



Promotion de l'Electrification Rurale et de  
l'Approvisionnement Durable en Combustibles  
Domestiques  
**PERACOD**



MINISTERE DE L'ENERGIE,  
ET DES MINES

Deutsche Gesellschaft für Technische  
Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

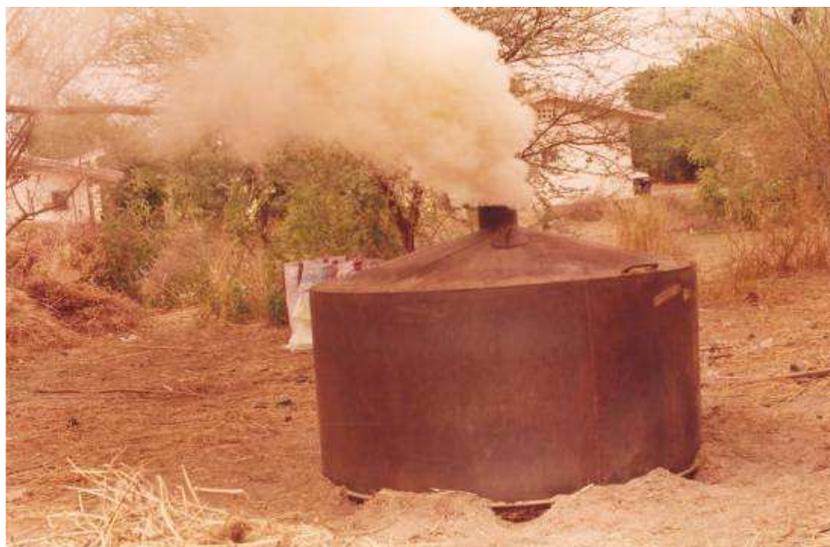
Direction de l'Energie

Coopération Technique Allemande



En partenariat avec  
la Société nationale d'Aménagement et  
d'Exploitation des terres du Delta du fleuve Sénégal  
et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé  
(SAED)

Etude finale sur la faisabilité technico-économique  
du développement d'une filière de valorisation du  
*Typha australis* en combustible domestique  
par la technologie de carbonisation « 3fûts »  
dans le delta du fleuve Sénégal



Carbonisateur « 3 fûts » en fonctionnement

Novembre, 2006

<b><u>LISTE DES ABREVIATIONS ET ACRONYMES.....</u></b>	<b><u>3</u></b>
<b><u>INTRODUCTION.....</u></b>	<b><u>4</u></b>
<b><u>CHAPITRE 1 / DESCRIPTION DE LA ZONE D’ACTION.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b>STRUCTURES DE L’UTILISATION DES COMBUSTIBLES DOMESTIQUES ET EN PARTICULIER DU CHARBON DE BOIS DANS LA ZONE D’INTERVENTION .....</b>	<b>5</b>
<b>RESSOURCES EN <i>TYPHA AUSTRALIS</i>.....</b>	<b>7</b>
<b><u>CHAPITRE 2 / BILAN DES ACTIVITES DE FABRICATION DE BIOCHARBON .....</u></b>	<b><u>9</u></b>
<b>CARBONISATION .....</b>	<b>9</b>
<b>AGGLOMERATION / COMPACTION.....</b>	<b>10</b>
<b>SECHAGE.....</b>	<b>13</b>
<b>LES TESTS D’EBULLITION.....</b>	<b>13</b>
<b>LES TESTS DE CUISINE ET D’ACCEPTABILITE .....</b>	<b>14</b>
<b><u>CHAPITRE 3 / SCENARIOS TECHNICO-ECONOMIQUES.....</u></b>	<b><u>16</u></b>
<b>SCENARIO N°1 .....</b>	<b>16</b>
<b>SCENARIO N°2.....</b>	<b>19</b>
<b>SCENARIO N°3.....</b>	<b>20</b>
<b>OPTION RETENUE : LE SCENARIO N°1 .....</b>	<b>23</b>
<b><u>CONCLUSION.....</u></b>	<b><u>23</u></b>

## **Liste des abréviations et acronymes**

<b>ADESCAW</b>	Association Socio-Economique, Sportive et Culturelle des Agriculteurs du Walo
<b>CILSS</b>	Comité permanent Inter Etats de Lutte Contre la Sécheresse dans le Sahel
<b>CSS</b>	Compagnie Sucrière Sénégalaise
<b>FASEN</b>	Projet Foyer Amélioré Sénégal
<b>FEPRODES</b>	Fédération des groupements et associations des femmes productrices de la région de Saint-Louis
<b>GIE</b>	Groupement d'Intérêt Economique
<b>GIVAQUE</b>	Projet de Gestion Intégré des Végétaux Aquatiques Envahissants
<b>GPF</b>	Groupement de Promotion Féminine
<b>GTZ</b>	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH (Coopération Technique Allemande)
<b>IEPF</b>	Institut de l'Énergie et de l'Environnement de la Francophonie
<b>IREF</b>	Inspection Régionale des Eaux et Forêts
<b>MF</b>	Matière Fraîche
<b>MS</b>	Matière Sèche
<b>OMVS</b>	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
<b>PCI</b>	Pouvoir Calorifique Inférieur
<b>PERACOD</b>	Programme de Promotion de l'Électrification Rurale et de l'Approvisionnement Durable en Combustibles Domestiques
<b>PREDAS</b>	Programme Régional des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel
<b>PSACD</b>	Projet Sénégal-Allemand d'appui au sous-secteur des Combustibles Domestiques
<b>PT</b>	Prix Total
<b>PU</b>	Prix Unitaire
<b>RN</b>	Route Nationale
<b>SAED</b>	Société nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé
<b>SDE</b>	Sénégalaise Des Eaux
<b>SEMIS</b>	Services de l'énergie en milieu Sahélien (bureau d'études)
<b>SENELEC</b>	Société National d'Electricité du Sénégal
<b>« Sai »</b>	Fagot en wolof

## **Introduction**

Suite à l'atelier technique de restitution de l'étude sur la valorisation du *Typha australis*<sup>1</sup> à des fins énergétiques qui s'est tenu du 23 au 25 juillet 2002 à Saint Louis du Sénégal par le Programme Régional des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel (CILSS/PREDAS) en collaboration avec le PSACD, le PERACOD a mis en place une Unité Pilote de carbonisation à Ross Béthio en collaboration avec la Société d'Aménagement et d'Exploitation du Delta du fleuve Sénégal (SAED). Les recommandations de l'Atelier étaient en effet de valider dans un premier temps l'acceptabilité d'un nouveau combustible à base de charbon de biomasse (Typha ou autres) par la population sénégalaise. L'Unité Pilote devait ainsi permettre d'acquérir au niveau du Sénégal la technologie de carbonisation « 3 fûts » développée au Mali et de développer des stratégies quant aux possibilités de développement d'une filière de carbonisation de biomasse, prenant en compte les différents aspects techniques, économiques, sociaux et environnementaux.



Enfants face à un « mur » de Typha sur les bords du fleuve Sénégal

---

<sup>1</sup> *Typha australis* : plante de la famille des roseaux à caractère envahissant dans le Delta du fleuve Sénégal, [www.typha.net](http://www.typha.net)

## CHAPITRE 1 / Description de la zone d'action

### Structures de l'utilisation des combustibles domestiques et en particulier du charbon de bois dans la zone d'intervention

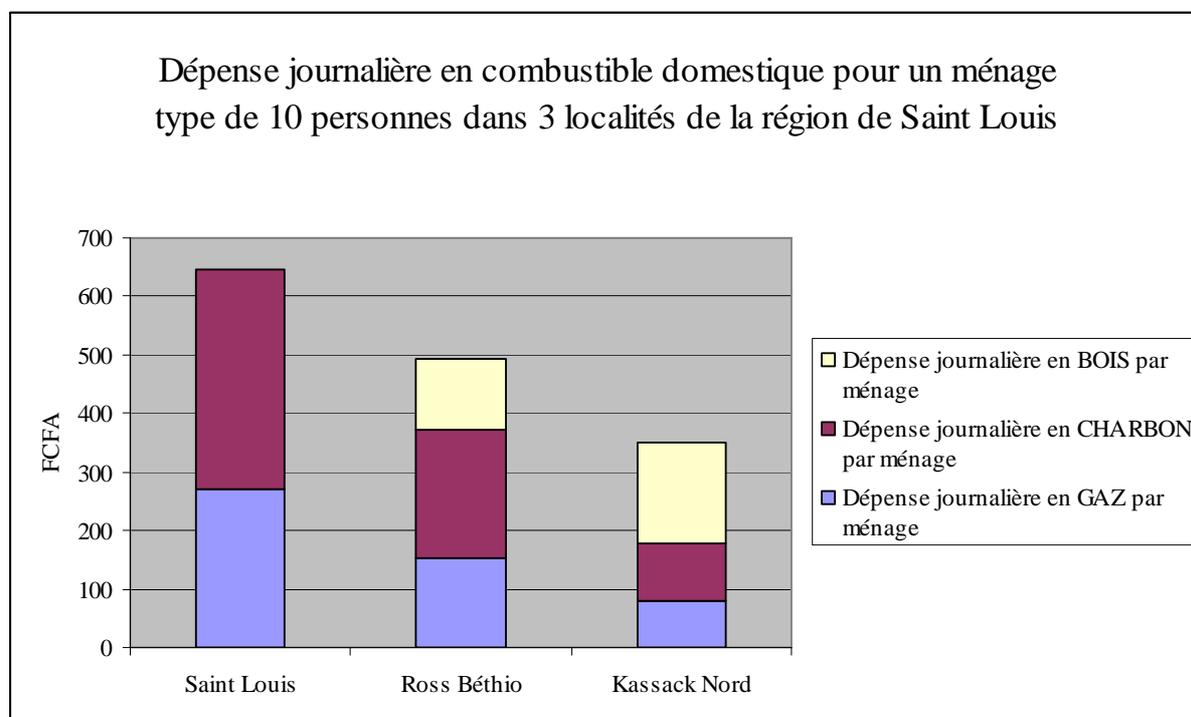
Le bois, le charbon de bois et la biomasse couvrent 60% des besoins du Sénégal et près de 85% de ceux des ménages. Ils sont utilisés à plus de 50% pour la cuisson. Après avoir chuté entre 1983 et 1988, la consommation d'énergie augmente de nouveau sensiblement (5,2%/an entre 1989 et 1999). [Source : IEPF]

Malgré une forte pénétration du gaz, les combustibles domestiques principalement utilisés restent le bois et le charbon de bois. Le bois est le combustible principal en milieu rural (l'utilisation des bouses de vaches existe aussi en cas de pénurie). Les ménages aisés et ceux vivant en ville utilisent principalement le gaz, tandis que les ménages plus modestes utilisent principalement le charbon de bois. On peut remarquer une grande diversité d'usage et le charbon de bois est utilisé dans tous les ménages, ne serait-ce que pour des utilisations particulières (thé, repassage, encens).

**Tableau 1: Consommation en bois, charbon de bois et gaz**

	Bois (tonnes)	Charbon de bois (tonnes)	Gaz (tonnes)
<b>Nationale</b>	1 130 162	334 971	74 750
<b>Saint Louis</b>	146 921	46 896	1 495
<b>% de la consommation national</b>	13%	14%	2%

Source : Promotion des foyers améliorés dans les zones d'intervention du PERACOD, PERACOD/FASEN/SEMIS, 2006



Source : Tests d'acceptabilité de charbon de biomasse au Sénégal, PERACOD/GTZ 2006

**Tableau 2 : Quantité annuelle de charbon de bois contrôlée au poste de Leybar (entrée de Saint Louis)**

Années	1999	2002	2003
Quantités (tonnes)	3 773	3 025	2 861

Source : Rapports annuels 1999, 2002 et 2003, IREF Saint Louis.

Le charbon de bois commercialisé à Saint Louis provient des seules zones autorisées à la production charbonnière au Sénégal, à savoir les régions de Kolda et Tambacounda. Ces zones étant très éloignées, le prix du charbon de bois est relativement élevé (voir tableau). La différence entre consommation annuelle estimée à 47 000 tonnes et l’approvisionnement légal, 3 000 tonnes, montre qu’il existe au niveau de la région d’autres sources de charbon : on trouve en effet du charbon produit localement et de manière illégale, ce charbon est souvent de mauvaise qualité et on le trouve principalement en milieu rural.

**Tableau 3 : Prix du charbon de bois dans différentes localités de la région de Saint Louis**

<b>Saint Louis (zone urbaine)</b>	200 FCFA / pot
<b>Ross Béthio (chef lieu rural)</b>	150 FCFA / pot
<b>Kassack Nord (village rural)</b>	125 FCFA / pot

\* : après une petite étude auprès des vendeurs de charbon, nous avons pu définir le poids d’un pot de charbon qui équivaut à plus ou moins 1,15 kg.

Cette différence de prix est due à deux facteurs :

- la production illégale de charbon de bois dans les zones rurales qui n’est pas soumise aux contraintes de prix (redevances diverses et coûts de transport)
- Le pouvoir d’achat plus faible des ménages en zone rurale.

L’approvisionnement « légal » de Saint Louis est aussi soumis aux conditions climatiques qui contraignent la fabrication du charbon de bois, ainsi on observe une baisse de l’approvisionnement en février et pendant l’hivernage (août à octobre). Dans le contexte d’une hausse du prix des énergies fossiles (gaz) et d’une pénurie des sources d’énergie traditionnelle (bois et charbon de bois), qui entraîne aussi difficulté d’approvisionnement et hausse des prix, il existe un marché potentiel pour le charbon de biomasse relativement vaste.

**Tableau 4 : Répartition de la population dans la région de Saint Louis**

	Pop<500 hab.	500<Pop<1000	Pop>1000 hab. (hors zone urbaine)	Zone urbaine	Total
<b>Nbre de localités</b>	300	126	143	8	577
<b>Population</b>	72 817	91 947	296 148	264 866	725 778
<b>Nombre de ménages</b>	9 102	11 493	37 019	31 270	88 884
<b>% de ménages par type de localités</b>	10%	13%	42%	35%	100%

Source : Promotion des foyers améliorés dans les zones d’intervention du PERACOD, PERACOD/FASEN/SEMIS

**Ressources en *Typha australis***

*Typha australis*, une plante envahissante de la famille des roseaux, qui colonise les zones d'inondation des fleuves Sénégal et Niger avec des conséquences graves sur les activités humaines et l'écosystème (pêche, accès à l'eau, santé, irrigation...).

**Tableau 5 : Estimation à partir d'image satellite du potentiel en Typha sur 40 km à partir du barrage de Diama le long du fleuve Sénégal, situation d'octobre 1998, SAED, 2003**

	<b>Sénégal</b>	<b>Mauritanie</b>	<b>Total</b>
<b>Superficie (ha)</b>	6 761	5 805	12 566
<b>Biomasse fraîche (tonnes) MF</b>	887 988	807 525	1 695 513
<b>Biomasse sèche (tonnes) MS*</b>	153 622	139 702	<b>293 324</b>

\* : Le coefficient de conversion MS/MF est de 0,173

L'extrapolation de l'estimation de **la biomasse fraîche à l'ensemble de la vallée du fleuve Sénégal donne un potentiel de 3 millions de tonnes soit 519 000 tonnes de biomasse sèche.**

La coupe et le contrôle du développement de cette plante coûte extrêmement de temps et d'argent. Les principaux organismes (SAED, projet GIVAQUE, OMVS, CSS) commandent à des prestataires de services les travaux de faucardage/curage. Ces actions ont surtout lieu sur les canaux d'irrigation et les grands émissaires dans le cadre de l'amélioration de l'agriculture. Certains villages ont ponctuellement des actions concertées afin de se libérer un accès à l'eau.

Aujourd'hui le Typha est utilisé de manière anecdotique en comparaison des superficies envahies par les populations locales pour la fabrication de nattes et de clôtures. Cette activité tend à se développer et les produits commencent à être exportés en dehors de la région de production.

Remarque :

Des tests complémentaires ont été effectués dans le cadre du programme lors de la réalisation des différentes activités.

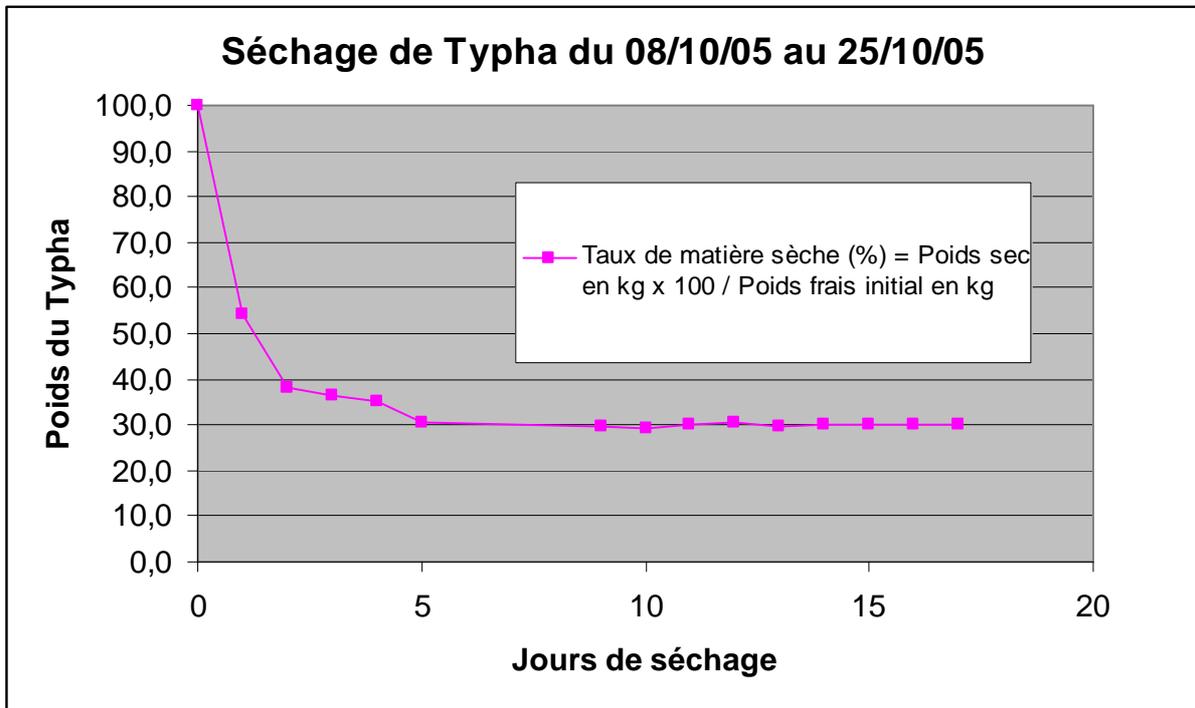
Vitesse de coupe manuelle (m<sup>2</sup>/h) et densité (pieds de Typha/m<sup>2</sup>) :

La vitesse de coupe est très variable. Elle dépend principalement des conditions du milieu. Il n'a pas été possible de bien identifier l'influence de tous les paramètres. On peut néanmoins proposer quelques réponses. La coupe est ralentie quand elle doit s'effectuer dans l'eau et/ou quand la densité du Typha est très importante : 20 m<sup>2</sup>/h. Elle est accélérée dans des conditions contraires (zones sèches et densité faible : 40 m<sup>2</sup>/h). **Il est à noter cependant que pour une valorisation en Biocharbon, c'est le poids du Typha récolté qui est intéressant.** Ainsi dans les zones en eau poussent les Typha les plus longs et les plus lourds au contraire des zones sèches. La faiblesse de vitesse de coupe est ainsi compensée en partie par un poids de Typha plus important au m<sup>2</sup>.

Pour être efficace le temps de coupe ne doit pas excéder 5h et éviter les heures chaudes (12h à 16h00).

Durée et Taux de séchage :

Des suivis de séchage de fagots « saï » de Typha à l'air libre ont été effectués. Le taux de séchage identifié est de 30 %. On peut estimer que le séchage est suffisant au bout de 5 jours.



Coupeurs de Typha au travail sur un canal de drainage

## **Chapitre 2 / Bilan des activités de fabrication de Biocharbon**

Le protocole de partenariat liant la SAED et le PERACOD pour la mise en place d'une Unité Pilote de valorisation de Biomasse en combustible domestique a été signé en novembre 2004 et ce pour une durée de 2 ans. Le premier carbonisateur « 3 fûts » a aussi été construit à cette époque et les premiers tests de carbonisation effectués. Dans le cadre du PREDAS, un formateur malien a assuré une formation en techniques de carbonisation « 3 fûts » aux agents du PERACOD en mai 2005. En parallèle des tests d'agglomération étaient effectués à base d'argile et de mélasse ainsi que les premiers tests d'ébullition.

En septembre 2005, le programme a recruté un technicien spécifiquement attaché au fonctionnement de l'Unité Pilote et basé à Ross Béthio. La cadence des tests a ainsi été augmentée et différents types de biomasse ont aussi pu être utilisés jusqu'à fin mars 2006. Des tests complémentaires d'agglomération se sont déroulés à partir d'avril 2006 et jusqu'à maintenant.

Les premiers échantillons de Biocharbon ont permis de réaliser une étude d'acceptabilité du produit auprès des consommateurs en mai 2006.

Des stagiaires ont aussi appuyé ponctuellement le programme.

Les principaux résultats obtenus sont détaillés dans les différentes rubriques thématiques ci-dessous :

- Carbonisation
- Agglomération
- Séchage
- Tests d'ébullition
- Tests d'acceptabilité

### **Carbonisation**

De septembre à décembre 2005, plus de 60 tests de carbonisation de Typha ont été réalisés au niveau de l'Unité Pilote de Ross Béthio. Les différents tests ont permis de dégager les principales données techniques et contraintes liées au processus de carbonisation du Typha par la technologie « 3 fûts » et d'optimiser la technique de carbonisation.

**Tableau 6 : Caractéristiques techniques pour la carbonisation de Typha "3 fûts"**

Poids sec chargé (kg)	55,2
Charbon (kg)	13,4
<b>Rendement charbon (%)</b>	<b>24,3</b>
Durée Totale	3h54
<b>Productivité journalière (kg/jour/carbonisateur)</b>	<b>26,8</b>

### Effet de l'humidité :

Comme la matière première doit être sèche pour pouvoir être carbonisée, il n'est pas possible de travailler durant l'hivernage (de juillet à octobre), la période utile de carbonisation dure donc 8 mois de novembre à juin. Les carbonisations matinales sont aussi à éviter afin limiter l'influence de la rosée.

### Effet du remplissage / tassement :

Les rendements sont améliorés si les tiges de Typha sont pliées avant d'être introduites dans le carbonisateur. Au contraire si les tiges sont bien rangées (parallèles entre elles) le rendement est plus faible. 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. Au contraire un four très chargé en tiges bien alignées aura un rendement et une productivité très faible.

### Effet du vent :

Les événements au vent activent particulièrement la combustion du Typha à l'intérieur du carbonisateur : formation de cendres et baisse de rendement. Ils sont cependant les activateurs du processus. Une attention particulière doit leur être portée en les fermant et en les ouvrant quand la carbonisation le nécessite. Ils peuvent être aussi par exemple les derniers événements à être ouverts après l'allumage.

### Effet de l'allumage :

L'allumage doit durer suffisamment longtemps (environ 20 minutes) afin que la chaleur nécessaire à la carbonisation soit fournie et pénètre suffisamment la masse à carboniser. La chaleur se répartie mieux si les tiges de Typha sont pliées.

### Effet de la durée :

La durée de carbonisation doit être augmentée en particulier si la masse à carboniser est importante. De petites entrées d'air doivent être aménagées à la base du carbonisateur (attention aux événements qui sont faces au vent) et maintenues aussi longtemps que la carbonisation n'est pas terminée (sondage au bâton).

### **Agglomération / Compaction**

Le charbon de biomasse obtenu n'est en général pas utilisable directement comme combustible domestique (trop friable, trop léger), il lui faut donc subir une étape de densification appelée selon les cas agglomération ou compaction. De nombreuses technologies existent déjà de part le monde, plusieurs d'entre elles ont été testées et adaptées en vue d'obtenir le meilleur produit en termes de qualités technico-économiques et d'acceptabilité auprès des futurs utilisateurs. Les principaux résultats sont résumés dans le tableau suivant.



Carbonisateur « 3 fûts »



Défournement du carbonisateur



Agglomérateur « Plateau tournant »



« Rotor Press »



Séchage sur les racks



Cuisine au Biocharbon

Technologie utilisé	Agglomération par plateau tournant (Technologie Mali)	Agglomération par vis sans fin (Rotor Press)	Agglomération manuelle par vis sans fin (Rotor Press)
Type de liant	Mélasses	Rebut de farine	Argile
Prix du liant (FCFA/kg)	50	30	0
Besoin en charbon (pourcentage du produit fini)	66 %	90 %	80 %
Besoin en liant (pourcentage du produit fini)	33 %	6 %	20 %
Besoin en eau (pourcentage du produit fini)	66 %	50 %	50 %
Besoin en broyage	OUI	NON mais possible	NON mais possible
Besoin en électricité	OUI	NON mais possible	NON mais possible
<b>Productivité horaire (kg sec / heure / machine)</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>15</b>

#### Effets du liant

La qualité de la briquette finale dépend en grande partie du liant utilisé. Le liant influe principalement sur 4 qualités de la briquette :

- La **solidité** finale du produit, ce qui est important à prendre en compte pour le stockage et le transport. Une briquette solide peut être facilement stocké et transporté et donc être exportée au niveau des marchés et autres postes de consommation (villes) sans perte significative. La solidité représente aussi un gage de qualité pour les acheteurs qui vont comparer les briquettes au charbon de bois traditionnel.
- Le **pouvoir calorifique** : en général les liants utilisés ont un pouvoir calorifique plus faible que le charbon, certains ont même un pouvoir calorifique nulle comme les liants minéraux (argile..). Plus la proportion en liant est importante, plus le pouvoir calorifique de la briquette finale sera faible et ce d'autant plus que le liant possède un faible pouvoir calorifique.
- La **sensibilité à l'humidité** : certains liants sont fortement hygrophiles. Dans un environnement chargé en humidité ils vont favoriser l'absorption d'humidité par la briquette, cela peut entraîner la désagrégation de la briquette (perte de solidité), des difficultés à l'allumage (perte de temps, production de fumée...) et une baisse du pouvoir calorifique de la briquette.
- Le **coût final** de la briquette : en tant que matière première entrant dans la composition du produit final, le liant surtout si il est présent en grande proportion dans le produit final et si il coûte cher influe sur le coût final de la briquette. Or les enquêtes ont montré qu'un prix élevé pour un nouveau combustible était une contrainte majeure au développement de son utilisation

Tableau 7 : Comparaison des avantages et inconvénients de différents liants

Liant	Proportion (pourcentage de la quantité de liant en masse dans le produit final)	Solidité finale des briquettes	Sensibilité à l'humidité	Prix du marché (FCFA/kg)	Part du liant dans le coût final de la briquette (FCFA/kg)
Farine (bonne qualité)	7%	+++	0	300	21
Mélasses	33%	++	+++	50	16,5
Argile*	20%	++	++	0	0
Gomme arabique	7%	++	+	500	35
Farine (rebut)	7%	+++	0	67	5,1

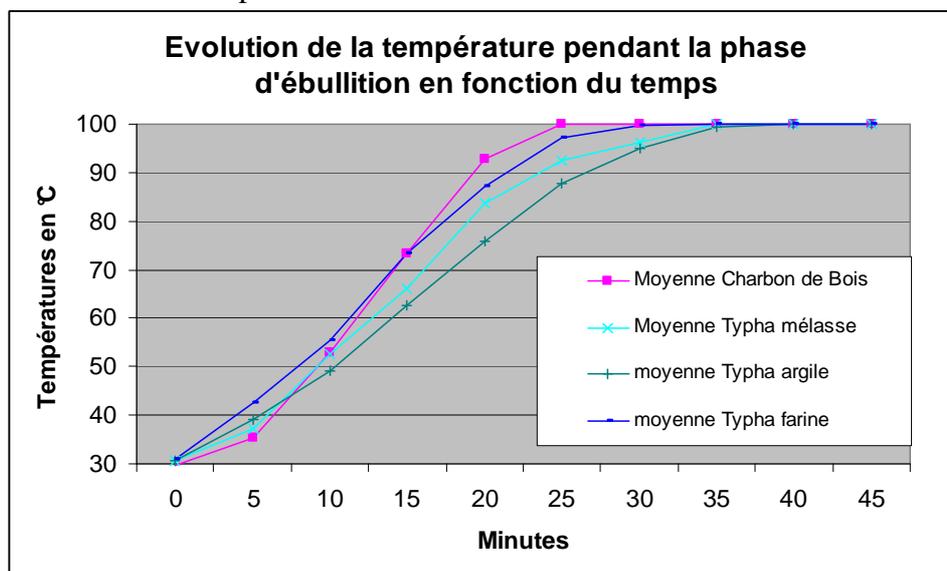
\*: l'argile possède des propriétés de conservation de chaleur qui compense sa participation à la faiblesse du pouvoir calorifique des briquettes. Il existe par ailleurs différent type d'argile dont les caractéristiques de solidité après séchage sont très variables. Ainsi pour certain argiles, une faible concentration est suffisante pour obtenir une briquette suffisamment solide, dans ce cas l'avantage est aussi que l'on augmente de la même manière le pouvoir calorifique de la briquette.

### Séchage

Dans tous les cas de figure, le charbon aggloméré doit être ensuite séché avant de pouvoir être utilisé. Ce séchage peut se faire au soleil étalé sur une bâche ou de manière plus efficace sur des claies posées sur des racks (on profite ainsi d'une certaine ventilation qui accélère le séchage). Deux à trois jours de séchage suffisent. Suivant les liants utilisés, une réhumidification des briquettes peut s'opérer suivant les conditions climatiques et le lieu de stockage du Biocharbon. Quant la briquette est sensible à l'humidité (par exemple avec la mélasse) un séchage préalable des briquettes au soleil avant utilisation peut être bénéfique. Ce procédé augmente cependant les tâches de l'utilisatrice.

### Les Tests d'ébullition

Des tests d'ébullition ont été effectués afin de comparer les différents échantillons produits à la courbe caractéristique du charbon de bois d'après la méthodologie développée dans le Guide technique de l'économie du bois de feu – expérience du Sahel et le Water Boiling Test en phase de standardisation par la fondation Shell.



On peut remarquer que le temps pour arriver à ébullition atteint + 10 à 15 minutes pour le Biocharbon en comparaison avec le Charbon de bois (+ 40 à 60 % de temps à l'allumage). Cependant l'ébullition est maintenue dans tous les cas au-delà de 30 minutes pour chaque produit.

**NB :** Il est à noter que l'humidité du charbon utilisé n'a pas été prise en compte. Une partie des tests (Typha farine et Typha argile) ayant été effectuée au moment de l'hivernage (saison des pluies) on peut logiquement penser que la durée d'allumage doit être plus courte et donc plus proche de celle du charbon de bois pour ces produits.

### **Les Tests de cuisine et d'acceptabilité**

#### ➤ Tests de cuisine

La consommation en Biocharbon est de 20% supérieure à la consommation normale en charbon de bois et cette donnée devra être prise en compte dans l'élaboration d'un prix des briquettes sur le marché. Cette différence de consommation est en partie due au PCI plus faible du Biocharbon : 26 400 kJ/kg soit 91% du PCI du charbon de bois.

La durée de cuisson est aussi plus longue d'environ 15 % (soit 20 minute sur 2h30 en moyenne pour la cuisson d'un Ciebudjään) avec le Biocharbon qu'avec le charbon de bois.

#### ➤ Tests d'acceptabilité

Les résultats des tests d'acceptabilité effectués auprès de 18 ménages et 5 consommateurs spéciaux (restaurateurs, teinturiers...) au niveau de trois sites d'études (Kassack Nord et Ross Béthio en milieu rural et Saint Louis en milieu urbain) ont permis de montrer que le charbon de biomasse produit peut très facilement trouver son marché malgré quelques désavantages (fumée et cendres) liés à son mode fabrication (liant).

**Tableau 8 : Comparaison des conditions de cuisson entre le Biocharbon et le charbon de bois**

	<b>Allumage</b>	<b>Fumée</b>	<b>Cendres</b>	<b>Odeur</b>
Charbon de bois CdB (témoin)	Facile	Un peu au départ	Un peu à la fin	Non
Biocharbon (66/33, mélasse)	Plus long	Beaucoup au départ	Beaucoup à la fin	Un peu
Biocharbon (80/20, argile)	Plus long	Beaucoup au départ	Beaucoup à la fin	Un peu
Biocharbon (93/7, farine)	Plus long	Beaucoup au départ	Un peu à la fin	Un peu

Malgré ces désavantages en comparaison du charbon de bois, il a reçu **85% d'acceptabilité**, c'est à dire que 85 % des ménages enquêtés sont prêts à utiliser ce combustible comme combustible principal à un prix d'achat attractif, cela est surtout vrai en milieu rural.

**Tableau 9 (a, b, c): Prix du charbon de bois et prix proposés par les ménages pour le Biocharbon**

<b>PRIX AU POT (FCFA/pot)</b>					
	charbon de bois	Biocharbon			Biocharbon amélioré (moins de cendres et de fumées)
		Mini	Maxi	Moyenne	
Saint Louis	200	100	150	127	161
Ross Béthio	150	70	150	91	114
Kassack Nord	125	50	100	75	75

<b>PRIX AU KG (FCFA/kg)</b>					
1 pot = 1,15 kg	Charbon de bois	Biocharbon			Biocharbon amélioré (moins de cendres et de fumées)
		Mini	Maxi	Moyenne	
Saint Louis	174	87	130	110	140
Ross Béthio	130	61	130	79	99
Kassack Nord	109	43	87	65	65

<b>COÛT REEL POUR 1 MENAGE (FCFA/kg)</b>					
Cuisson : 1 kg charbon = 1,2 kg Biocharbon	Charbon de bois	Biocharbon			Biocharbon amélioré (moins de cendres et de fumées)
		Mini	Maxi	Moyenne	
Saint Louis	174	104	157	133	168
Ross Béthio	130	73	157	95	119
Kassack Nord	109	52	104	78	78



Test d'acceptabilité avec des briquettes de Biocharbon à Kassack Nord

## Chapitre 3 / Scénarios technico-économiques

Les résultats obtenus au niveau de l'Unité Pilote ont permis de dégager 3 scénarios pour la mise en place d'Unités Fonctionnelles de fabrication de Biocharbon.

### Scénario N°1

- quatre carbonisateurs « 3 fûts »,
- deux agglomérateurs de type « Rotor Press » manuel,
- une aire de séchage,
- le liant utilisé est l'argile disponible localement,
- elle occupe quotidiennement 4 personnes,
- elle produit quotidiennement 120 kg de briquettes de Biocharbon

### Investissement et amortissement

L'investissement nécessaire au fonctionnement de l'unité est de 665 000 FCFA et est détaillé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : Détails de l'investissement en équipement / Scénario N°1

Rubrique	Quantité	PU (FCFA)	PT (FCFA)	Durée de vie (année)	Amortissement (FCFA)
Carbonisateur	4	60 000	240 000	2	120 000
Agglomérateur	2	50 000	100 000	5	20 000
Brouette	1	25 000	25 000	3	8 333
Installation de séchage	1	200 000	200 000	3	66 667
Divers (faucilles, seaux, pelles, râteliers, sacs)	1	100 000	100 000	1	100 000
<b>Total investissement :</b>			<b>665 000</b>	<b>Total amortissement :</b>	
				<b>315 000</b>	

#### Avantages :

- Cet investissement relativement faible permettra dans le cas du développement de la filière et du marché du Biocharbon, une vulgarisation plus rapide de la technologie.
- Le fonctionnement manuel des appareils (en particulier les agglomérateurs) n'entraînent ni dépendance, ni dépense énergétique.

#### Risques :

- La faible durée de vie des équipements et en particulier des carbonisateurs (humidité et forte température entraîne une corrosion très rapide du carbonisateur métallique « 3 fûts ») donne un coût d'amortissement relativement élevé (la moitié des investissements). L'Unité mise en place devra donc s'attacher avec rigueur à provisionner le renouvellement du matériel.
- La plupart des matériaux utilisés sont en métal, le prix de ces équipements est donc fortement dépendant du prix sur le marché qui aujourd'hui a une forte tendance à la hausse.

**Organisation et productivité**

L'optimisation technico-économique a été faite sur une base journalière. Le fonctionnement optimum des outils prévus peut être assuré par quatre opérateurs suivant l'organisation quotidienne présentée dans le tableau ci-dessous. La journée débute à 8h00 et se termine à 19h00 avec une pause de midi de 2h00, soit 9h00 de travail. Sont compris dans ces 9h de travail, 1h de transport pour deux des opérateurs et 2h pour les deux autres. **L'intérêt de ce fonctionnement est que chacun travaille en binôme et tous les postes sont interchangeables.**

**La production journalière est de 120 kg de briquettes de Biocharbon.**

**Tableau 11 : Une journée de travail type / Scénario N°1**

Horaire	Opérateur N°1	Opérateur N°2	Opérateur N°3	Opérateur N°4
De 08:00 à 08:30	Transport sur Site			
De 08:30 à 09:00	Coupe Typha : 4 heures de temps, 160 m² récoltés, 1 600 kg matière fraîche, 480 kg matière sèche (MS)		Défournement C 1&2*, chargement C 1&2 et première carbonisation pour C 1&2	
De 09:00 à 09:30			Défournement C 3&4*, chargement C 3&4 et première carbonisation pour C 3&4	
De 09:30 à 10:00				
De 10:00 à 10:30				
De 10:30 à 11:00				
De 11:00 à 11:30			Ramassage de 20 kg d'argile	
De 11:30 à 12:00				
De 12:00 à 12:30	Transport Retour avec 54 kg de charbon de Typha et 20 kg d'argile			
De 12:30 à 13:00	PAUSE MIDI			
De 13:00 à 13:30				
De 13:30 à 14:00				
De 14:00 à 14:30				
De 14:30 à 15:00				
De 15:00 à 15:30	Agglomération / mise en séchage / vente : 4 heures de temps, 120 kg de briquettes (équivalent sec) de Biocharbon agglomérées		Transport sur Site	
De 15:30 à 16:00			Défournement C 1&2, chargement C 1&2 et première carbonisation pour C 1&2	
De 16:00 à 16:30			Défournement C 3&4, chargement C 3&4 et première carbonisation pour C 3&4	
De 16:30 à 17:00				
De 17:00 à 17:30				
De 17:30 à 18:00				
De 18:00 à 18:30			Transport Retour avec 54 kg de charbon de Typha	
De 18:30 à 19:00				

\* : C 1&2 (respectivement C3&4) pour carbonisateur N°1 et carbonisateur N°2 (respectivement N°3 et N°4) soit un total de 4 carbonisateurs

**Structure du prix du Biocharbon et génération de revenu**

Pour l'analyse économique on se base sur les hypothèses suivantes :

- 8 mois travaillés par an, étant donné les difficultés liées à la période d'hivernage (séchage du Typha et des briquettes difficile).
- 24 journées travaillées par mois soit 6 jours par semaine
- Production et vente de 120 kg de briquettes de Biocharbon par jour
- Prix de vente de 1 kg de briquettes de Biocharbon évalué à 100 FCFA (coût équivalent en charbon de bois pour les ménages = 120 FCFA/kg)

**Tableau 12 : Structure des coûts de production du Biocharbon / Scénario N°1**

Rubrique	Quantité	Coût Unitaire (FCFA)	Coût Total (FCFA)	Coût par kg de briquette (FCFA/kg)
Amortissement	1	315 000	315 000	13,67
Maintenance (5% investissement)	0,05	665 000	33 250	1,44
<b>Coût total de production :</b>			<b>348 250</b>	<b>15,12</b>
<b>Chiffre d’Affaire, Prix de vente de la briquette : 100 FCFA/kg</b>			<b>2 304 000</b>	<b>100</b>
<b>Marge</b>			<b>1 955 750</b>	<b>84,88</b>

La marge journalière dégagée est donc de 84,88 FCFA/kg \* 120 kg = 10 185,6 FCFA, soit 2 546,5 FCFA/opérateurs.

**Le salaire journalier d’un opérateur est donc de 2 546,5 FCFA, équivalent à 61 117 FCFA/mois.**

Avec ce salaire on se trouve dans la fourchette des salaires moyens bruts de 2005 pour des ouvriers spécialisés dans le secteur de l’agriculture (entre 42 415 et 59 166 FCFA/mois)<sup>2</sup>. On peut aussi le comparer avec le Salaire Minimum Interprofessionnel Garanti (SMIG) et le Salaire Minimum Agricole Garanti (SMAG) :

SMIG mensuel : 36 243,3 FCFA / mois

SMAG mensuel : 31 710,7 FCFA / mois

### **Améliorations possibles à apporter à la structure**

- Le liant utilisé pour l’agglomération est l’argile disponible localement ; cependant en fonction des situations et des disponibilités d’approvisionnement on peut envisager l’utilisation de rebut de farine, la qualité du Biocharbon ainsi produit en sera améliorée, ce qui peut permettre d’étendre le marché potentiel vers des utilisateurs plus exigeants et rendre le Biocharbon plus apte au transport.
- Cette structure est très malléable et adaptable aux conditions du milieu (saisonnalité pour la carbonisation, les travaux des champs etc..). Elle peut aussi facilement étendre son activité au augmentant le nombre de machine et les ressources humaines associées en mécanisant le processus (en particulier l’agglomération) si le marché se développe.

### **Risques associés au développement de l’activité**

- Une main d’œuvre en général jeune peut sans doute être employée pour les tâches difficiles (coupe du Typha, défournement, briquetage) comme il se pratique régulièrement dans les villages de la vallée. Cette main d’œuvre ne sera pas comptabilisée de manière formelle dans le fonctionnement de l’Unité de carbonisation entraînant une distorsion sur le coût réel du Biocharbon. Un suivi de cette activité doit être effectué pour s’assurer de ses répercussions.
- Certaines tâches du fonctionnement de l’Unité doivent être considérées comme des **activités à « risque »** : mise en contact avec la bilharziose<sup>3</sup> lors de la coupe du Typha,

<sup>2</sup> [www.izf.net](http://www.izf.net)

<sup>3</sup> Bilharziose : maladie parasitaire se propageant par l’intermédiaire d’un mollusque hôte présent dans les zones d’eau stagnante et riches en végétaux (caractéristiques des peuplements de Typha)

respiration de fines de charbon lors du défournement. Des mesures de protection doivent être prises, exemples : masques anti-poussière pour le défournement. Malheureusement contre la bilharziose il n'existe aujourd'hui pas de protection continue (un candidat-vaccin devrait bientôt entrer en phase 3 de validation) : il existe un médicament très efficace qui soigne la maladie mais n'empêche pas les réinfections ; de plus l'utilisation continue de bottes peut entraîner d'autres maladies (dermatoses etc...). Un accompagnement et un suivi sanitaire doivent être effectués.

### Scénario N°2

Ce scénario reprend les bases du scénario N°1 mais dans ce cas seulement une personne se charge de réaliser toutes les opérations (coupe, carbonisation, agglomération et vente) ; la production en Biocharbon est par conséquent plus faible.

- **un carbonisateur « 3 fûts »,**
- **un agglomérateur de type « Rotor Press » manuel,**
- **une aire de séchage simple,**
- **le liant utilisé est l'argile disponible localement,**
- **elle occupe quotidiennement 1 personne,**
- **elle produit quotidiennement 30 kg de briquettes de Biocharbon**

L'investissement nécessaire au fonctionnement de l'unité comprenant 1 carbonisateur, 1 agglomérateur type « Rotor Press » manuel et du petit matériel ainsi qu'une installation simple de séchage est de 150 000 FCFA. L'amortissement annuel correspondant est de 66 667 FCFA.

La journée de travail organisée suivant le tableau ci-dessous représente 7h30 de travail continu auxquelles il faut ajouter 1 heure pour le transport. Cette journée permet à l'opérateur de produire et vendre 30 kg de Biocharbon. Avec un prix de vente considéré comme maximum de 100 FCFA/kg (coût équivalent en charbon de bois pour les ménages = 120 FCFA/kg), il permet à l'opérateur de générer un chiffre d'affaire journalier de 3 000 FCFA.

En considérant, un nombre effectif de 24 journées travaillées par mois et une période optimale de travail de 8 mois, compte tenu des contraintes techniques liées au séchage de la matière première et du Biocharbon, l'opérateur peut générer un chiffre d'affaire de 576 000 FCFA.

En retirant la part réservée à l'amortissement, **le revenu journalier de l'opérateur s'élève à 2 613,7 FCFA** soit un revenu mensuel de 62 729 FCFA (ou 41 819 FCFA sur une base de 12 mois).

**Organisation journalière**

**Tableau 13 : Une journée de travail type / Scénario N°2**

			<b>Opérateur</b>	
De	08:00	à	08:30	Transport sur Site
De	08:30	à	09:00	Défournement C 1&2, chargement C 1&2 et première carbonisation pour C 1&2
De	09:00	à	09:30	
De	09:30	à	10:00	
De	10:00	à	10:30	Coupe Typha : 2 heures de temps, 40 m <sup>2</sup> récolté, 400 kg matière fraîche, 120 kg matière sèche (MS)
De	10:30	à	11:00	
De	11:00	à	11:30	
De	11:30	à	12:00	Défournement C 1&2, chargement C 1&2 et deuxième carbonisation pour C 1&2
De	12:00	à	12:30	
De	12:30	à	13:00	
De	13:00	à	13:30	Ramassage de 5 kg d'argile
De	14:00	à	14:30	Transport Retour avec 27 kg de charbon de Typha et 5 kg d'argile
De	14:30	à	15:00	PAUSE MIDI
De	15:00	à	15:30	
De	15:30	à	16:00	
De	16:00	à	16:30	Agglomération / mise en séchage / vente : 2 heures de temps, 30 kg de briquettes (équivalent sec) de Biocharbon agglomérées
De	16:30	à	17:00	
De	17:00	à	17:30	
De	17:30	à	18:00	

**Risque :**

La quantité de travail présentée par cette proposition est très importante, or le revenu journalier que peut attendre l'opérateur dépend uniquement de sa productivité. Ainsi une période d'inactivité forcée réduit fortement le revenu mensuel, ce qui peut entraîner une faiblesse dans le provisionnement de l'amortissement (qui représente 10 % du chiffre d'affaire optimal). Si la charge de travail est par trop importante, elle risque d'entraîner une désaffectation de l'opérateur ou l'emploi d'une main d'œuvre de remplacement qu'il faudra rémunérer (avec toujours un risque de toucher à la part réserver aux amortissements) et donc de mettre en péril la pérennité économique de la structure.

**Scénario N°3**

- **huit unités de 4 carbonisateurs « 3 fûts » (soit un total de 32 carbonisateurs en fonctionnement),**
- **Une unité d'agglomération de quatre agglomérateurs de type « plateau tournant »,**
- **le liant utilisé est la mélasse achetée à la Compagnie Sucrière Sénégalaise,**
- **elle occupe quotidiennement 16 personnes pour la coupe du Typha, 16 personnes pour la partie carbonisation et 11 personnes pour la partie agglomération/vente, soit un total de 43 personnes.**
- **elle produit quotidiennement 1 200 kg de briquettes de Biocharbon**

**Organisation***Le couple coupeur de Typha/charbonnier vend le charbon produit à l'unité d'agglomération*

Les coupeurs de Typha et les charbonniers fonctionnent ensemble, c'est-à-dire qu'une unité de carbonisation comporte 2 coupeurs et 2 charbonniers. Dans ce cas, les rôles sont interchangeables. En 4 h par jour, les coupeurs peuvent approvisionner en matière première les 4 carbonisateurs opérés par les deux charbonniers. La production journalière de charbon de Typha est ainsi d'environ 110 kg (2 fournées par jour pour chaque carbonisateur).

L'investissement nécessaire au fonctionnement d'une unité (coupe de Typha et carbonisation) est de 225 000 FCFA (dont 4 carbonisateurs à 60 000 FCFA l'unité). L'amortissement annuel correspondant est de 130 000 FCFA.

En considérant, un nombre effectif de 24 journées travaillées par mois et une période optimale de travail de 8 mois, compte tenu des contraintes techniques liées au séchage de la matière première, l'unité peut produire annuellement environ 21 tonnes de charbon de Typha.

En tenant compte de la part réservée à l'amortissement et afin de s'assurer **un revenu journalier par opérateur de 2 500 FCFA sur 8 mois** (soit un revenu mensuel de 60 000 FCFA), l'unité doit vendre le charbon de Typha produit à l'unité d'agglomération à un prix minimum de 100 FCFA/kg (transport non compris).

*L'unité d'agglomération s'approvisionne auprès de 8 unités de carbonisation*

**L'investissement nécessaire au fonctionnement de l'unité est de 7 400 000 FCFA** et est détaillé dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 14 : Détails de l'investissement en équipements / Scénario N°3**

Rubrique	Quantité	PU (FCFA)	PT (FCFA)	Durée de vie (année)	Amortissement (FCFA)
Agglomérateurs	4	1 500 000	6 000 000	10	600 000
Moulin	1	500 000	500 000	10	50 000
Installation de séchage	1	500 000	500 000	3	166 667
Divers	1	400 000	400 000	2	200 000
<b>Total investissement :</b>			<b>7 400 000</b>	<b>Total amortissement :</b>	<b>1 016 667</b>

**L'unité d'agglomération emploie 11 personnes.** La grille salariale est présentée dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 15 : Charge en personnel (FCFA) / Scénario N°3**

	Nombre d'employé	Salaires mensuel/personne	Charge mensuelle
Gestionnaire	1	100 000	100 000
Gardien	2	50 000	100 000
Opérateur agglomérateur	4	60 000	240 000
Opérateur moulin	1	60 000	60 000
Ouvrier	3	50 000	150 000
<b>Total</b>	<b>11</b>		<b>650 000</b>

En considérant, un nombre effectif de 24 journées travaillées par mois et une période optimale de travail de 8 mois, compte tenu des contraintes techniques liées au séchage du Biocharbon et de l'approvisionnement en charbon de Typha, l'unité peut produire annuellement environ 230 tonnes de Biocharbon.

**Tableau 16 : Structure des coûts de production du Biocharbon / Scénario N°3**

<b>Coût de production</b>			
Rubrique	Quantité	PU (FCFA)	PT (FCFA)
<b>Coûts indirects</b>			
Personnel	8	650 000	5 200 000
Amortissement	1	1 016 667	1 016 667
Maintenance (5% investissement)	0,05	7 400 000	370 000
Coûts administratifs	1	500 000	500 000
<i>Sous total 1</i>			7 086 667
<b>Coûts directs</b>			
Achat de charbon de Typha	153 600	100	15 360 000
Transport du charbon de Typha	153 600	10	1 536 000
Mélasse	76 800	50	3 840 000
Electricité (kWh)	3 456	250	864 000
Sacs emballages	230 400	4	921 600
<i>Sous total 2</i>			22 521 600
<b>Coût total de production</b>			<b>29 608 267</b>

**Les coûts de production (environ 30 millions de FCFA) sont couverts si le Biocharbon produit (environ 230 tonnes) est vendu au prix minimum de 130 FCFA/kg (coût équivalent en charbon de bois pour les ménages = 156 FCFA/kg).**

Si à ce prix des marges supplémentaires (actionnaires, transporteurs, distributeurs...) doivent être appliquées, le prix proposé au consommateur n'est plus concurrentiel avec le charbon de bois.

Risques :

- Afin d'assurer l'approvisionnement matières premières (charbon de Typha et mélasse) de l'unité d'agglomération des contrats doivent être passés avec les différents fournisseurs : unités de carbonisation pour le charbon de Typha et CSS pour la mélasse.
- L'approvisionnement en mélasse présente un risque quant à sa disponibilité et à une majoration du prix d'achat, lié à la concurrence que représente son utilisation pour la fabrication d'éthanol et/ou l'alimentation animale.
- L'écoulement de 230 tonnes de charbon annuelle nécessite la présence d'un marché suffisamment important à proximité du lieu de production. Dans le cas contraire une marge supplémentaire doit être appliquée au coût de production du charbon prenant en compte les coûts liés au transport et à la distribution sur le nouveau marché. Le prix final proposé est ainsi plus élevé réduisant le bénéfice concurrentiel.

**Option retenue : le scénario N°1**

Le scénario N°3 ne présente pas une rentabilité suffisante pour permettre la pérennisation de l'activité d'une Unité de production de Biocharbon à partir du Typha au contraire des scénarios N°1 et N°2 qui présentent des rémunérations intéressantes pour le milieu rural : environ 2 500 FCFA/jour et par opérateur.

Bien que le scénario N°2 présente une rémunération équivalente au scénario N°1 pour les opérateurs, les risques liés au fait qu'une unique personne est en charge de toutes les activités sont trop importants. En cas d'accident, de retard ou de réparation sur le matériel, c'est toute l'activité qui est paralysée empêchant ainsi toute rémunération. La structure à 4 opérateurs dans le scénario N°1 permet de se détacher de ces risques en répartissant la charge de travail.

<p style="text-align: center;"><b>Conclusion</b></p>
------------------------------------------------------

Cette étude montre la pertinence de la stratégie de valorisation du *Typha australis* en Biocharbon dans un contexte où les combustibles domestiques deviennent rares et chers. Le scénario optimum identifié s'applique au milieu rural où les contraintes d'approvisionnement en combustibles domestiques sont les plus fortes. L'objectif à présent est de vérifier la réalité de ce scénario en développant une Unité Pilote fonctionnelle « grandeur nature » avant d'engager des actions de vulgarisation sur la base de cette expérience. Les difficultés auxquelles fait face le secteur aujourd'hui incitent à la mise en place rapide de ces expériences, qui s'étendront très rapidement en cas de réussite, réalisant ainsi un des objectifs du PERACOD pour l'amélioration de l'accès de la population rurale aux combustibles domestiques.

