

Comparaison des rendements de production de charbon de bois entre la meule traditionnelle et la meule Casamance dans la forêt communautaire de Sambandé



Philip MUNDHENK (consultant principal)
Ousmane GOMIS (consultant associé)
Mame Coumba SY (assistante)

Août 2010

Du

Ministère en charge
de l'Énergie

Appuyé par

Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development

À travers
gtz

En partenariat avec

Ministère de l'Environnement,
de la Protection de la Nature,
des Bassins de Rétention
et des Lacs Artificiels


AGENCE SÉNÉGALAISE
D'ÉLECTRIFICATION RURALE

Résumé

Nous avons comparé le rendement pondéral (R) de six meules de types différentes (deux meules Casamance, deux meules Casamance-Sambandé [une meule casamançaise modifiée] et deux meules traditionnelles) dans la forêt communautaire de Sambandé, région de Kaolack, Sénégal.

En moyenne, le rendement massique de la meule Casamance sur bois anhydre a été 37%, celui de la meule Casamance-Sambandé 39% et celui de la meule traditionnelle 27%. C'est-à-dire que le rendement de meules améliorées est en moyenne supérieur de 29% par rapport à celui de la meule traditionnelle. Contrairement à des résultats d'autres études, les meules améliorées de notre étude ont produit plus d'incuits comparé avec la meule traditionnelle (meules améliorées : 764 kg ; meule traditionnelle : 540 kg).

En plus, le temps de carbonisation n'était pas inférieur avec les meules améliorées, notamment la meule Casamance-Sambandé. Comme les conditions différentes du vent durant la collecte des données ont influencé fortement le processus de carbonisation, les résultats des temps de carbonisation ne peuvent pas être généralisés.

Les résultats clés de l'étude :

- Les rendements sur bois anhydre de toutes les meules étudiées sont supérieurs à ceux cités dans la littérature.
- Le rendement des meules améliorées (37%) est supérieur à celui des meules traditionnelles (27%).
- Contrairement à des informations citées dans la littérature, les meules améliorées ont produit plus d'incuits que les meules traditionnelles.
- Avec un stère de bois vert on (en moyenne 497 kg) on obtient 102 kg de charbon du bois avec la meule Casamance et 74 kg avec la meule traditionnelle.
- La production d'un quintal de charbon de bois avec la meule Casamance nécessite environ 0,98 stères de bois vert (meule traditionnelle 1,35 stères).

Table de matières

Résumé	i
Table de matières	ii
Liste des tableaux	iii
Liste des figures	iii
1 Introduction	4
1.1 Contexte	4
1.2 L'objectif.....	5
2 Méthodologie.....	6
2.1 Les processus.....	6
2.2 La construction des meules.....	7
2.2.1 <i>La meule traditionnelle</i>	7
2.2.2 <i>La meule Casamance</i>	7
2.2.3 <i>La meule « Casamance-Samandé »</i>	8
2.3 Présentation de la zone d'étude	9
2.4 Enregistrement des données et méthodes d'analyse	10
3 Résultats	13
3.1 Intrans.....	13
3.2 Flux sortants.....	15
3.3 Comparaison des rendements des meules.....	15
3.4 La durée de carbonisation.....	18
4 Conclusions et recommandations	19
6 Bibliographie.....	20
Annexe - Photos.....	I

Liste des tableaux

Tableau 1	Le rendement de la meule Casamance par rapport de la littérature.....	4
Tableau 2	Valeurs moyennes pour les classes différentes de diamètres du bois pour une meule à Sambandé.	13
Tableau 3	Valeurs moyennes du bois pour chaque meule à Sambandé.....	14
Tableau 4	Masse du bois enfourné et masse anhydre de bois pour les six meules.	14
Tableau 5	Flux sortants des meules à Sambandé.....	15
Tableau 6	Flux sortants et valeurs de rendement pour les six meules à Sambandé.	16
Tableau 7	Valeurs moyennes des flux sortants et des rendements pour les types différents des meules à Sambandé.....	16
Tableau 8	Le rendement pondérale pour un stère de 500 kg du bois enfourné	17
Tableau 9	Temps de carbonisation, refroidissement et défournage des meules à Sambandé.	18
Tableau 10	Temps de carbonisation pour chaque type de meule à Sambandé.	18

Liste des figures

Figure 1	La situation de la forêt communautaire de Sambandé au Sénégal.....	9
Figure 2	Comparaisons du rendement sur bois anhydre (pondéral) et du rendement 'humide'.	12

1 Introduction

1.1 Contexte

Les combustibles ligneux représentent plus de 45 % de la consommation totale d'énergie au Sénégal. En plus, il constitue 84 % de la consommation en énergie des ménages (Ehemba, 2009). En particulier dans les centres urbains, le charbon de bois constitue la forme d'énergie de bois la plus commune.

Habituellement, le charbon de bois est produit avec les techniques traditionnelles dans les zones non aménagées, même si l'article R55 du Code Forestier du Sénégal précise que « utilisation de la meule Casamance et de toute autre technologie réputée plus efficiente, est obligatoire ».

Dans la forêt communautaire de Sambandé la carbonisation se fait avec la meule Casamance. Il est supposé que cette meule Casamance a de nombreux avantages par rapport à la meule traditionnelle, notamment : un meilleur rendement et une durée de carbonisation plus courte. Pourtant, les exploitants traditionnels affirmaient le contraire.

Pour apporter les clarifications sur ce débat, le PERACOD (« Programme pour la promotion des énergies renouvelables, de l'électrification rurale et de l'approvisionnement durable en combustibles domestiques ») a proposé d'effectuer une étude comparative entre les deux différents types de meules. Par ailleurs, les résultats d'une telle étude peuvent être utilisés pour réajuster les prévisions des plans d'aménagement, qui sous-entendent 35 % de rendement pondéral pour la meule Casamance.

Tableau 1 *Le rendement de la meule Casamance par rapport de la littérature.*

Auteur	Rendement (%)	Espèce	Rendement sur bois anhydre	Remarqués
République du Sénégal, Institut Sénégalaise des Recherches Agricoles, VRIJE Universiteit Amsterdam, CLISS: IMPACTS DES INVESTISSEMENTS DANS LA GESTION DES RESSOURCES AU SENEGAL : SYNTHÈSE DES ETUDES DE CAS, 2008 (CLISS, 2008)	30 - 35	non	?	Données sans source
Brahima COULIBALY et Jocelyn LESSARD: Expérimentations de production de charbon de bois commercial à partir des produits d'éclaircies de plantations de Teck dans la forêt de la TENE, Séminaire FORAFRI de Libreville - Session 3 : produits de la forêt (Coulibaly & Lessard, 2006)	15	Teck	oui	Propre source

Mame Cor SENE (BANQUE MONDIALE, Dakar): ETUDE SUR LA FILIERE CHARBON DE BOIS AU SENEGAL, 2008 (Sene, 2008)	30 - 35	non	oui	Données sans source
Hugues DUCENNE: L'AMELIORATION DE LA CARBONISATION DANS LES ZONES D'INTERVENTIONS DE L'AGENCE ENERGIE DOMESTIQUE ENVIRONNEMENT, 2001 (Hugues, 2001)	25 - 30	non	oui	Données sans source
MINISTERE DE L'ENERGIE ET DES MINES (DIRECTION DE L'ENERGIE), PROGRAMME REGIONAL DE PROMOTION DES ENERGIES DOMESTIQUES ET ALTERNATIVES AU SAHEL (PREDAS): Atelier régional de capitalisation de l'expérience sahéenne en matière de carbonisation et aggro briquetage au sahel, 2004 (PREDAS, 2004)	20 - 40	non	oui	Données sans source
The World Bank: Review of Improved Stove and Fuel Substitution Project, 1994 (The World Bank, 1994)	31	non	?	Données sans source

1.2 L'objectif

L'objectif de cette étude est d'évaluer le rendement pondéral de charbon en fonction des différentes techniques de carbonisation dans le contexte de la carbonisation de l'*Acacia seyal* (*surur en Wolof*), espèce dominante dans la forêt communautaire de Sambandé (Bassin Arachidier). Il s'agit de la meule traditionnelle, la meule Casamance et la meule Casamance-Sambandé, une variante de la meule casamançaise avec une cheminée modifiée utilisée à Sambandé.

En même temps, les prescriptions du plan d'aménagement de la forêt communautaire de Sambandé qui sous-entend 35 % de rendement pondéral pour la meule Casamance, seront vérifiées. L'étude vise également à apporter des corrections sur les prévisions du plan d'aménagement pour les années 2008 et 2009 et faire des prévisions plus raisonnables de la production de charbon et des recettes pour les années à venir.

2 Méthodologie

2.1 Les processus

Pour la production du charbon de bois, la technique de la meule est largement pratiquée dans les pays en développement. La carbonisation, le processus principal de la production de charbon, consiste à chauffer le bois jusqu'à sa décomposition partielle en atmosphère confinée. Durant ce processus, on considère quatre phases (Ducenne, 2002) :

- **1^{ère} phase : L'allumage (préchauffage) :**

L'allumage de la charge s'effectue avec du petit bois, des brindilles ou des braises généralement placées au centre. Ensuite on ferme le puits d'allumage.

- **2^{ème} phase : la déshydratation :**

Le feu se développe rapidement au centre de la charge. La température de celle-ci commence à monter pour retomber dès que l'eau contenue dans le bois se vaporise et s'échappe sous forme de fumée blanche en grande quantité. La durée de cette phase est fonction de l'humidité du bois.

- **3^{ème} phase : la phase exothermique :**

Une fois l'eau éliminée la température monte jusqu'à 600 ° C et porte le bois à la température de carbonisation. A la fin de ce stade, la diminution et le changement de couleur de fumée signale la fin de la carbonisation.

- **4^{ème} phase : refroidissement ou extinction :**

Quand la troisième phase est terminée on laisse refroidir la charge. Ensuite on extrait le charbon du bois.

Ces phases sont peut ou prou la même chose pour chaque type de meule. Cependant, la structure et la manière de construction diffère entre les types différentes. En chapitre 2.2, nous allons décrire les processus de construction pour ce type de meule étudiée dans notre étude.

Le rendement d'une meule est conditionnée par un certain nombre des facteurs, entre autres : humidité du bois ; dimensions des pièces de bois ; dimension de la meule ; essence de bois entré dans la meule ; conditions climatique (comme l'humidité de l'air, vent, etc.) (Schenkel, Bertaux, Vanwijnsberghe, & José, 1997).

2.2 La construction des meules

2.2.1 La meule traditionnelle

La meule traditionnelle est utilisée depuis des siècles à travers le monde. Les techniques de montage ont évoluées considérablement d'un milieu à un autre ; dans le but d'améliorer la productivité et le rendement de méthode de production.

1. Le lieu de l'emplacement de la meule est nettoyé.
2. Un trou de 40 cm de diamètre et 30 cm de profondeur est creusé au centre du cercle où la meule sera montée.
3. Un fagot de petits bois de même diamètre est placé à l'intérieure du trou en position verticale. Ce fagot de petits bois constitue le point central d'allumage de la meule.
4. A partir du fagot de bois, on charge la meule avec le gros bois tout de fagot en position verticale. Tout le gros bois doit être au centre de la meule.
5. Après le gros bois, le bois moyen est chargé en position oblique et horizontale. Le point central d'allumage est matérialisé par un bâton placé au centre du fagot. Le diamètre du bâton est de 10 à 12 cm. Le bois placé en position horizontale part du point d'allumage vers l'extérieur de la meule.
6. Les dernières billes moyennes sont placées de façon à donner une forme conique de la meule.
7. Le petit bois couvre la meule du centre de la meule vers l'extérieur en donnant définitivement la forme de la meule. La base de la meule est bien fournie par le petit bois.
8. Une couche de paille de 5 cm d'épaisseur couvre la meule.
9. Le bâton qui a matérialisé le point central d'allumage est dégagé et les brindilles y sont introduites pour l'allumage de la meule.
10. La meule est couverte d'une couche de terre de 5 cm d'épaisseur. La base de la meule n'est pas totalement couverte de terre.

2.2.2 La meule Casamance

La meule Casamance est une meule de type traditionnelle modifiée. Ce type de meule a été monté pour la première fois en Casamance pendant les années 1979 – 1980 (au projet PNUD-FAO-UNSO-Sénégal 78/002) d'où vient son nom de meule 'Casamance.

La meule Casamance est pourvue d'une cheminée constituée de trois fûts. La cheminée permet un tirage inversé ; c'est à dire que le gaz chaud s'échauffent à travers la meule, les gaz circulent dans la charge du bois, la préchauffent et la déshydratent (phase de déshydrations). Ce phénomène permet une autorégulation et par conséquent l'activité du

foyer est diminuée.

Les gaz redescend ensuite au bas de la meule pour sortir par la cheminée ; c'est à partir de ce moment que les sous produits niches en charbon recombinent avec le charbon (teneur en charbon fixe de 80 à 90 %).

Les étapes nécessaires pour la construction de la meule Casamance sont :

1. Nivelier l'emplacement où la meule sera montée.
2. Matérialisation du rayon de la meule qui est déterminé en fonction de volume de bois à enfourné en tenant compte de la nature de bois, de sa forme et de la quotité entre les différentes quantités des diamètres de bois.
3. Construire la base de la meule avec des rondins de 8 à 12 cm de diamètre qui permet la circulation de l'air.
4. Construire le plancher avec une couche de petits bois diffusés transversalement. Le plancher va supporter tout le bois de la meule.
5. Charger la meule avec plusieurs couches de bois depuis le centre vers l'extérieur tout en laissant point central d'allumage. Les différentes couches de bois sont mises en place en fonction du diamètre du bois dont on dispose ; couche de petit bois, après le bois moyen et le gros bois ainsi suite. Le bois est entassé le plus serré possible et les espaces vides sont remplies par des morceaux de bois. On veille à ce que la meule garde la forme parabolique.
6. Les gros diamètres sont placés au milieu de la meule.
7. La meule est habillée à la fin par une forte couche de petits bois, 5 cm d'herbes sèches et une couche de terre de 5 cm. La cheminée est placée de la côte amont si le terrain est en pente dans le but de contrer le vent.
8. Les appels d'air sont aménagés à la base de la meule à tous les 2 m et à 3 mètres de part et d'autre de la cheminée. Les appels d'air régularisent la température à l'intérieure de la meule

2.2.3 La meule « Casamance-Sambandé »

La meule Casamance-Sambandé (dans ce qui suit seulement = Sambandé) est identique à la meule Casamance. La seule différence se situe au niveau de la confection de la cheminée. La cheminée de la meule Sambandé n'a pas des fonds couvercles incurvés, parce que les charbonnières à Sambandé ne collectent pas jusqu'ici les sous produits (soit acides pyroligneux et goudrons). Nous n'avons pas inclus la meule « Casamance-Sambandé » dans la présentation des résultats. En fait il semble que les producteurs de Sambandé et les populations découvrent petit à petit l'importance du goudron surtout dans la lutte contre les termites. Pour pourquoi ils privilégient désormais l'utilisation de la meule Casamance.

2.3 Présentation de la zone d'étude

L'étude a été effectuée dans la forêt communautaire de Sambandé (Communauté Rurale de Keur Baka, département de Kaolack dans la région de Kaolack). La date d'enregistrement des données a été le mois d'Avril 2010.

Les informations pour la zone d'étude sont tirés du rapport : « Document de plan d'aménagement et de gestion de la forêt communautaire de Sambandé » (PERACOD, 2007). Le climat de la région de Kaolack est de type soudano sahélien avec environ 700 mm de pluies moyennes annuelles. La saison sèche s'étend sur sept à neuf mois et les premières pluies espacées surviennent en juin-juillet. Les mois les plus chauds sont le mai (31,15 °C) et l'octobre (28,6 °C) et les mois les moins chauds sont l'août (27,8 °C) et le février (17,68 °C). Le régime hygrométrique atteint son maximum en août (81,45%) et son minimum au mois de février (31,15%). L'évaporation présente un maximum au mois d'avril avec 11,79 mm.

L'étendue de la forêt de Sambandé s'élève à 1045 hectares. L'espèce dominante dans la forêt est l'*Acacia seyal* Del. (96% des tiges totales dans un hectare). En moyenne il y a 867 tiges à l'hectare. Le volume moyen est de 24,319 m³ dont 22,832 m³ pour *Acacia seyal*. Ce volume ne prend pas en compte les tiges dont le diamètre de référence est inférieur à 6 cm.

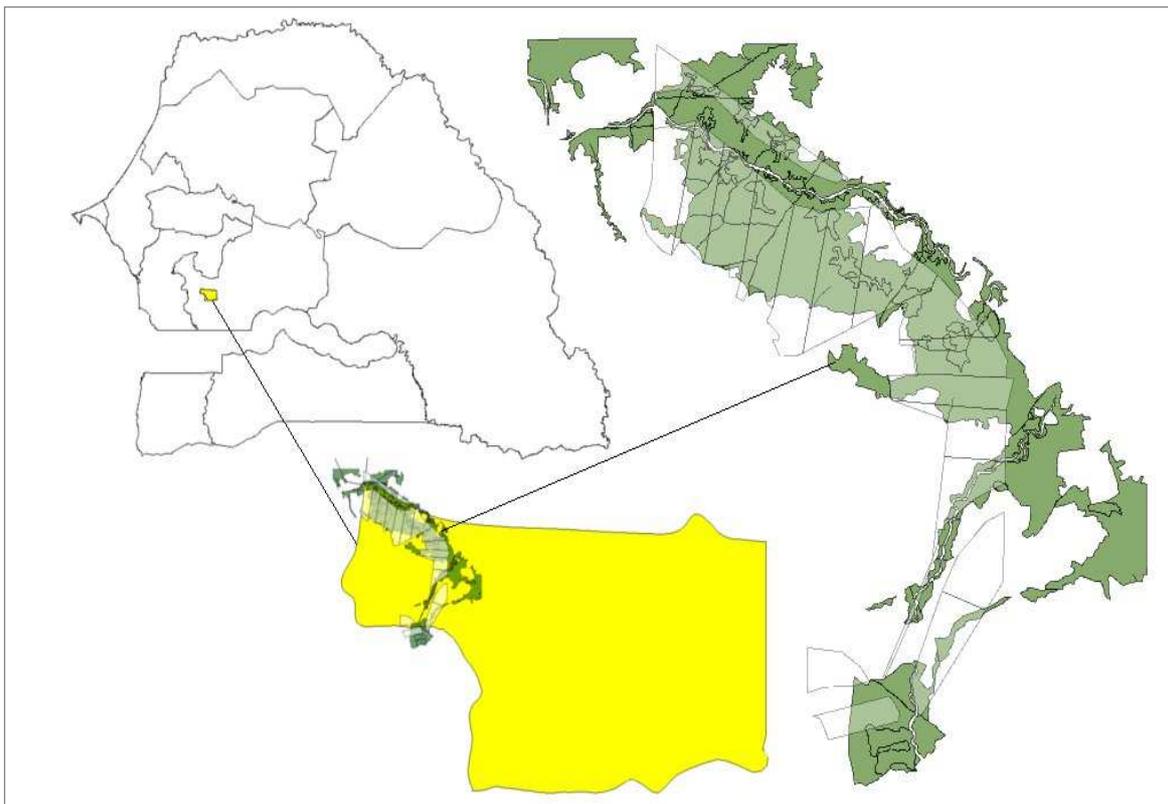


Figure 1 La situation de la forêt communautaire de Sambandé au Sénégal.

2.4 Enregistrement des données et méthodes d'analyse

On a comparé le rendement massique (également connu sous les noms rendement pondéral ou rendement sur bois anhydre) entre les meules, le seul valable pour faire une comparaison rigoureuse (Girard, 1992).

En premier nous avons coupé du bois d'*Acacia seyal* Del. pour six meules (25 stères par meule). Pour le stérage on a divisé le bois en petit diamètre (< 6 cm), moyenne (6 à - 12 cm) et en gros diamètre (>= 12 cm) diamètres. Ensuite, nous avons fait le stérage avec du gros, moyen et petit bois et noté le nombre de stères de bois de chaque classe de diamètre. Par la suite, on a pesé deux stères de chaque classe de diamètre de bois (soit six stère par meule) avec une balance. En outre, nous avons déterminé l'humidité de bois avec un humidimètre.

Comme l'humidité du bois est en relation avec la taille du bois, nous avons sélectionné 10 pièces du bois des classes de diamètre différentes (gros – moyen – petit) pour chaque meule en vue de déterminer l'humidité de part et d'autre et au centre du rondin. Cela a donné 30 mensurations pour chaque classe de diamètre pour chaque meule, 90 mensurations pour chaque meule et 540 mensurations en total. Ensuite, nous avons échafaudé les six meules, à savoir deux meules traditionnelles, deux meules casamançaises et deux meules casamançaise-Sambandé.

Après la carbonisation nous avons mis tout le charbon obtenu dans les sacs de riz, noté le nombre de sacs et pesée l'ensemble du charbon avec la balance. En outre, nous avons pesé la totalité des incuits (fraction du bois non carbonisé).

Pour l'analyse nous avons estimé les différents paramètres clés pour faire la comparaison de rendement, notamment :

- Le poids de la totalité du bois enfourné (PH) de chaque meule avant carbonisation (en kilogramme).
- L'humidité sur brut du bois (H%) de chaque meule avant carbonisation.
- La masse anhydre de bois (PO) pour chaque meule selon la formule suivante :

$$PO = PH * \left(1 - \frac{H\%}{100}\right)$$

- La masse des incuits (I ; en kilogramme).
- La totalité du charbon (PC ; en kilogramme).
- Le rendement pour chaque meule est calculé selon la formule suivante :

$$R = \frac{PC}{PO - I} * 100$$

Pourquoi avons-nous calculé le rendement sur bois anhydre ? La figure suivante explique les connexités. La figure permet de comprendre pourquoi on ne peut pas utiliser le poids hydré du bois (poids initial) pour faire une comparaison des rendements entre les types différents des meules.

Comme on peut le voir dans le Figure 2 il y a deux stères de bois vert. Chaque stère a un poids total de 500 kg [a]. L'humidité des stères est différente. Le premier stère (A) a une humidité de 50%, l'autre stère (B) a une humidité de 30%. C'est-à-dire que la masse du bois anhydre (bois sans eau) qui va entrer dans les meules est différente (poids total minus eau) [b]. Notons que seulement le bois anhydre peut produire le charbon. L'eau va s'évaporer pendant le processus de carbonisation.

Après la carbonisation nous avons obtenu du charbon [c]. Les 250 kg de bois anhydre entré dans la meule A, a produit 75 kg du charbon (B : bois anhydre = 350 kg, charbon produit = 105 kg). C'est-à-dire que le rendement sur bois anhydre est le même pour les deux meules [d], notamment $R = 30\%$. Le rendement 'humide' (calculé à la base du bois vert) est différent, soit meule A = 15 % et meule B = 21 % [e]. La différence ce n'est pas à la cause de l'efficacité de la meule, c'est la cause de la différence d'humidité du bois entré dans les meules. C'est pourquoi nous avons calculé le rendement du bois anhydre. Nous avons éliminé l'influence d'humidité du bois pour faire la comparaison entre les types différents des meules.

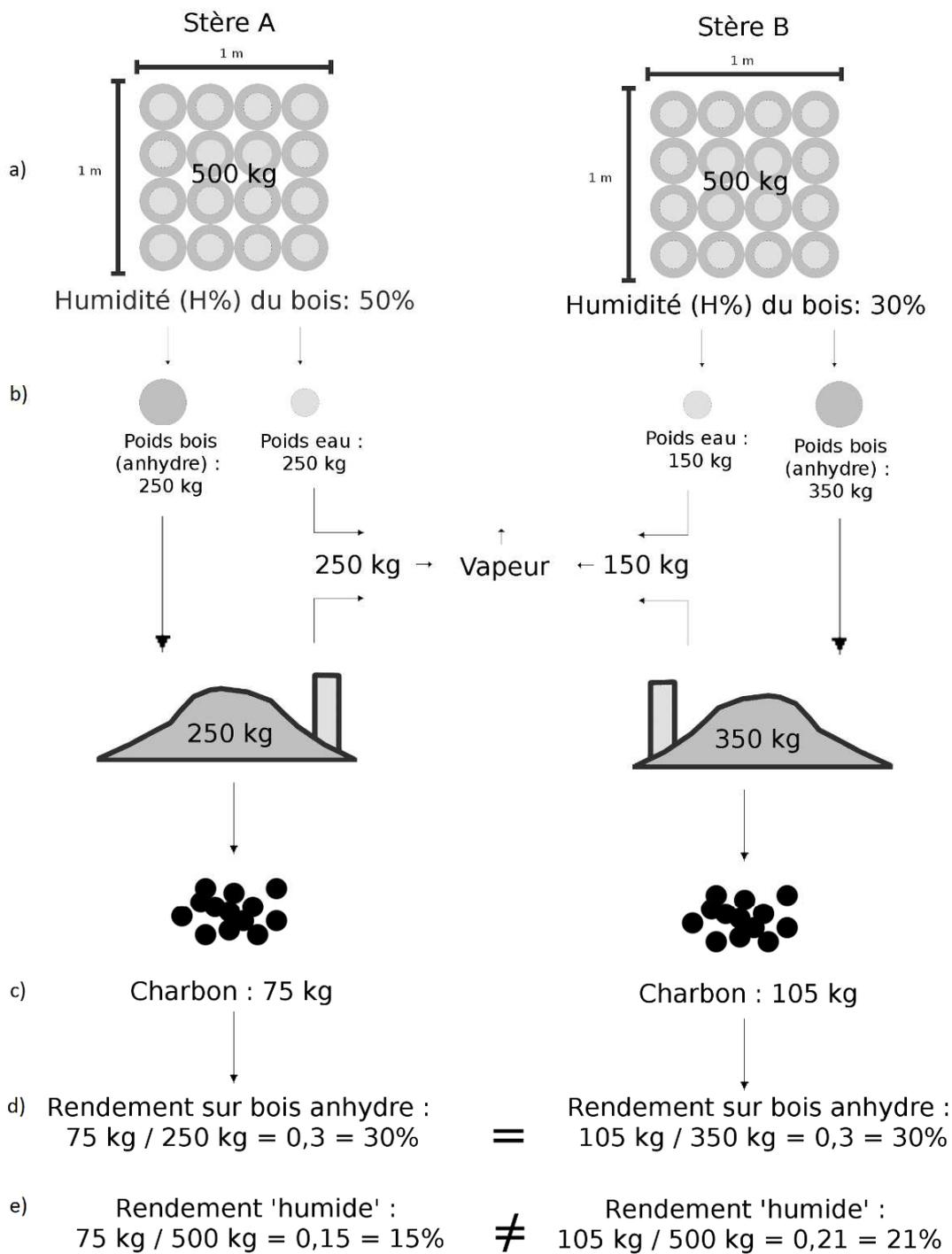


Figure 2 Comparaisons du rendement sur bois anhydre (pondéral) et du rendement 'humide'.

3 Résultats

Comme nous l'avons déjà précisé, seules les meules Casamance et la meule traditionnelle sont concernées par la présentation des résultats.

3.1 Intranant

Le Tableau 2 montre les valeurs moyennes du bois entrant dans les meules. Pour la colonne deux (nombres des stères), se réfèrent à une meule avec 25 stères. Les valeurs sont divisées selon la taille des tiges (bois de grands, moyens et petits diamètres). La masse anhydre d'un stère a été calculée avec la formule présentée dans le chapitre 2.4.

Tableau 2 Valeurs moyennes pour les classes différentes de diamètres du bois pour une meule à Sambandé.

Type de bois	No de stères	PH ^a (en kg)	H% ^b	PO ^c (en kg)
Gros	6,11 (25%)	776	49,21	394
Moyen	8,11 (33%)	567	51,95	272
Petit	10,43 (42%)	276	35,39	178

a : PH = Masse du bois enfourné ;

b : H% = l'humidité sur brut du bois ;

c : PO = Masse anhydre de bois)

En moyenne nous avons :

- un stère de bois de gros diamètre pèse 776,2 kg (min : 638 kg ; max : 863 kg). La masse anhydre de ce stère est 394 kg. Cela suppose que le bois a une humidité de 49.21 % (la valeur moyenne d'humidité des stères de gros bois).
- Un stère avec de moyenne bois a un poids de 567 kg en moyenne (min : 411 kg ; max : 723 kg). Le poids anhydre (H % moyenne du moyenne bois = 51,59) est 272 kg.
- Un stère de petit bois pèse 276 kg (min : 181 kg ; max : 335 kg ; anhydre [H % moyenne de petit bois = 35,39] : 178 kg).

Comme on peut le voir, les valeurs minimums est maximums de poids pour les stères sont très différentes. Par exemple le poids du stère maximum de moyenne bois est plus lourd que la valeur minimum d'un stère avec de gros bois. Cela dépend par-dessus tout de l'humidité du bois.

Le poids moyenne pour un stère mixte, c'est-à-dire un stère avec 42% du petit, 33% moyenne et 25% de gros bois, est 497 kg (PH) et 261 kg (PO). Les valeurs pour les poids anhydre sont calculés avec les valeurs moyennes d'humidité calculé pour chaque dimension

de bois, soit pour le gros bois = 40,21 %, moyenne = 51,59 % et petit = 35,39 %. Les poids des stères mixtes sont calculés selon les formules suivantes :

$$\text{Poids d'un stère mixte (vert)} = (0,25 * 776 \text{ kg}) + (0,33 * 567 \text{ kg}) + (0,42 * 276 \text{ kg})$$

$$\begin{aligned} \text{Poids d'un stère mixte (anhydre)} = & (0,25 * 776 \text{ kg} * (1 - 0,4921)) + \\ & (0,33 * 567 \text{ kg} * (1 - 0,5159)) + (0,42 * 276 \text{ kg} * (1 - 0,3539)) \end{aligned}$$

Les valeurs individuelles par meule figurent dans les Tableau 3 et Tableau 4.

Tableau 3 Valeurs moyennes du bois pour chaque meule à Sambandé.

Meule	Type de meule	Stères			PH (en kg)			H%		
		gros	moyen	petit	gros	moyen	petit	gros	moyen	petit
1	Casamance	8,68	6,5	9	719	476	269	59,5	59,3	32,6
2	Casamance	6,01	11,77	7,24	863	602	262	48,1	54,5	39,1
3	Traditionnelle	3,99	6,34	14,67	811	598	335	39,8	49,7	38,0
4	Traditionnelle	7,5	8,5	9	790	490	310	57,5	45,3	31,3

Tableau 4 Masse du bois enfourné et masse anhydre de bois pour les six meules.

Meule	Type meule	PH total (en kg)	PO total (en kg)
1	Casamance	11419,13	5285,14
2	Casamance	13738,45	6865,01
3	Traditionnelle	11443,91	6568,43
4	Traditionnelle	13124,75	6846,37

Comme on peut le voir dans le Tableau 4, les valeurs de la masse totale (hydre et anhydre) fluctuent considérablement entre les meules, même si toutes les meules ont le même nombre de stères (soit 25). Cette situation s'explique par deux raisons principales : les quotes-parts différentes du gros bois, moyenne et petit par meule et, comme nous avons déjà expliqué, la variation de l'humidité du bois.

Notons que pour faire une comparaison rigoureuse entre les différents types de meules, il fallait mettre tout le bois dans les mêmes conditions de coupe et de séchage. Pour des raisons pratiques, il n'était pas possible de garantir ces conditions dans cette étude.

3.2 Flux sortants

Le Tableau 5 montre les flux sortants pour chaque meule. Le tableau indique le type de meule, le nombre de sacs produits, la masse moyenne des sacs par meule, la masse des incuits et la masse totale du charbon produit.

Tableau 5 Flux sortants des meules à Sambandé.

Meule	Type	No sacs	Poids moyenne des sacs (en kg)	Masse incuits (en kg)	Masse total du charbon (en kg)
1	Casamance	36	53,94	860	1942
2	Casamance	44	50,30	614	2213
3	Traditionnelle	37	53,24	400	1970
4	Traditionnelle	30	50,63	679	1519

En moyenne, un sac de charbon pèse 52 kilogramme (min : 46 kg ; max : 59 kg). Il n’y a pas une différence entre le poids des sacs des meules de différents types. Il faut noter qu’on ne peut pas comparer les valeurs du Tableau 5 pour déterminer le type de meule le plus efficiente (regardez Image 2 pour l'explication).

3.3 Comparaison des rendements des meules

Le Tableau 6 liste les valeurs qui sont nécessaires pour comparer le rendement entre les six meules. Nous avons incluse le rendement calculé avec la masse du bois enfourné, bien que le rendement massique (soit masse anhydre) est à préférer à tout autre estimations de rendement pondéral. Les valeurs dans la dernière colonne sont les valeurs les plus importantes pour la comparaison. Elles sont calculées selon la formule décrite au chapitre 2.4.

La lecture du Tableau 6 ci-dessus montre que les rendements sont relativement élevés par rapport aux résultats d’autres études (résultats normalement cités : meule Casamance 30–35% ; meule traditionnelle 15–17%). Il y a des rapports qui indiquent des rendements jusqu’à 45% (Robinson, 1988) mais ce sont des exceptions.

Le Tableau 7 montre les valeurs moyennes pour chaque type de meule. Le premier constat qui ressort du Tableau 7 est que la meule traditionnelle a un rendement inférieur à la meule Casamance. Néanmoins, le rendement fluctue considérablement, entre les meules de même type. Pour la meule 4 (traditionnelle ; voir Tableau 6), par exemple, on a calculé un rendement de 23,16 %, et pour la meule 3 (traditionnelle aussi) un rendement de 31,13%. Ça fait une différence de rendement de 26 % pour deux meules de même type.

La différence de rendement entre la meule Casamance et la meule traditionnelle est 26%. Il

faut noter que la valeur est calculée en prenant les moyennes.

Comme nous l'avons déjà dit dans le chapitre 2, l'humidité de bois influence fortement le rendement. Les valeurs d'humidité sont les plus basses pour les meules traditionnelles. Ça suggère que les différences des rendements entre les meules traditionnelles est les meules Casamance seraient encore plus important.

Tableau 6 Flux sortants et valeurs de rendement pour les six meules à Sambandé.

Meule	Charbon produit (en kg)	Intrant			Rendement en %		
		Masse total enfourné (en kg)	Masse total anhydre (en kg)	Masse anhydre mois masse incuits (en kg)	Masse enfourné	Masse anhydre	Masse anhydre mois incuits
1c ^a	1942	11419,13	5285,14	4425,14	17,01	36,74	39,34
2c	2213	13738,45	6865,01	6251,01	16,11	32,24	33,81
3t	1970	11443,91	6568,43	6168,43	17,21	29,99	31,13
4t	1519	13124,75	6846,37	6167,37	11,57	22,19	23,16

a : c=Casamance, t=traditionnelle.

Tableau 7 Valeurs moyennes des flux sortants et des rendements pour les types différents des meules à Sambandé.

Type de meule	Charbon produit (en kg)	Intrant			Rendement (en %)		
		Masse total enfourné (en kg)	Masse total anhydre (en kg)	Masse anhydre mois masse incuits (en kg)	Masse enfourné	Masse anhydre	Masse anhydre mois incuits
Casamance	2077,50	12578,79	6075,08	5338,08	16,56	34,49	36,57
Traditionnelle	1744,50	12284,33	6707,40	6167,9	14,39	26,09	27,15

NB : on ne peut pas calculer les valeurs des colonnes 6-8 au base des colonnes 2-5, parce-que tous les valeurs des le tableau celui-ci sont calculés au base du Tableau 6.

Le deuxième constat qui ressort du Tableau 7 est une différence de la masse des incuits produit entre les types des meules. La meule traditionnelle a produit le moins d'incuits (en moyenne 539 kg). Par contre, les meules Casamance ont produit beaucoup d'incuits (737 kg). Ceci est en contradiction avec les résultats qui peut être trouvés dans la littérature. Il est supposé que la meule Casamance réduit fortement la proportion des incuits, grâce à une carbonisation plus régulière et uniforme. Il est difficile d'expliquer pourquoi les meules casamançaises ont produit plus des incuits que la meule traditionnelle dans cette étude. Une explication probable c'est l'influence du vent. Les charbonniers qui ont piloté les meules avec beaucoup d'incuits ont rencontré des problèmes de vent ce qui a probablement empêché une carbonisation uniforme.

Le Tableau 8 suivant résume les résultats pour un stère de 500 kg du bois enfourné (H% = 30% et 45%) et un quintal (soit 100 kg) du bois vert (H% = 30 et 45%). Pour le calcul on a assumé qu'il n'y pas des incuits.

Tableau 8 *Le rendement pondérale pour un stère de 500 kg du bois enfourné (Humidité du bois [H%] = 30% et 45%) et 100 kg (H% = 30% et 45%) pour le deux types des meules. Les valeurs sont galbées.*

Type de meule	Rendement masse anhydre = R (en %)	Masse total enfourné (en kg)	H% du bois	Masse anhydre (en kg)	Masse charbon (en kg)
Casamance	37	500	30	350	130
			45	275	102
		100 (= Quintal)	30	70	26
			45	55	20
Traditionnelle	27	500	30	350	95
			45	275	74
		100	30	70	19
			45	55	15

Le Tableau 8 montre qu'avec 500 kg de bois vert (soit un stère) on obtient 102 kg du charbon quand l'humidité du bois est H% = 45% (H% = 30 % > 1302 kg du charbon) avec la meule Casamance (rendement (R) = 37%). Avec un quintal de bois vert on obtient 20 kg, et 26 kg de charbon respectivement. Avec 500 kg de bois vert la meule traditionnelle produit 74 kg de charbon (H% = 45%, R = 27%), et 95 kg (H% = 30%) respectivement. Un quintal de bois vert produit 15 kg de charbon (H% = 45%), et 19 kg (H% = 30%) avec la meule traditionnelle.

Pour la production d'un quintal de charbon on doit carboniser 491 kg de bois vert (meule

Casamance, R = 37%, H% = 45%). Pour produire un sac de 50 kg de charbon on doit carboniser 245.5 kg de bois vert. C'est-à-dire que la production d'un quintal de charbon de bois nécessite environ 0,98 stères de bois vert. Par contre pour produire un quintal de charbon avec la meule traditionnelle on a besoin de 1,35 stère de bois vert.

3.4 La durée de carbonisation

Le Tableau 9 illustre la durée des étapes pour la production de charbon.

Généralement, la littérature indique que la durée de carbonisation est réduite avec la meule casamançaise par rapport à la meule traditionnelle. Cela pouvait être confirmé par cette étude.

Malheureusement, les conditions de vent ne permettent pas de faire une comparaison des temps de carbonisation, refroidissement et défournage entre les meules différentes, parce que le vent influence la durée de ces processus.

Tableau 9 *Temps de carbonisation, refroidissement et défournage des meules à Sambandé.*

Meule	Type meule	Dates et heures d'Allumage	Dates et heure de Refroidissement	Temps Carbonisation heures	Jours défournage
meule1	Casamance	03.04.10 17:00	07.04.10 07:12	86:12:00	2
meule2	Casamance	02.04.10 10:54	06.04.10 08:00	93:06:00	2
meule3	Traditionnelle	05.04.10 15:32	10.04.10 02:40	107:08:00	2
meule5	Traditionnelle	12.04.10 10:48	17.04.10 06:30	115:42:00	3

Le Tableau 10 montre les temps moyen pour chaque type de meule.

Tableau 10 *Temps de carbonisation pour chaque type de meule à Sambandé.*

Type de meule	Temps moyen de carbonisation (heures)
Casamance	89:39:00
Traditionnelle	111:25:00

En outre, tous les charbonniers sont plus expérimentés dans la manipulation de la meule traditionnelle que dans la manipulation de la meule Casamance, ce qui rend encore difficile la comparaison sur le montage des deux meules.

4 Conclusions et recommandations

Selon notre analyse, les meules de type Casamance ont un rendement supérieur (en moyen 37% sur bois anhydre) par rapport à la meule traditionnelle (en moyen 27% sur bois anhydre). Pour cette raison nous recommandons la vulgarisation des meules améliorées notamment la meule Casamance dans les zones d'intervention du PERACOD.

Concernant la conversion des stères de bois vert (environ 500 kg ; H% = 45%) en charbon de bois, il nous semble raisonnable d'assumer un facteur de 102 kg/stère, c'est-à-dire que la production d'un quintal de charbon de bois nécessite environ 0,98 stères (environ un stère) de bois vert.

Cette étude confirme le rendement pondéral de 30 – 35 % défini dans le plan d'aménagement de la forêt communautaire de Sambandé. Comme on peut lire dans le plan : « 1 stère = 450 kg ; 1 stère donne 157,5 kg de charbon, soit 2,5 sacs de charbon (35 % de rendement pondéral pour la meule casamançaise) » (PERACOD, 2007).

Nous recommandons de faire un enregistrement régulier du nombre de stères entrant dans les meules montés dans le cadre de l'exploitation afin de permettre un suivi de terrain continu du rendement des meules. Cela va permettre encore de vérifier les résultats de cette étude sur la base d'un échantillon plus important.

Pour des études suivantes nous recommandons de assurer que les conditions du bois (dimension, humidité et espèce) entré dans les meules sont les mêmes. En autre, pour diminuer les influences externes (soit vent, humidité de l'air, etc.), nous recommandons de tester les meules au même temps.

6 Bibliographie

- CLISS. (2008). Impacts des investissements dans la gestion des ressources au Sénégal. Dakar: République du Sénégal, Institut Sénégalaise des Recherches Agricoles, Universiteit Amsterdam.
- Coulibaly, B., & Lessard, J. (2006). Expérimentations de production de charbonde bois commercial à partir des produits d'éclaircies de plantations de Teck dans la forêt de la TENE. Libreville: FORAFRI.
- Ducenne, H. (2002). Guide technique de carbonisation artisanale améliorée. N'Djaména: Agence Energie Domestique et Environmen (AEDE) - ECO Consulting Group.
- Ehemba, M. (2009, Mai). Le biocharbon, quelles stratégies choisir ? Dossier Le Biocharbon, pp. 3-6.
- Feinstein, C., & van der Plas, R. (1990). Improving Charcaoling Efficiency in the Traditional Rural Sector. Washington: The World Bank.
- Girard, P. (1992). Techniques et matériels de carbonisation : Contrôle de performances. Bois et Forêts des Tropiques, pp. 53-65.
- Hugues, D. (2001). L'amélioration de la carbonisation dans les zones d'interventions de l'Agence Energie Domestique Environment. L'Agence Energie Domestique Environment.
- PERACOD. (2007). Document de plan d'aménagement et de gestion de la forêt communautaire de Sambandé. Dakar: Programme pour la promotion des énergies renouvelables, de l'électrification rurale et de l'approvisionnement durable en combustibles domestiques (PERACOD).
- PREDAS. (2004). Atelier régional de capitalisation de l'expérience sahélien en matière de carbonisation aggro briquetafe au Sahel. Dakar: Ministre de l'Energie et des Mines, Programme Regional de Promotion des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel.
- Robinson, A. (1988). Techniques de carbonisation en Somalie dans la région de Bay. Unasyva, pp. 42-49.
- Schenkel, Y., Bertaux, P., Vanwijnsberghe, & José, C. (1997). Une évaluation de la technique de la carbonisation en meule. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. , 1 (2), pp. 113-124.
- Sene, M. (2008). Étude sur la filiere charbon de bois au Sénégal. Dakar: Banque Mondiale.
- The World Bank. (1994). Review of Improved Stove and Fuel Substitution Project. Washington: The World Bank.

Annexe – Photos