'avérer problématique si un récipient est directement posé sur celui-ci ou si le combustible s'effrite facilement durant le transport.

2. Principe

Le dispositif conçu à l'Iset permet de laisser tomber, à des hauteurs différentes, une bille en acier sur un combustible solide. L'opérateur relève la hauteur nécessaire à la rupture du combustible.

Si l'on connaît la hauteur et la masse de la bille d'acier on peut calculer l'énergie nécessaire à la rupture du solide. On peut ainsi comparer la solidité des charbons à base de Typha produits dans le cadre du projet avec celle du charbon de bois.



4. Dispositif de test de la solidité

Au premier plan, la pince qui retient la bille d'acier

Au second plan, un échantillon de charbon de Typha positionnée au point d'impact sur le sol

3. Appareillage

- Un support gradué au mm près
- Une pince qui peut se visser sur le support gradué
- Une bille d'acier

4. Mode opératoire

Il faut dans un premier temps repérer l'emplacement du pied de la règle gradué, s'assurer que le système est bien maintenu en position pour pouvoir repérer la zone de chute de la bille. Celle-ci étant repérée, on peut y placer le solide.

Par tâtonnement et en multipliant les expériences on relève la hauteur minimum moyenne de rupture de l'échantillon en utilisant un nouvel échantillon après chaque chute.

5. Expression des résultats

La solidité est évaluée selon l'énergie nécessaire pour atteindre la rupture de l'échantillon avec la formule suivante :

$$E = h \times m \times g$$

E : Énergie (J)

h : hauteur de chute de la bille (m)

m : masse de la bille (kg)

g : constante gravitationnelle (9,8 m/sec²)

V. MASSE VOLUMIQUE

1. Définition

La masse volumique caractérise un matériau par la quantité de matière (masse) présente dans une unité de volume.

2. Principe

La masse volumique d'un combustible peut être calculée avec le rapport entre sa masse et son volume. Cette caractéristique est toujours indiquée en fonction de l'humidité.

3. Appareillage

- Balance précise à 0,1 mg
- Eprouvette graduée



5. Eprouvette gradué pour la mesure de la densité

4. Echantillonnage

Prélever un échantillon de forme adapté à la taille de l'éprouvette. Un échantillon de référence doit être prélevé pour mesurer le taux d'humidité. L'humidité sur brut du combustible doit être inférieure à 8%.

5. Mode opératoire

- Mesurer l'humidité sur brut de l'échantillon de référence en se référant au protocole partie 3
- Mesurer la masse de l'échantillon avec une balance précise à 0.1 mg
- Mesurer le volume de l'échantillon en le plongeant dans l'éprouvette graduée contenant de l'eau. Le volume de l'eau déplacé par l'immersion de l'échantillon, dès la première seconde (avant que l'eau soit absorbée par l'échantillon), correspond au volume de l'échantillon (avec 1ml = 1cm³).

6. Expression des résultats

La masse volumique en kg/m^3 est donnée par la formule :

$$\rho = \frac{m_h}{V} \times 1000 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Avec :

m_h : masse de l'échantillon à l'état humide en gramme

V : volume de l'échantillon en cm^3

VI. MASSE VOLUMIQUE APPARENTE

1. Définition

La masse volumique apparente permet de rendre compte de la porosité et de la granulométrie du matériau. On peut ainsi exprimer la quantité de matière contenue dans un volume donné.

2. Principe

La mesure consiste à connaître la masse de combustible pouvant être transporté dans un carton de volume connu ou dans un sac type d'une contenance de 50 kg de riz par exemple.

3. Appareillage

- Une balance avec une capacité minimale de 30 kg et une précision d'au moins 10 grammes

4. Echantillonnage

- 30 kg de combustibles
- 1 sac type de contenance 50 kg de riz
- ou un carton de dimensions minimale l=20cm L=10cm h=15cm

5. Mode opératoire

- Mesurer l'humidité sur brut du combustible
- Peser l'emballage vide (m_V)
- Mesurer les dimensions du sac ou du carton pour calculer son volume V en m^3
- Introduire le maximum de combustible sans entraver à la fermeture de l'emballage
- Pour l'emballage carton, faire différents essais, en vrac et en rang
- Fermer l'emballage
- Peser l'ensemble (m_T)

6. Expression des résultats

L'humidité sur brut de l'échantillon doit être comprise entre 2 et 8 %.

La masse volumique apparente exprimée en kg/m^3 est calculée selon la formule suivante et s'exprime sous forme de plage allant du minimum au maximum:

$$\rho_{app} = \frac{\text{Masse}_{\text{combustible}}}{\text{Volume}_{\text{contenant}}} = \frac{m_T - m_V}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Les dimensions d'un sac de riz de contenance 50 kg de riz sont estimées à $0,2 \times 0,5 \times 0,7$ mètres soit 0.07 m^3 .

VII. FACILITE D'ALLUMAGE

1. Définition

La facilité d'allumage permet de mettre en évidence, à titre comparatif, la durée nécessaire pour allumer un combustible.

2. Principe

Un dispositif a été conçu à l'Iset pour maintenir un échantillon de combustible sous une flamme semblable à celle d'un briquet traditionnel. Le temps nécessaire pour que l'échantillon démarre sa combustion est mesuré en seconde. L'allumage est d'autant plus facile que le temps mesuré est faible.

3. Échantillonnage

Prélever un échantillon adapté au support disponible.

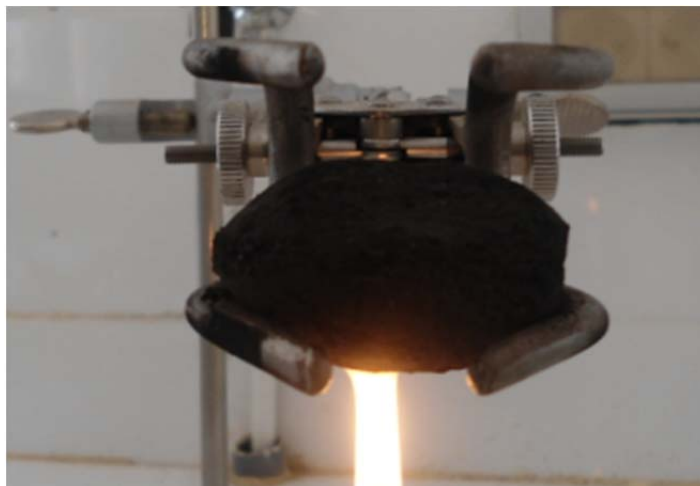
Un échantillon de référence est nécessaire pour mesurer le taux d'humidité. L'humidité sur brut du combustible doit être inférieure à 8%.

4. Appareillage

- Dispositif permettant le maintien du combustible
- Bougie et son support (s'assurer d'avoir assez de bougie identique pour avoir des résultats comparatifs)

5. Mode opératoire

- Mesurer l'humidité sur brut de l'échantillon de référence en se référant au protocole partie 3 ;
- Placer l'échantillon dans son support et choisir la partie la plus apte à s'allumer facilement ;
- Allumer la bougie sous le combustible en s'assurant que la flamme effleure le combustible à l'endroit souhaité et mettre le chronomètre en marche ;
- Arrêter le chronomètre dès qu'une partie de l'échantillon rentre en combustion (devient rouge) et noter le temps en seconde.



6. Dispositif de test de facilité d'allumage

6. Expression des résultats

La facilité d'allumage est évaluée par le temps nécessaire en seconde pour parvenir à allumer une partie du combustible.

VIII.TAUX DE CENDRES

1. Définition

Les cendres sont les résidus solides issus de la combustion de matières organiques et minérales. Dans le contexte d'une utilisation domestique de combustibles solides, les cendres peuvent être une préoccupation importante des utilisatrices qui doivent secouer plus ou moins le foyer en fonction de leur quantité.

2. Principe

L'échantillon est incinéré jusqu'à atteindre une masse constante à une température de $850 \pm 10^\circ\text{C}$ dans un four à moufle. Le taux de cendres est le rapport entre la masse du résidu après incinération et la masse de l'échantillon anhydre.

3. Appareillage

- Un four à moufle permettant d'aller à des températures supérieures à 1000°C
- Une étuve ventilée permettant de maintenir la température à $105 \pm 5^\circ\text{C}$
- Une balance précise à 0,1 mg
- Un creuset en silice, porcelaine ou platine capable de résister à de très hautes températures



7. Four à moufle avec ses creusets à l'Iset

4. Echantillonnage

L'échantillon est d'abord broyé et doit être compris entre 1 et 2 grammes.

5. Mode opératoire

- Placer l'échantillon dans une étuve à 105°C jusqu'à atteindre une masse constante
- Laver le creuset et le placer à l'étuve à 105°C. Une fois une masse constante atteinte, mesurer la masse du creuset qu'on notera M_C
- Placer l'échantillon dans le creuset, on notera M_T la masse total anhydre de l'échantillon et du creuset avant incinération
- Placer le creuset contenant l'échantillon dans le four à moufle. Le préchauffage n'est pas nécessaire, allumer et régler la température à 850°C une fois les échantillons placés à l'intérieur.
- Laisser plusieurs heures jusqu'à l'obtention de cendres sans présence de points noirs (imbrûlés) et stabilisation de la masse de l'échantillon
- Laisser refroidir puis mesurer la masse finale du creuset contenant les cendres, noté M_F . Attention à la reprise d'humidité, les échantillons doivent rester à l'état anhydre, les placers dans l'étuve à 105°C si nécessaire.

6. Expression des résultats

Le taux de cendres du combustible que l'on notera $C(\%)$ en pourcentage en masse est donné par la formule :

$$C(\%) = \frac{M_{cendres}}{M_{anhydre}} = \frac{M_F - M_C}{M_T - M_C} \times 100$$

Avec :

$M_{cendres}$: masse de cendres dans l'échantillon

$M_{anhydre}$: masse de l'échantillon à l'état anhydre

M_C : masse du creuset en gramme

M_T : masse totale du creuset et de l'échantillon avant incinération en gramme

M_F : masse finale du creuset et des cendres après incinération en gramme

IX. TEST D'EBULLITION DE L'EAU (TEE)

1. Définition

Le test d'ébullition de l'eau permet de comparer les caractéristiques de différents combustibles ou de différents foyers. Déjà très employé pour comparer les performances de foyers améliorés, le protocole suivant sera plus adapté pour comparer différents combustibles sur un même type de foyer.

2. Principe

Une fournée de combustibles chauffent une marmite contenant une quantité d'eau initiale fixe. Deux phases seront étudiées, une phase de montée en température où l'on s'intéressera au temps nécessaire pour atteindre l'ébullition ainsi que la masse de combustible consommé puis, une phase de maintien à l'ébullition que l'on appellera « mijotage » ou l'on s'intéressera à la masse de charbon consommée sur une durée de 60 minutes. On mesurera aussi la masse d'eau évaporée durant le test d'ébullition d'eau pour connaître l'efficacité énergétique du système en calculant le rapport entre l'énergie reçue par l'eau et l'énergie dégagée par le combustible.

3. Exigences

Les tests d'ébullition d'eau doivent se faire en laboratoire avec un extracteur de fumée performant. Toutefois si cela n'est pas possible, le lieu choisi doit respecter les conditions suivantes :

- Être à l'abri du vent sans négliger l'extraction des fumées
- Être à l'abri du soleil afin de minimiser les apports d'énergie thermique naturelle
- Avoir un espace de travail réservé pour éviter les passages de gens qui pourraient créer des courants d'air ou gêner les opérateurs

4. Appareillage



8. Test d'ébullition de l'eau avec un foyer malgache et du charbon de Typha

Équipements de mesure

- Un chronomètre
- Une balance avec une capacité d'au moins 6 kg avec une précision de ± 1 gramme
- Un thermomètre numérique avec une sonde thermocouple adaptée à l'immersion dans les liquides

Ustensiles et combustibles

- Foyer et marmite du même type que celui qui est utilisé localement pour faire la cuisine
- Un dispositif pour maintenir immerger le thermocouple dans l'eau. La sonde devra se trouver en partie centrale de la marmite avec une distance de 5 cm entre le fond de la marmite et la sonde
- Les conditions de stockages doivent être les mêmes pour les différents combustibles testés pour éviter l'effet de l'humidité sur les résultats. Il est recommandé de les stockés dans un endroit à l'abri de l'humidité

Le starter

- Pour démarrer le feu de manière reproductible, utiliser par exemple de la biomasse imprégnée d'alcool à brûler, toujours dans les mêmes quantités.

L'eau à bouillir

- La quantité d'eau doit correspondre aux pratiques locales

5. Echantillonnage

Dans notre contexte, nous utiliserons un foyer de type malgache avec une quantité de combustible fixée 1 kg et une quantité d'eau fixée à 3 litres.

6. Mode opératoire

Conditions initiales

- Réaliser une mesure d'humidité du combustible pour déterminer son PCI_h à partir du PCS préalablement mesuré à l'aide de la bombe calorimétrique (voir parties 2 et 3)
- Noter les conditions météorologiques : température ambiante, intensité du vent (fort, moyen, faible), l'humidité relative de l'air (relevée avec un hygromètre)
- Peser la marmite vide avec le couvercle (M_0)
- Remplir la marmite avec 3 litres d'eau et refermer le tout
- Peser la marmite pleine avec le couvercle (M_1)
- Nettoyer le foyer, puis le peser (F_0)

Phase 1: Montée en température

- Placer 1kg de combustible dans le foyer et peser le foyer avec le combustible (F_1)
- Démarrer la combustion jusqu'à obtenir un départ de combustion homogène
- Peser le foyer avec le combustible après allumage
- Noter la température de l'eau dans la marmite (T_0)
- Poser la marmite pleine avec le couvercle et son thermocouple
- Démarrer le chronomètre. Veiller à ne jamais déplacer brusquement la marmite ou le foyer
- Une fois l'état de l'ébullition atteint, relever la température de l'eau T_e et le temps t_e
- Peser la marmite et son couvercle (M_2)
- Peser le foyer avec le combustible restant sans la marmite (F_2)

Phase 2 : Mijotage

- Reposer la marmite sur le foyer et fermer le volet s'il existe pendant 60 minutes
- Laisser mijoter pendant 60 minutes, veiller à ce que la température de l'eau ne descende pas en dessous de 97°C , si cela arrive le test n'est plus valable
- 60 minutes après le début de l'ébullition, peser la marmite et son couvercle (M_3)
- Peser le foyer avec le combustible restant sans la marmite (F_3)

7. Expression des résultats

7.1. Notations

t_e : Temps d'ébullition, temps nécessaire pour parvenir à l'ébullition du contenu initial de la marmite à sa température initiale (min)

t_{es} : Temps d'ébullition spécifique, temps nécessaire pour parvenir à l'ébullition du contenu initial de la marmite entre la température de référence (30°C) et la température d'ébullition (min)

T_{ref} : Température de référence pour calculer le temps d'ébullition spécifique

dT/dt : Gradient de montée en température durant la phase de montée en température (K/min)

M_{ch} : Masse de charbon consommée (kg)

L_{vap} : Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau à 100°C ($L_{vap} = 2257 \text{ kJ/kg}$)

$C_{p,eau}$: Capacité thermique massique de l'eau à pression constante ($C_{p,eau} = 4,185 \text{ kJ/kg.K}$)

PCI_h : Pouvoir calorifique inférieur humide du combustible (kJ/kg)

η : Efficacité énergétique du système. Correspond au rapport entre la quantité d'énergie reçu par l'eau contenue dans la marmite et la quantité d'énergie dégagé par la consommation du combustible. Ce rapport s'exprime en pourcentage.

7.2. Première phase : montée en température

Masse d'eau initiale présente dans la marmite en kg:

$$M_{ei} = M_1 - M_0$$

Masse d'eau évaporée durant la première phase en kg:

$$M_{ev1} = M_1 - M_2$$

Masse de charbon consommée en kg:

$$M_{ch1} = F_1 - F_2$$

Gradient de montée en température pour atteindre t_{eb1} (K/min) :

$$\frac{dT}{dt} = \frac{T_e - T_0}{t_e - t_0}$$

Temps d'ébullition spécifique en minutes :

$$t_{es} = \frac{T_e - T_{ref}}{dT/dt}$$

Efficacité énergétique du système lors de la première phase en pourcentage :

$$\eta_1 = \frac{M_{ei} \times C_{p,eau} \times (T_e - T_0) + M_{ev1} \times L_{vap}}{M_{ch1} \times PCI_h} \times 100$$

7.3. Deuxième phase : mijotage

Masse d'eau évaporée en kg:

$$M_{ev2} = M_2 - M_3$$

Masse de charbon consommée en g :

$$M_{ch2} = F_2 - F_3$$

Efficacité énergétique du système pendant la deuxième phase en pourcentage :

$$\eta_2 = \frac{M_{ev2} \times L_{vap}}{M_{ch2} \times PCI_h} \times 100$$

7.4. Sur l'ensemble du TEE

Masse d'eau totale évaporée en kg:

$$M_{evT} = M_3 - M_1$$

Masse de charbon consommée en g :

$$M_{chT} = F_1 - F_3$$

Efficacité énergétique du système en pourcentage :

$$\eta_T = \frac{M_{ei} \times C_{p,eau} \times (T_e - T_0) + L_{vap} \times M_{evT}}{M_{chT} \times PCI_h} \times 100$$

8. Limites d'interprétation du TEE

L'interprétation des résultats doit tenir compte de la difficulté de contrôler certains paramètres de manière précise, comme par exemple la qualité de l'allumage, l'homogénéité du combustible utilisé, le positionnement de la marmite par rapport au combustible et la similitude des foyers. Il est donc important de noter toutes observations sur le déroulement du TEE et de réaliser au moins trois mesures par combustible.

X. TEST DE CUISINE COMPAREE (TCC)

1. Définition

Le test de cuisine comparée permet d'observer en condition réelle, le comportement de la cuisson d'un repas traditionnel en fonction de différents combustibles avec le même dispositif de cuisson (foyer et marmite) et les mêmes paramètres (quantités de combustibles, d'aliments, d'eau, opérateur unique, etc.).

2. Principe

Cuisiner un repas traditionnel local (thiéboudienne - riz au poisson dans notre cas) avec des combustibles différents mais dans les mêmes conditions pour comparer : le temps de cuisson, la quantité de charbon consommée, l'utilisation du combustible par l'opérateur et la qualité de la cuisson.

3. Exigences

Le test de cuisine comparée veut se rapprocher au maximum des conditions réelles de cuisine, il est donc préférable de le faire à l'extérieur dans un endroit où les femmes ont l'habitude de cuisiner. Il est nécessaire de disposer de plusieurs foyers identiques et d'avoir un unique opérateur au cours du test pour exploiter les résultats de manière comparative.

Il est conseillé d'avoir un espace de travail réservé pour éviter les passages de gens qui pourraient gêner l'opérateur.

Les conditions météorologiques étant différents à chaque série, il est conseillé d'exploiter différentes séries dans différentes conditions afin de connaître le comportement du combustible et de l'opérateur selon des conditions météorologiques différentes.

4. Appareillage



9. Foyers malgaches avec marmites et thermocouples lors d'un test de cuisine comparée

- Des foyers du même type que ceux utilisés localement pour faire la cuisine
- Une montre
- Une balance avec une capacité d'au moins 20 kg avec une précision de ± 10 grammes
- Une éprouvette graduée d'au moins 50 cl
- Un thermomètre numérique avec une sonde thermocouple adaptée à l'immersion dans les liquides

5. Echantillonnage

- 1 kg de combustible par foyer + 1 kg de combustible en réserve par foyer si la cuisson nécessite plus de combustible.

6. Mode opératoire

Les préparations culinaires nécessaires pour les différents tests se font séparément.

Conditions initiales

- Noter les conditions météorologiques : température ambiante, intensité du vent (fort, moyen, faible), l'humidité relative de l'air (relevée avec un hygromètre)
- Peser le foyer vide (F_0)
- Mettre 1 kg de charbon dans chaque foyer
- Peser le foyer plein (F_1)
- Peser 1 kg de poisson
- Peser 1,2 kg de légumes
- Mesurer 2 litres d'eau
- Peser 1,5 kg de riz
- Mesurer 0,5 litre d'huile

Démarrage

- Allumer les foyers et noter l'heure d'allumage pour chaque foyer (H_a)
- Poser la marmite et noter l'heure (H_m)
- Ajouter 0,5 litre d'huile dans chaque marmite et noter l'heure (H_h)

- Ajouter le poisson une fois que l'huile est chaude et noter l'heure (H_{hc})
- Rajouter l'eau après les cuissons à l'huile et noter l'heure (H_{eau})

Cuisson

- Ajouter les légumes et noter l'heure (H_l)
- Noter l'heure dès que l'eau a atteint l'ébullition (H_e)
- Retirer les aliments une fois cuits et noter l'heure (H_{ca})
- Rajouter de l'eau seulement si nécessaire et noter cette quantité en litre (MA) en indiquant l'heure
- Rajouter le riz dans chaque marmite et noter l'heure (H_r)
- Rajouter du charbon seulement si nécessaire et noter la quantité ajoutée en kg (QA) en indiquant l'heure
- Sitôt que la cuisinière estime que la cuisson du riz est terminée, noter l'heure et peser chaque foyer avec le charbon et les braises restants (H_{cr} et F_2)
- Si c'est possible, peser séparément les braises restantes en dissociant les cendres délicatement puis les peser (QR)

7. Notations

H_a : Heure d'allumage du combustible

H_m : Heure de pose de la marmite vide

H_h : Heure d'ajout de l'huile

H_{hc} : Heure une fois que l'huile est chaude

H_{eau} : Heure d'ajout de l'eau

H_l : Heure d'ajout des légumes

H_e : Heure où l'eau a atteint l'ébullition

H_{ca} : Heure de fin de cuisson des aliments

H_r : Heure où l'on introduit le riz

H_{cr} : Heure de fin de cuisson du riz

F_0 : Foyer vide en kg

F_1 : Foyer avec la masse de combustible initiale en kg

F_2 : Foyer plein à la fin du test en kg

MA : Masse de combustible ajoutée au cours du test en kg (accompagnée de l'heure)

QA : Quantité d'eau ajoutée au cours du test en kg (accompagnée de l'heure)

QR : Quantité de braises restantes à la fin du test

8. Expression des résultats

QI : Quantité initiale de charbon en kilogramme

$$QI = F_1 - F_0$$

QT : Quantité total de charbon introduite dans le foyer en kilogramme

$$QT = QI + QA$$

QF : Quantité finale de charbon en kilogramme (= QR si cette donnée est disponible)

$$QF = F_2 - F_0$$

QU : Quantité de combustible consommé en kilogramme

$$QU = QI - QF - QA$$

TA : Temps d'allumage en minute

$$DA = H_m - H_a$$

TCH : Temps de chauffage de l'huile en minute

$$TCH = H_{hc} - H_h$$

TCM : Temps de chauffage de la marmite en minute

$$TCM = H_{hc} - H_h$$

TCP : Temps de cuisson du poisson

$$TCP = H_{eau} - H_{hc}$$

TCE : Temps de chauffage de l'eau

$$TCP = H_l - H_{eau}$$

TE : Temps d'ébullition de l'eau

$$TCP = H_e - H_{eau}$$

TCA : Temps de cuisson des aliments en minute

$$TCA = H_{ca} - H_l$$

TCR : Temps de cuisson du riz en minute

$$TCR = H_{cr} - H_r$$

TTC : Temps total de cuisson en minute

$$TTC = H_{cr} - H_a$$

Ces résultats peuvent être complétés par une dégustation des différents plats par un panel de consommateurs évaluant la qualité de la cuisson.

9. Limites d'interprétation du TCC

L'interprétation des résultats doit tenir compte des difficultés à contrôler certains paramètres, comme par exemple la qualité de l'allumage, l'homogénéité de la combustion, ainsi que la sur-cuisson des aliments. Il est donc important de noter toutes observations sur le déroulement du TCC et de réaliser au moins trois mesures par combustible.

XI. BIBLIOGRAPHIE

ADEME. (2001). *Mesure des caractéristiques des combustibles bois.*

ADEME. (2002). *Validation des méthodes de mesures des caractéristiques des combustibles bois déchiquetés.*

Global Alliance for Clean Cookstoves. (2014). *The water boiling test version 4.2.3.*

Massé, R. (2008). *Conception d'un foyer amélioré domestique à charbon de bois en Afrique subsaharienne.*

PERACOD. (2006). *Tests de cuisine comparés - Charbon de bois et Biocharbon.* Saint Louis (Sénégal).

Rozis, J.-F. (2008). *Protocole de Test d'Ébullition de l'Eau Comparatif.*

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° 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.



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 le 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 le 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 donnée, 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

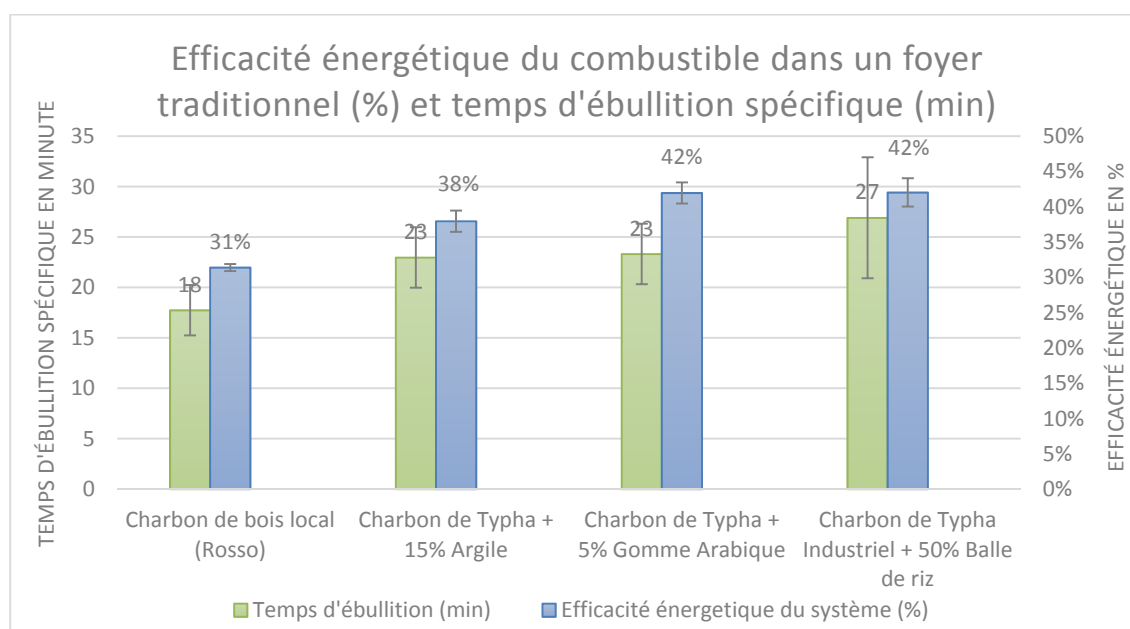


Figure 1. Efficacité énergétique et temps d'ébullition spécifique des différents charbons classé par efficacité énergétique croissante

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 :

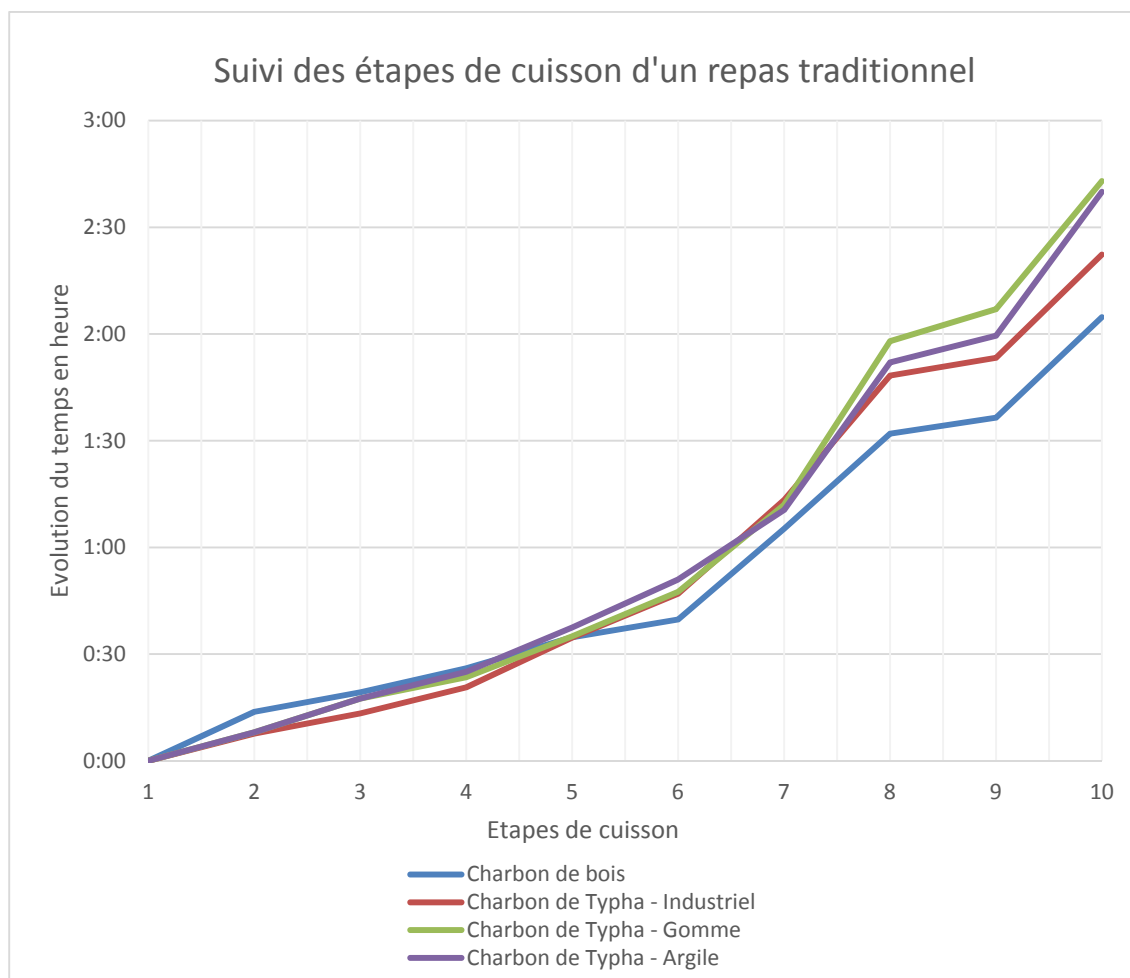


Figure 2. Evolution du temps en fonction des étapes de cuisson

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'enchainent 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.



CAHIER TECHNIQUE N° 5

Guide pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle de *Typha australis*

Recommandations formulées 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 pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle 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 la méthode pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle du typha *Australis*. Il repose sur les enseignements 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 2016.

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 : Abdallahi Magrega, Ludovic Milic, Guide technique pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe de typha *australis*, Paris, Gret et PND, avril 2016, 15 p.

Crédits photos : © Gret

Sommaire

I. Introduction	4
1. Objectif du guide	4
2. Impacts du typha Australis sur le secteur de la pêche	4
II. Etat des lieux des especes recensées après la coupe de typha australis.....	6
1. Les espèces végétales	6
2. Les espèces de poissons	7
III. Comment restaurer un site de pêche suite a la coupe de typha australis ?	8
1. Choisir un lieu stratégique pour la coupe	8
1.1. Accessibilité/Dimension du site	8
1.2. Profondeur de l'eau	9
1.3. Paramètres physico-chimiques de l'eau	9
1.4. Qualité de l'eau et pesticides.....	9
2. Structuration de la gestion de la zone de pêche.....	11
2.1. Structuration du secteur et monitoring	11
2.2. Quelles façons de pêcher ?	12
2.3. Fertilisation de l'étang.....	13
3. Quels outils de suivi et quelles maintenance pour le site de pêche	13
Annexe.....	15

I. INTRODUCTION

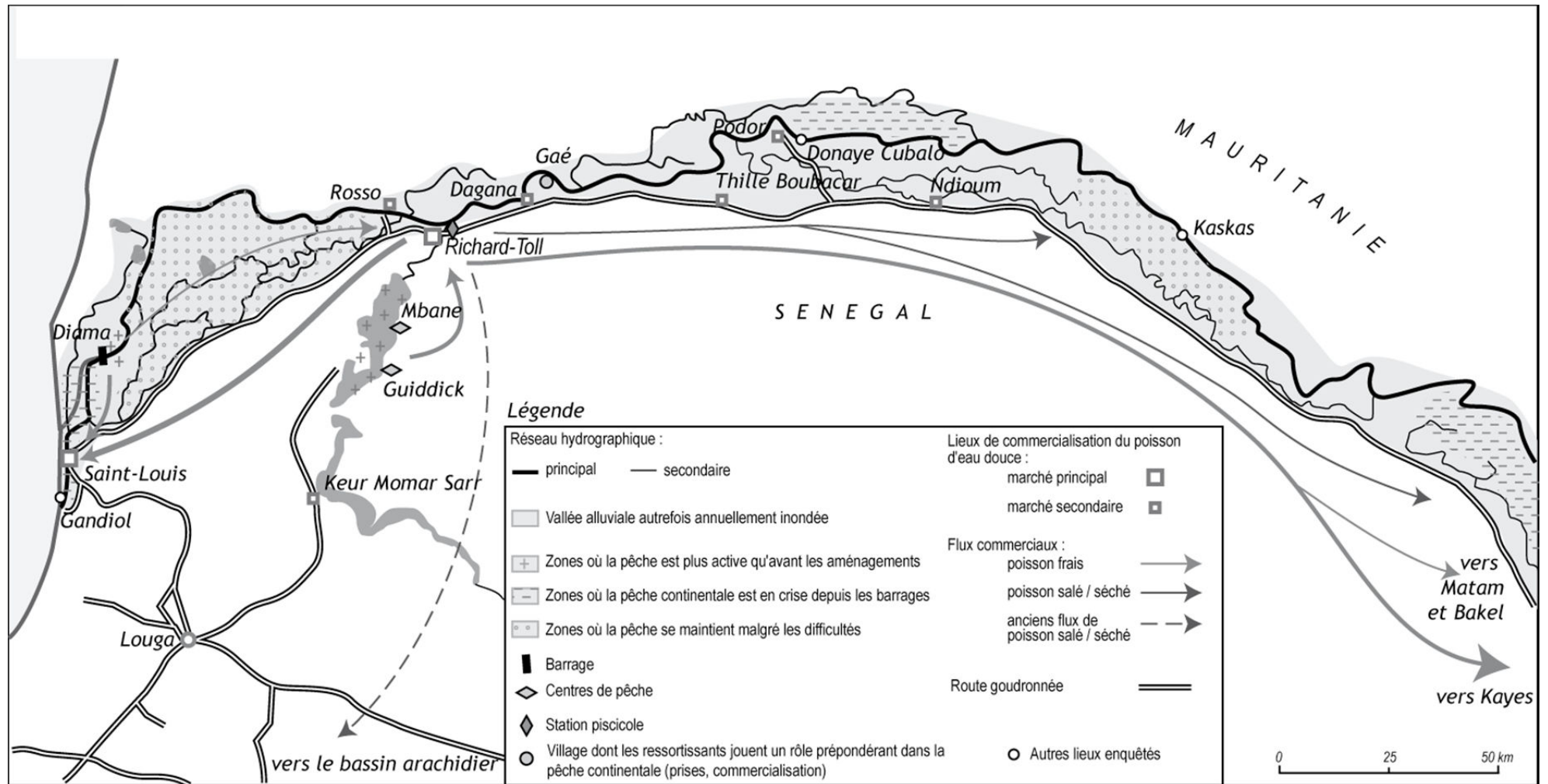
1. Objectif du guide

Dans le delta du fleuve Sénégal, la cartographie de répartition du Typha a permis de mettre en exergue le potentiel de Typha *australis* disponible, qui permettrait de produire du biocharbon en assez grande quantité pour alimenter le marché mauritanien dans sa globalité. Pour approvisionner le marché local, comme c'est le cas pour les unités de production artisanales, l'organisation de la coupe manuelle ne concerne pas toute zone à typha et les surfaces de coupe sont réduites et circonscrites suivant des critères qui ont été définis par le projet. Les zones coupées pour la production du charbon de typha ont permis une collecte de la biomasse et des observations intéressantes ont été faites sur la présence de poissons et les prémisses d'une activité de pêche. Même si les informations recueillies sont qualitatives il n'en demeure pas moins qu'elles restent pertinentes du point de vue écologique et socio-économique : en effet, il est tout à fait possible de renforcer des activités génératrices de revenus comme la pêche suite à la récupération d'une zone où poussait le typha. L'objectif de ce guide est donc de proposer un « mode d'emploi » pour la récupération d'une zone de pêche suite à la coupe manuelle du typha *australis*.

2. Impacts du typha *australis* sur le secteur de la pêche

Les statistiques récentes dont on dispose sur la pêche continentale dans la vallée du fleuve Sénégal sont rares, et montrent une tendance au déclin quantitatif des prises. Ainsi, les mises à terre dans la moyenne vallée seraient passées entre 1959 et 1988 de 33 000 à 8 000 tonnes. La baisse de production enregistrée plus récemment – entre 2000 et 2004 – serait le signe d'une surexploitation. Notons toutefois que les statistiques des services de l'État ne peuvent prétendre à une grande fiabilité du fait des compressions d'effectifs liées aux politiques d'ajustement structurel. La difficulté d'accès physique à la ressource – du fait de l'envahissement des rives par les typhaies, ou de la disparition de la crue dans les secteurs du lit majeur éloignés du fleuve et de ses défluent – explique probablement la diminution du nombre des pêcheurs et la baisse de l'importance de l'activité dans l'économie des ménages. On estimait le nombre de pêcheurs de la moyenne vallée à 2 300 (500 professionnels, 1 000 semi-professionnels, 800 occasionnels)¹ en 2005.

¹ G.Magrin, SM Seck, 2009 : la pêche continentale en sursis ? *Observations sur des pêcheries en rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal dans un contexte de décentralisation*, géocarrefour



Carte 1 : typologie des pratiques et de la structuration du milieu de la pêche dans la vallée du fleuve Sénégal, Magrin & Seck, 2009

II. ETAT DES LIEUX DES ESPECES RECENSEES APRES LA COUPE DE TYPHA AUSTRALIS

Le Parc national du Diawling (PND) a organisé un travail de suivi quantitatif, qualitatif et temporel de la faune et de la flore présente suite à la coupe du typha dans deux zones de coupe, dans les villages de Garack et Bouahjra. Ce travail nous est utile pour comprendre comment entretenir d'éventuelles zones de pêches récupérées suite à l'apparition des espèces observées.

1. Les espèces végétales

La coupe du typha a fait apparaître sur la berge et dans le plan d'eau dégagé certaines espèces végétales. Le monitoring de ces espèces donne 11 espèces que l'on peut diviser en 3 groupes :

Les plantes flottantes : Les observations faites sur les sites du projet montrent : la salade d'eau (*Pistia stratoites*), la salvia géante (*Salvinia molesta*), *Azola sp*, *Ipomea sp*, *Nymphaea Sp* (nénuphar) et *Hydrocharis morsus ranae*. Ces plantes sont à l'intérieur du plan d'eau et sont de grandes consommatrices d'oxygène. Leur présence n'est pas favorable à la présence de poissons. Elles ne sont cependant pas toutes toujours présentes en même temps sur le site. C'est surtout à l'occasion des crues du fleuve (lâchés d'eau du barrage de Manantali) qu'elles sont observées. Au bout de 20 jours elles peuvent proliférer et altérer la qualité du site, même si la salvinia et la salade d'eau sont faciles à dégager avec des filets. En revanche, ce phénomène d'apparition n'a pas eu lieu dans toutes les zones de coupe menées dans le cadre du projet. Notons par ailleurs que le nénuphar est consommé par certains poissons phytophages et peut servir d'abris et de protection pour les poissons. Un certain contrôle de cette espèce doit être réalisé lorsque l'on récupère une zone de pêche : il faut en effet laisser une partie du plan d'eau libre afin de permettre une surface de contact avec l'air et assurer ainsi une oxygénation régulière de l'eau nécessaire à la survie des poissons.

Les plantes grasses : c'est le cas de *Ludwigia sp* (jussie). Elle peut apparaître sur le site une semaine après la coupe et proliférer. C'est une plante invasive qu'il faut chaque fois éliminer dès son apparition. Elle prolifère depuis la berge jusqu'à 30cm de profondeur d'eau.

Les cypéracées sont sur la berge et prolifèrent jusqu'à une hauteur d'eau de 50cm. Elles sont indicatrices des eaux peu profondes et douces. Le plus fréquent des cypéracées est *Bolboschoenus maritimus L.*, Palla (Syn. *Scirpus maritimus L.*). Cette espèce peut faire son apparition à partir de la berge vers l'intérieur des plans d'eau au bout de 2 à 3 semaines sur des berges vierges ayant été dégagées. Il est important d'inclure ces plantes dans le plan d'entretien du site de pêche que l'on souhaite récupérer.

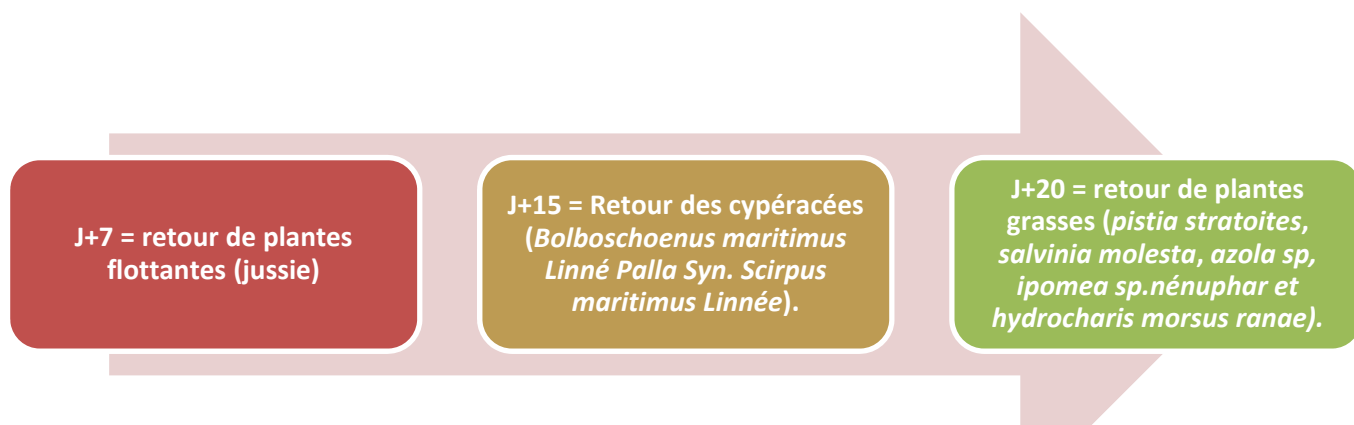


Schéma n°1 illustratif de l'apparition de certaines espèces végétales suite à la coupe du *Typha Australis* observées à Bouahjra

2. Les espèces de poissons

Les coupes de typha réalisées régulièrement permettent aux plans d'eau de favoriser la présence de la biodiversité halieutique. Le plan d'eau ainsi débarrassé du typha a l'avantage d'être en contact avec l'air ambiant qui l'enrichit en Oxygène et en lumière.

Si la faune aquatique n'a pu être observée sur certains sites avec la turbidité des eaux, des indices de la présence de cette biodiversité sont matérialisés à travers les captures et engins de pêche observés sur les lieux. Il faut signaler qu'au stade d'alevin il est difficile d'identifier une espèce de poisson. Toutefois les espèces formellement identifiées sur les sites de projet sont au nombre de six : *Propterus annectens*, *Polypterus senegalus*, *Oreochromis niloticus*, *Hemichromis bimaculatus*, *Tilapia* sp, *Clarias* sp.



Photo 1 : *Propterus annectens* 2



Photo 2 : *Polypterus senegalus* 3



Photo 3 : *Oreochromis niloticus* 4



Photo 4 : *Hemichromis bimaculatus* 5

Ces espèces ont en commun de prospérer dans des eaux principalement stagnantes, marécageuses et en présence de plantes d'eau ; elles ont par ailleurs une capacité à se développer dans des eaux dont

²<http://www.fishbase.org/summary/SpeciesSummary.php?ID=2384&genusname=Protopterus&speciesname=annectens>

³<http://www.aquaportail.com/fiche-poisson-2441-polypterus-senegalus-senegalus.html>

⁴<http://www.aquaportail.com/fiche-poisson-2776-oreochromis-mossambicus.html>

⁵<http://www.aquaportail.com/fiche-poisson-3659-hemichromis-bimaculatus.html>, source image : aquaportail

le pH varie de 6 à 8, ce qui représente une résistance importante à l'acidité et à l'alcalinité. Elles peuvent aussi se développer, dans une moindre mesure, dans des eaux qui présentent un débit plus important et dans les lits majeurs des cours d'eau. Elles ont une forte capacité d'adaptation au milieu dans lequel elles se développent dans des eaux assez chaudes (de 15 à 30 °C), excepté l'*Oréochromis niloticus* qui peut survivre dans des eaux qui présente des températures extrêmes (de 8 à 42 °C). Ces espèces sont également toutes carnivores et insectivores à la base mais peuvent se nourrir d'algues et de matière végétale.

III. COMMENT RESTAURER UN SITE DE PECHE SUITE A LA COUPE DE TYPHA AUSTRALIS ?

Nous avons pu constater que la coupe du typha *Australis* favorisait le retour de certains poissons, donc de la possibilité de créer une activité de pêche. Par conséquent, voyons comment créer les conditions favorables au retour de la pêche sur un site de coupe de typha.

1. Choisir un lieu stratégique pour la coupe

1.1. Accessibilité/Dimension du site

Une grille de critères a été mise en place dans le cadre du projet afin de déterminer la faisabilité à équiper le village d'une unité de production de charbon de typha (*cf document de synthèse, capitalisation du projet Typha, Avril 2016*). En termes d'accès, la distance maximale séparant le village de la zone de typha doit se limiter à 1 km maximum. Il faut ajouter un second critère à celui-ci lorsque l'on souhaite récupérer une zone de pêche suite à la coupe de la plante : il s'agit de la connectivité de la zone avec un bras du fleuve. Il est en effet préférable que la zone soit reliée à un bras du fleuve, car cela permettra à la zone de bénéficier d'un débit plus important⁶, donc d'un renouvellement des eaux permettant de faciliter un retour de la biodiversité.



Photo 5 : Coupe du typha à Garack et reconnexion avec le bras du fleuve

⁶ A Bakel, qui est souvent considéré comme la limite entre le Haut Bassin et la Vallée, et comme la station de référence du fleuve Sénégal parce que située à l'aval du dernier affluent important qu'est la Falémé, le débit moyen annuel du fleuve est d'environ 676 m³/s (Source, OMVS)

La carte ci-dessous (page 9) démontre que de nombreux villages (44 au total) entrent dans cette grille de critères, étant à la fois situés à moins d'un kilomètre du typha et à moins d'un kilomètre d'un bras du fleuve.

1.1. Profondeur de l'eau

Le terrain doit présenter une topographie plus ou moins plane avec une légère pente vers la terre ferme afin de permettre le renouvellement régulier et naturel des eaux. La profondeur de l'eau doit être au moins de 50 cm et au plus 120 cm. En effet, 50 cm à minima, car il existe une variabilité naturelle de la hauteur de la lame d'eau en fonction du débit qui s'accélère pendant l'hivernage et fait monter le niveau des eaux. Il faut ajouter à cela la variabilité liée aux lâchers d'eau du barrage de Manantali pour favoriser l'irrigation et l'approvisionnement en eau des périmètres irrigués du delta du fleuve Sénégal. Par ailleurs, au-delà de 120 cm, la zone devient trop profonde pour la coupe manuelle.

1.2. Paramètres physico-chimiques de l'eau

Le projet a équipé le PND en matériel scientifique et le personnel du PND a collecté des données environnementales en 2014 et 2015 (température, pH, conductivité, Oxygène dissous) à l'aide d'une malette Grosseron Multiline 340i⁷, adaptée aux relevés de terrain.

Cette activité nécessite d'être reconduite dans le cadre d'un projet en recherche hydrobiologique afin de renforcer les protocoles, méthodologies, et produire des séries de données suffisamment longues pour tirer des conclusions.

1.3. Qualité de l'eau et pesticides

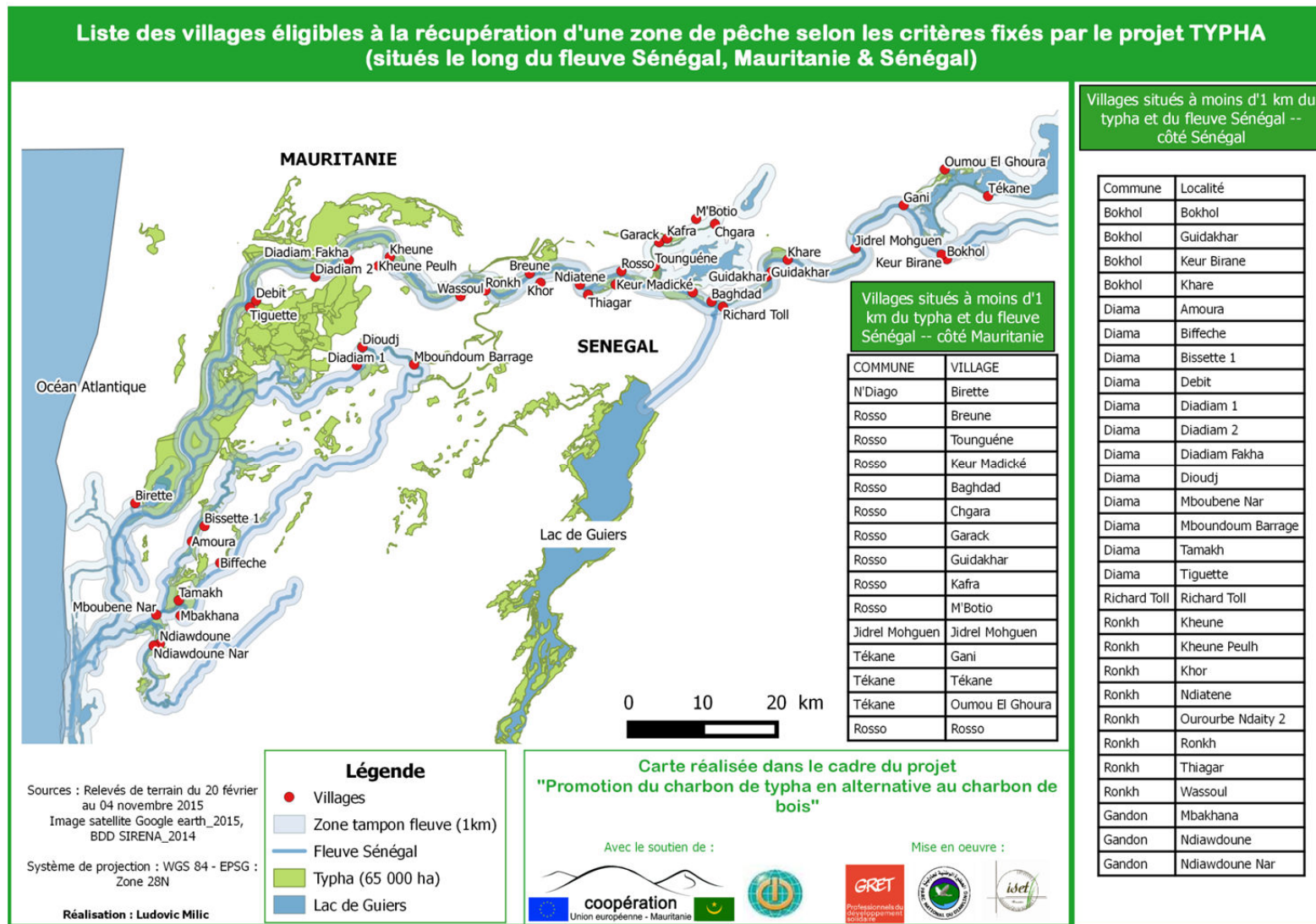
Le Trarza est le grenier à riz de la Mauritanie avec 14 754 hectares de superficie alouée à l'activité en 2004⁸. Cette activité étant consommatrice de pesticides et engrais, nous émettons l'hypothèse d'une éventuelle toxicité sur le vivant, nos zones de coupe du typha étant situées à quelques dizaines de mètres des zones de riziculture.

	Zone de coupe Breune	Zone de coupe Keur Madické	Zone de coupe Chgara	Zone de coupe Bouahjra	Zone de coupe Oum El Goura	Zone de coupe Tounguène	Zone de coupe Garack
Distance avec zone rizicole	350 m	50 m	900 m	9 000 m	300 m	250 m	300 m

Tableau 1 récapitulatif de la distance entre zone de coupe du typha et rizières

⁷ Avec station de mesure intégrée : un appareil de mesure du pH, de l'oxygène, conductivité et de la température Ph/oxy 340 (équipé de 4 sondes qui permettent le suivi de ces 4 paramètres)

⁸ OMVS, 2006 : [Plan de gestion des pestes et pesticides](#), Banque Mondiale



Carte 2 : Liste des villages éligibles à la récupération d'une zone de pêche selon les critères fixés par le projet

A titre de comparaison, le niveau moyen de présence de DDT des eaux de surface de la Seine est 100 fois moins importante (elle s'élève à 0,00046 microgrammes par litre⁹ en 2005). « *Ceci est d'autant plus préoccupant que les pesticides déterminés sont des organochlorés qui restent rarement dans les eaux sauf s'ils sont déjà présents en quantités importantes dans les sédiments ou boues de la phase solide*¹⁰. »

Vu l'importance majeure et croissante des périmètres irrigués, il serait pertinent que la recherche se penche sur les impacts environnementaux des pratiques agricoles, par exemple l'impact de la fertilisation sur l'eutrophisation du milieu et l'écotoxicité des produits phytosanitaires. Ces recherches sont également pertinentes dans le but de sécuriser la coupe du Typha *Australis* et de favoriser le retour de la biodiversité aquatique.

2. Structuration de la gestion de la zone de pêche

2.1. Structuration du secteur et monitoring

Dans les villages d'intervention du projet Typha, il a été constaté que le milieu de la pêche est très peu structuré. L'étude de marché réalisée en 2012 à Garack démontre, en effet, qu'un seul ménage sur 80 pratique la pêche comme activité principale. Dans ce village, lorsque la zone de pêche a été récupérée, peu de pêcheurs se sont intéressés à l'activité, si bien que la zone a été rapidement abandonnée et le typha a recolonisé le milieu aquatique. En effet, les pêcheurs n'étaient pas ou peu au fait des activités de la coopérative et n'étaient pas organisés (la pêche étant une activité complémentaire de revenus) ; ils se sont donc peu investis dans l'entretien de la zone afin de la récupérer totalement. **Par conséquent, un diagnostic doit être réalisé avant la mise en place de l'unité de production et les pêcheurs doivent être informés à l'avance afin de formaliser leur investissement dans les activités du projet.** En fonction de la structuration du milieu de la pêche, une grille de critères pourra être appliquée pour définir leur degré d'investissement dans l'unité de production de charbon de typha et les opportunités d'insertion du poisson sur le marché local (cf *tableau ci-dessous*).

Un monitoring sur les espèces existantes est aussi nécessaire dans l'objectif de connaître les différentes espèces de poissons et d'examiner s'il existe un marché au niveau local.

⁹Agence Eau Seine Normandie, 2008 : http://www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Expert/Etudes_et_Syntheses/etude_2008/Guide_toxique/fiche_indiv/organochlore.pdf

¹⁰ Mohamed Sid'Ahmed Ould KANKOU, 2004, thèse « *vulnérabilité des eaux et des sols de la rive droite du Fleuve Sénégal en Mauritanie – étude en laboratoire du comportement de 2 pesticides* », Université de Limoges

CRITERES	Autoconsommation	Alimentation du marché local	Alimentation du marché urbain
Niveau d'organisation de la pêche au niveau local	Pêcheurs amateurs (activité secondaire)	Pêcheurs professionnels (activité complémentaire)	Pêcheurs professionnels (activité principale)
	Pêcheurs non organisés	Coopérative locale	Réseau de coopérative
Niveau de structuration du secteur	Pas de points de débarquements	Peu de points de débarquements et peu équipés	Beaucoup de points de débarquement bien équipés
	Aucune aire de transformation du poisson	Aucune aire de transformation du poisson	Aire de transformation du poisson
	Pas de fabrique de glace	Fabriques de glaces	Chambre froide
Outillage & quantité de poissons pêchés	Ne possède pas de pirogue	Possède une pirogue ou plus	Possède plusieurs pirogues (motorisées)
	Pêche moins de 5 kg par jour	Pêche entre 5 et 10 kg par jour	Pêche plus de 10 kg par jour

Tableau 2 : Proposition d'une grille de critères pour la sélection et l'organisation des pêcheurs dans le but de récupérer une zone de pêche suite à la coupe du typha

2.2. Quelles façons de pêcher ?

Les principaux engins utilisés par les pêcheurs locaux de la zone du PND sont ceux adaptés à la pêche à pied qu'ils exercent :

- ❖ L'épervier : les mailles sont relativement larges (25 à 35 mm). Il est souvent de petite taille (1,5 à 2,5 m) et sert pour la pêche nocturne et matinale pour la capture de certaines espèces de Cichlides (par ex. *Sarotherodon*, *hemichromis bimaculatus*, *tilapia*). Il est utilisé par un cinquième des pêcheurs (19%)¹¹.
- ❖ La palangre : d'une longueur de 10 à 20 m, elle est utilisée pour piéger les Claridés. 36% des pêcheurs en sont équipés.
- ❖ Le filet maillant dormant : d'une longueur moyenne de 50m avec un maillage large de 40 à 50 mm. Son utilisation cible les Claridés (Ex. poisson chat) et les Cichlidés. Environ 43% des pêcheurs en sont équipés.
- ❖ La nasse : elle est très peu utilisée actuellement.
- ❖ La ligne à main : elle est essentiellement utilisée par les pêcheurs Tandgha de la dune côtière et par les wolofs pêchant dans la retenue de Diama.

¹¹ Ould Sidi Aly 2003, Etude d'Evaluation Economique du Parc National du Diawling. UICN

Après analyse du retour des poissons dans la zone récupérée par le projet et les pratiques locales en termes de pêche : il est recommandé d'utiliser le filet maillant de pêche et le filet palangre comme engins de pêche après récupération d'une zone de pêche. Ces engins sont en effet adaptés à la pêche à pied et faciles à confectionner par les pêcheurs. La dimension des mailles peut être contrôlée pour éviter la capture de petits poissons qui ne seront pas utilisés pour la consommation.



Photo 6 : filet palangre

2.3. Fertilisation de l'étang

Afin d'attirer les poissons et de les fidéliser à l'étang, les usagers peuvent mettre à l'intérieur de l'eau un filet maintenu par un crochet sur la berge (ou petit enclos de branchage) et à l'intérieur duquel on place quelques bouses de vaches (moins de 10) ou de la fiente d'oiseaux de basse-cour. Le contenu du filet (ou enclos) sera régulièrement renouvelé. Il faut éviter une grande quantité qui peut acidifier le plan d'eau. Il est également important de prêter attention aux oiseaux piscivores qui peuvent le cas échéant être éloignés par des leurres suspendus et éparpillés au-dessus ou autour du plan d'eau.

3. Quels outils de suivi et quelles maintenance pour le site de pêche

Une fois qu'un mécanisme de gestion est mis en place, un protocole de suivi doit être adopté avec les usagers afin de suivre avec précision l'apparition et le comportement des espèces de poissons (les espèces observées, le volume des captures, la taille et poids des espèces, la présence de juvéniles, etc.). Par ailleurs, des règles de gestion doivent aussi être respectées (période, type de filet, maille etc.) et doivent préalablement être validées soit par l'unité de production du charbon typha, (dans le cas où les pêcheurs sont membres de l'unité) ou par la structure des pêcheurs partenaire et/ou des pêcheurs indépendants (dans le cas où la pêche est externalisée de l'unité).

Suite à l'expérience acquise sur le projet, nous savons qu'il faut des coupes régulières pendant 6 mois sur le site pour empêcher le retour de du typha. Il faut en effet sur le même espace couper les

repousses, en répétant cet exercice, afin que l'appareil végétatif de la plante soit affaibli, ce qui réduit ses réserves nutritives jusqu'à épuisement et atrophie définitive.

Au bout de 6 mois, les autres espèces végétales identifiées plus tôt apparaissent. Afin de limiter l'expansion des nouvelles plantes qui apparaissent (mais aussi pour éviter un retour du typha), il est nécessaire d'entretenir la zone.

Pour ce faire nous recommandons, de mettre en place un calendrier d'entretien : aux 6 mois de coupes bimensuelles du typha, suivent 6 mois de coupes d'entretien de la zone de pêche. Ces opérations d'entretien auront lieu à intervalle régulier, également tous les 15 jours, soit 2 fois par mois pendant 6 mois.

Mois	1	2	3	4	5	6
Tâche (faire disparaître le typha)	2 coupes de typha	2 coupes de typha	2 coupes de typha	2 coupes de typha	2 coupes de typha	2 coupes de typha
Mois	7	8	9	10	11	12
Tâche (entretenir la zone suite à la disparition du typha)	Entretien de la zone (2 fois par mois)	Entretien de la zone (2 fois par mois)	Entretien de la zone (2 fois par mois)	Entretien de la zone (2 fois par mois)	Entretien de la zone (2 fois par mois)	Entretien de la zone (2 fois par mois)

Tableau 2 récapitulatif de la coupe, puis de l'entretien pour la pêche d'une zone à typha

Il est vivement recommandé de respecter ce calendrier, à la fois pour alimenter l'unité de charbon de typha artisanale et éviter les ruptures, mais aussi pour permettre la libération de la zone de toutes plantes invasives et envisager le retour optimal de la pêche dans le secteur. Au cours de ces deux périodes, il est tout à fait probable de constater la présence de poissons à la recherche de ressources trophiques, dans ce cas il est possible de les pêcher.

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° 4 : « Caractéristiques physico-chimiques de charbons produits à base 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.