

BURKINA FASO
La Patrie ou la mort, nous vaincrons !

**UNIVERSITE DE
OUAGADOUGOU**

**INSTITUT DU
DEVELOPPEMENT
RURAL
(I.D.R.)**

**CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNOLOGIQUE
(C.N.R.S.T.)**

**INSTITUT BURKINABE
DE L'ENERGIE
(I.B.E.)**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté en vue de l'Obtention du
DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

Option : Eaux et Forêts

THEME :

APPROVISIONNEMENT, CONSOMMATION EN
CHARBON DE BOIS de la VILLE de OUAGADOUGOU
et Etude comparative de deux systèmes de carbonisation

*KOM
595
MEV*

SOMMAIRE

=====

1)

Pages

Remerciements

Introduction

Première partie : enquête approvisionnement
et consommation du charbon de bois dans la ville
de Ouagadougou.

1- Enquête approvisionnement de la ville de
Ouagadougou en charbon de bois

1-1 Préliminaire.....	1
1-2 Les objectifs.....	1
1-3 Méthodologie.....	1
1-4 Les difficultés liées à l'enquête.....	2
1-5 Les résultats.....	2
1-5-1 Enquête en Saison pluvieuse	3
1-5-2 Enquête en saison sèche.....	12
1-6 Synthèse des résultats.....	17
1-7 Conclusion.....	19

2

Enquête Consommation du charbon de bois

2-1 Les objectifs.....	22
2-2 Les difficultés.....	22
2-3 La méthodologie.....	23
2-4 Les résultats de l'enquête.....	23
2-4-1 Consommation des Bar-Restaurants.....	23
2-4-2 Consommation des grilleurs de viande..	26
2-4-3 Consommation des fondeurs de bronze...	29
2-4-4 Consommation des fondeurs d'Aluminium	32
2-5 Synthèse des résultats.....	34

Conclusion.....36

Conclusion partielle.....38

Recommandations.....40

Deuxième partie : essais comparatifs de deux
systèmes de carbonisation.

1- Chapitre préliminaire.....42

1-1 Mise en oeuvre de la base expérimentale de
carbonisation de Wayen

1-2 Etude Physique de la forêt classée de
Wayen.....42

	1-3 Le bois : constituants anatomiques et chimiques ...	45
	1-4 Définition de la carbonisation.....	46
	1-5 Les différents modes de carbonisation.....	46
	1-6 Protocole d'essais des différents systèmes de carbonisation.....	50
	1-6-1 Avantages et inconvénients liés à chaque système de carbonisation	
	1-6-2 Les Aspects expérimentaux	51
	2 - Techniques de carbonisation à la meule	
	Casamançaise	57
2-1 ?	2-2 Choix du terrain.....	58
2-3 ?	2-4 "L'habillage".....	59
	2-5 Conduite du processus de carbonisation.....	60
	2-6 Résultats expérimentaux.....	63
	2-7 Les avantages et les inconvénients.....	81
	Conclusion.....	83
	3 Technique de carbonisation au four Argentin.....	86
3-1 ?	3-2 Construction du four	
3-3 ?	3-4 CHangement <i>Changement</i>	
3-5 ?	3-6 Résultats expérimentaux.....	92
	3-7 Avantages et inconvénients.....	106
	3-7-1 Résistance de Four de type Argentin.....	108
3-7-2 ?	Conclusion.....	112
	4 Analyse financière des deux systèmes de carbonisation.....	115
4-1 ?	4-2 Données de calcul par carbonisation.....	115
	4-3 Coûts d'investissements par carbonisation.....	117
	4-4 Calcul du prix de revient du Kg de charbon.....	119
	Conclusion.....	121
	5 Synthèse des résultats.....	122
5-1 ?	5-2 Interprétation des données.....	124
	5-3 Les avantages et les inconvénients.....	127
	Conclusion partielle.....	132
	Conclusion générale	
	Bibliographie	
	ANNEXES	

REMERCIEMENTS

A l'issue de notre stage de fin d'étude, nous tenons à formuler nos remerciements:

- Au Camarade YAMEOGO Rigobert, directeur de l'Institut Burkinabè de l'Energie (I.B.E), structure qui nous a accueilli pour notre étude.

- Aux Camarades YAMEOGO Georges, chercheur à l'I.B.E et KABRE Alphonse enseignant à l'I.D.R, maîtres de stage qui n'ont ménagés aucun effort pour nous encadrer.

- A Monsieur SIMONIS Philippe chef de projet G.T.Z.

- Au Camarade QUEDRAOGO Félix, chef de projet à Wayen qui nous a apporté un soutien matériel, moral et technique lors de notre séjour à Wayen.

- Au Docteur EMRICH Walter, expert en carbonisation qui a bien voulu nous initier aux techniques de carbonisation.

- Aux Camarades NITIEMA Issaka et NIKIEME Maxime économistes à l'I.B.E. qui nous ont appuyé dans la partie analyse financière.

- Aux Camarades SAWADOGO Armande, ILBOUDO Jeanne-Marie, WESTOFF Béatrice avec lesquelles les discussions ont été enrichissantes.

- Aux Camarades THICMBIANO Geodofroy et WAREM Alhadi pour leur franche collaboration.

- Aux Camarades techniciens du laboratoire nutritionnel de l'I.D.R. et de l'I.B.E., aux enquêtrices et ouvriers.

- A SPOT AFRICA pour avoir assuré le travail de dactylographie

- A tout le personnel de l'I.B.E. et du projet de reboisement de Wayen

- Au Projet Spécial Energie de la G.T.Z pour l'appui financier grâce auquel nous avons pu effectuer notre travail.

- Enfin, tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'aboutissement de ce stage et dont les noms n'ont pu être cités.

INTRODUCTION

La situation énergétique des pays en développement ne disposant pas d'énergies fossiles est d'autant plus préoccupante que les énergies renouvelables font l'objet d'attentions particulières. -st
???

D'après la F.A.O (21), sur les deux milliards d'êtres humains qui dépendent du bois de feu dans les pays en développement, 96 millions sont déjà dans l'impossibilité de satisfaire leurs besoins énergétiques.

Ainsi, il est opportun d'utiliser rationnellement nos ressources ligneuses afin d'éviter d'être surpris par une pénurie éventuelle.

Pour les pays du Sahel dont en particulier le Burkina, le bois de feu occupe environ 90% des bilans énergétiques nationaux. Par ailleurs, le pétrole et ses dérivés absorbent annuellement près de 40% du revenu des exportations (22).

C'est donc le souci de résorber partiellement cette dépendance énergétique qu'il a été entrepris la confection du barrage hydro électrique de Komienga dont la mise en eau nécessite le défrichement de 23000 ha de forêt soit un volume total de bois estimé à 180000 m³ (23).

Par ailleurs, dans le cadre de l'extension du réseau hydroélectrique et dans l'optique d'une politique nationale d'auto suffisance alimentaire, des déboisements massifs sont attendus du barrage de Bagré et des aménagements hydroagricoles de la Nohao et du Sourou. Ce dernier étant en cours de réalisation, près de 1000 ha de forêt ont déjà fait l'objet de coupes rases.

De fait, face à l'importance du volume de bois escompté, il convient de trouver des solutions tendant à valoriser les ressources ligneuses qui seront issues de ces différentes superficies.

Dans un premier temps, on pourrait penser à l'utilisation de ce bois pour la satisfaction des besoins énergétiques des populations riveraines de ces zones d'aménagement. Une telle alternative ne saurait être envisageable étant donné que ces populations sont en majorité rurales et se trouvent dans des zones excédentaires en combustibles ligneux. De plus, ces

derniers n'achètent généralement pas le bois.

La seconde alternative consisterait à transporter le bois vers les centres urbains proches des zones d'exploitation. Cette solution ne sera que partielle étant donné que ces populations ne pourront pas consommer toutes ces quantités dans un délai excluant le pourrissement du bois.

Transporter aussi le bois pour alimenter la ville de Ouagadougou sera une opération très onéreuse et non rentable compte tenu des distances qui séparent les zones de coupe à Ouagadougou: 300 km en moyenne.

En prenant en compte toutes ces observations, on est amené à se pencher sur la carbonisation du bois et à envisager le transport du charbon ainsi produit vers la ville de Ouagadougou. Cela présente une certaine importance car, sur de longues distances, il devient plus rentable de transporter du charbon à la place du bois. A poids égal, celui-ci offre environ deux fois plus d'énergie que le bois.

Certes autant faut-il produire du charbon de bois, autant il est important de s'assurer de son écoulement effectif et de sélectionner un système de carbonisation viable de par sa faisabilité technique et financière.

Pour avoir une approche sur l'ensemble de ces problèmes, nous avons, au cours des dix mois de stage effectués à l'Institut Burkinabé de l'Energie (I.B.E), traité du thème: "Approvisionnement, consommation de charbon de bois dans la ville de Ouagadougou et étude comparative de deux systèmes de carbonisation".

- Dans une première partie, nous avons tenté d'approcher les modes d'approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois, d'identifier et de suivre certains consommateurs non domestiques, et d'apprécier la quantité et la qualité du charbon recherché.

- Enfin, la seconde partie a été consacrée à une étude comparative de deux systèmes de carbonisation. Pour cela, les choix ont été portés sur:

. La meule Casamançaise qui est largement répandue dans la sous région (Mali Sénégal...)

. Le four de type Argentin dont l'utilisation est très fréquente en Amérique latine.

Ainsi, nos différentes études ont été menées suivant des méthodologies et un protocole expérimental fondés sur la base de données scientifiques. Cependant, compte tenu des difficultés inhérentes à ce genre d'entreprise, nous tenterons après analyse de tirer des conclusions et de formuler des propositions. Ces derniers auront tendance à réduire les contraintes organisationnelles, techniques et financières liées à chacune des parties que nous traiterons.

1 - ENQUETE APPROVISIONNEMENT DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU EN CHARBON VEGETAL

1.1 - Préliminaire :

Au Burkina, les grands centres urbains tels que Ouagadougou et Bobo-Dioulasso sont les plus grands consommateurs de charbon de bois en comparaison avec les zones rurales qui en consomment très peu. La ville de Ouagadougou compte environ 450.000 habitants et il n'est pas impossible que l'on envisage de l'approvisionner en charbon de bois à partir de grandes étendues de forêts défrichées (barrages ...).

Ainsi, avec le concours d'enquêtrices, nous avons mené des sondages dont voici les objectifs et la méthodologie utilisée.

1.2 - Les objectifs :

Il s'agit:

- De mesurer l'impact de la nouvelle réglementation de l'exploitation des ressources ligneuses sur l'importance du niveau d'approvisionnement anciennement établi;

- De cerner les fluctuations saisonnières voire journalières du point de vue des quantités de charbon consommées;

- d'appréhender beaucoup plus exactement le mode de distribution (moyen de transport) et la qualité des personnes intéressées par la réception du charbon;

- D'avoir une idée des prix pratiqués tant au niveau des producteurs qu'au niveau des consommateurs intermédiaires que finaux.

1.3 - Méthodologie :

Cette enquête s'est déroulée initialement en saison pluvieuse (Août - Octobre) puis en saison sèche (Mars - Avril), à raison de deux jours par axe: dont un jour ouvrable et un jour non ouvrable.

Les heures d'enquête allaient de 6 heures à 19 heures. Notons qu'une troisième journée fut consacrée aux axes qui ont fait preuve d'un trafic relativement important.

Au total, 12 axes ont été retenus, englobant ainsi ruelles et axes principaux convergeant sur la ville de Ouagadougou. Ce sont :

- Axe Ouaga - Bobo,
- Axe Ouaga (pissi) - Zagtoulé,
- Axe Ouaga - Komsilga,
- Axe Ouaga - Léo,
- Axe Ouaga (Patte-d'oie) - Ponsomtenga,
- Axe Ouaga - P8,
- Axe Ouaga - Saaba,
- Axe Ouaga - Fada,
- Axe Ouaga - Kaya,
- Axe Ouaga (Tanghin)-Kongoussi,
- Axe Ouaga - Kongoussi,
- Axe Ouaga - Yako.

Dans la plupart des cas, les postes de guet ont été retenus au delà des postes de police en vue d'accroître nos chances de recenser le maximum de charbonniers. Par ailleurs, étant donné la hantise des carbonisateurs vis à vis des contrôles fiscaux, nous avons scindé le déroulement de l'enquête en deux phases principales :

Une première phase passive qui consistait à compter le nombre de charbonniers qui passait, le mode de transport, le nombre et le type de sac transporté (cf. annexe 1).

Une seconde phase qui s'est déroulée sur les axes les plus fréquentés. Elle consistait à arrêter les charbonniers pour peser les sacs transportés, demander les prix de ces sacs, et leur poser des questions sur leur clientèle. (cf. annexe 2).

1.4 - Les difficultés liées à l'enquête

- Notre enquête s'étant déroulée entre 6 heures du matin et 19 heures, il s'est révélé que des quantités importantes de charbon étaient acheminées très tôt le matin et même tard dans la nuit. De même nous avons constaté que des quantités non

négligeables transitaient par des zones non loties à partir de sentiers et de ruelles que nous n'avions pas pu couvrir.

- La première phase de notre enquête a dû subir des modifications lorsqu'il s'est agi de véhicules ou de charrettes transportant le charbon. Dans ce dernier cas, outre le charbon mis en sac, nous avons procédé à l'estimation des quantités qui étaient souvent déposées en vrac sur le fond de la charrette.

1.5 - Résultats des enquêtes

1.5.1 - Enquêtes en saison pluvieuse

Elles se sont déroulées conformément à la méthodologie indiquée plus haut.

1.5.1.1 - Approvisionnement de la ville de Ouagadougou de charbon en bois et fluctuations journalières

L'analyse des tableaux d'approvisionnement N° 1.1, 1. 2, 1. 3 permet de faire un certain nombre d'observations.

Contrairement à nos attentes, environ deux fois plus de charbon sont ventilés dans la ville de Ouaga pendant les jours ouvrables par rapport à ceux non ouvrables (8664 kg contre 3834 kg . On serait donc tenté de penser à une mise à jour des charbonniers vis à vis des taxes fiscales. Certaines personnes enquêtées nous ont rapporté qu'en raison de l'intensification des contrôles, elles se sont vues obliger d'acquiescer des demandes d'agrément en vue d'être libre de tout déplacement.

Pour ce qui est de l'approvisionnement journalier en période d'hivernage, notons que le calcul de la moyenne pondérée atteste qu'il est de l'ordre de 7282 Kg d'après le tableau N° 1.3. A la même période mais en 1984, le Ministère de l'Environnement et du Tourisme avait autorisé la vente de 2500 kg de charbon (12). Cette valeur quoique sous estimée en raison des transactions clandestines permet d'envisager un taux d'accroissement bi-annuel de l'ordre de 34 %.

1.5.1.2 - Les principaux axes d'approvisionnement

Par rapport aux quantités de charbon qui sont quotidiennement offertes sur le marché de consommation, force est de constater que les axes Fada et Kaya se partagent plus de la moitié du trafic, dévancant ainsi les axes Pissi-Zagtouli et Komsilga (cf. tableau 1.1 et 1. 2). La suprématie de ces deux axes est caractérisée par des productions isolées et peu importantes, renforcées par une recrudescence du nombre d'individus intéressés par ce commerce (67 % du total des carbonisateurs). Mieux, les fréquences moyennes de passage y sont de l'ordre de 10 fois au cours du mois, traduisant ainsi une intensification des activités de carbonisation du côté Est de la ville de Ouaga, présage d'une surexploitation des peuplements forestiers.

1.5.1.3 - Mode de transport et clientèle

L'essentiel du charbon de bois produit en hivernage est acheminé à vélo et au moyen de charrettes à traction asine (72 % en équivalent poids).

Suite au dépouillement global des fiches d'enquête qui ont été consacrées aux cinq meilleurs axes, les résultats suivants ont été obtenus :

Moyens de Transport:	Bicyclette	70%
(pourcentage numérique)	Charrette	23%
	Motocyclette	7%
	Véhicule	-
Principaux clients	Ménages	16%
	Revendeurs	32%
	Restaurants	3%
	Artisans	3%
	Autres	61%

Sur ce tableau, on note que la bicyclette constitue le moyen de transport le plus sollicité dans le cadre du transport du charbon de bois (70 %). Celle-ci colporte en moyenne 96 kg soit l'équivalent de six sacs moyens contrairement à la charrette dont les charges sont beaucoup plus importantes et environnent en moyenne 400 kg de charbon. D'où la baisse de participation du vélo dans le transport du point de vue de l'équivalence pondérale (52 %).

Par rapport à la classification des consommateurs intermédiaires et finaux du charbon, précisons que certains carbonniers avaient plusieurs points de ravitaillement d'où la surestimation du total du pourcentage des principaux clients. A travers les autres clients, nous avons considéré toutes les catégories de carbonniers qui ignorent à priori la qualification des personnes auxquelles ils destinent leur produit. A ce propos, ceux-ci constituent plus de la moitié (61 %) des carbonisateurs. Ils sont suivis par les revendeurs (du moins les détaillantes) qui constituent une fraction non négligeable (32 %).

Tableau II: Approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois au cours de la saison pluvieuse pendant les jours ouvrables

Axes		Tanghin:	Kon-	Yako	Bobo	Pissi-	Kom-	Saponé	Ponsom	Pô	Saaba	Fada	Kaya	Total
Désignations		Kon-goussi	goussi			Zagteuli	silga		tenga					
Nombre de charbonniers observés		2	1	5	1	4	6	3	Néant	Néant	4	32	28	86
Moyen de transport (kg)	Bicyclette	112 (100%)	16 (100%)	396 (77%)	60 (100%)	40 (4%)	123 (10%)	32 (4%)	-	-	200 (71%)	1352 (76%)	1288 (59%)	4124 (48%)
	Charrette	-	-	-	-	920 (96%)	1048 (80%)	800 (96%)	-	-	-	-	-	2768 (32%)
	Motocyclette	-	-	120 (23%)	-	-	128 (10%)	-	-	-	80 (29%)	496 (21%)	908 (4%)	1732 (20%)
	Véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40 (2%)	-	40 (-)
	Grands	-	-	12	-	24	29	20	-	-	5	8	24	7
Nature et nombre de sacs	Moyens	7	1	2	3	-	9	2	-	-	5	127	72	?
Petits	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	3	7	?
Quantités (kg)		112	16	516	60	960	1304	832	-	-	280	2388	2196	8664
Pourcentage par rapport à la quantité totale		1%	-	6%	-	11%	15%	10%	-	-	3%	28%	25%	98%

Tableau 2 : Approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois au cours de la saison pluvieuse

Axes		Tanghin	Kon-	Kon-	Yako	BOBO	Pissi-	Kom-	Saponé	Ponsom-	Pô	Saaba	Fada	Kaya	Total
Désignations		goussi					Zagtouli	silga		tenga					
Nombre de charbonniers observés		Néant	Néant	7	Néant	0	Néant	Néant	Néant	Néant	2	3	16	15	49
Moyen de transport (kg)	Bicyclette	-	-	520 (100%)	-	400 (50%)	-	-	-	-	16 (5%)	224 (100%)	920 (76%)	666 (86%)	2754 (71%)
	Charrette	-	-	-	-	400 (50%)	-	-	-	-	-	-	-	-	400 (10%)
	Mobylette	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	256 (21%)	104 (14%)	360 (9%)
	Véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	320 (95%)	-	-	-	320 (10%)
	Grand	-	-	7	-	45	-	-	-	-	8	2	2	3	37
et nombre de sacs	Moyen	-	-	15	-	13	-	-	-	1	9	67	36	141	
	Petit	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	10	16	
Quantités (kg)		-	-	520	-	400	-	-	-	-	336	224	1176	770	3834
Pourcentage par rapport à la quantité totale		-	-	14%	-	21%	-	-	-	-	9%	6%	31%	20%	100%

pendant les jours non ouvrables

Tableau 3 : Approvisionnement quotidien de la ville de Ouagadougou

en saison pluvieuse

(Valeurs pondérées = 5 jours ouvrables, 2 jours non ouvrable)

Axes		Tanghin	Kon-	Kon-	Yako	Bobo	Fissi-	Kom-	Ponsom-	Pô	Saaba	Fada	Kaya	Total
Désignations		goussi	goussi				Zagtolli	salga	tinga					
Nombre de char-		1	1	6	1	5	4	2	-	1	4	27	24	76
bonniers observé														
Moyens de transport et quantités (kg)	Bicyclette	80 (100)	11 (100)	431 (83)	43 (100)	145 (16)	91 (11)	23 (4)	-	5	207	1586	1110	3732 (52)
	Charrette	-	-	-	-	771 (84)	749 (89)	571 (96)	-	-	-	-	-	2091 (30)
	Motylette	-	-	86 (17)	-	-	91 (11)	-	-	-	57 (22)	427 (21)	678 (38)	1339 (19)
	Véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	91 (95)	-	99 (1)	-	120 (2)
Nature et nombre de sacs	Grand	-	-	11	-	21	21	14	-	2	4	5	18	?
	Moyen	5	1	6	2	4	6	1	-	-	6	110	62	?
	Petit	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	4	8	?
Quantités (kg)		80	11	517	43	916	931	594	-	96	264	2042	1788	7282
Pourcentage par rapport à la quantité totale		1	-	7	1	13	13	8	-	1	4	28	26	?
Fréquence mensuelle de passage				2		4	8					10	9	

1.5.1.4 - Les prix pratiqués au niveau du producteur et de la détaillante

Au cours de l'enquête, nous avons enregistré une certaine homogénéité des prix de base d'un axe à l'autre par rapport au volume des sacs produits. Ils sont de l'ordre de:

- 3000 FCFA pour les grands sacs,
- 1500 FCFA pour les sacs moyens,
- 750 FCFA pour les petits sacs.

Cependant, force est de constater le caractère assez flexible de ces différents prix étant donné que dans la plupart des cas, les transactions ont lieu après marchandage. Cette situation nous a conduit à considérer les valeurs moyennes de :

- 2500 FCFA pour les grands sacs (40 kg),
- 1000 FCFA pour les sacs moyens (16 kg),
- 500 FCFA pour les petits sacs (12 kg).

Par ailleurs, nous avons procédé à l'évaluation du prix de vente du kg de charbon au niveau de 30 détaillantes réparties dans 11 secteurs de la ville de Ouagadougou. Le choix des secteurs a été guidé par la position géographique (périphérique ou centrale) et la proximité d'un axe d'approvisionnement intéressant.

Les résultats de cette enquête ont été consignés dans le tableau n°1.4 .

L'analyse de ce tableau permet d'estimer le prix de vente du kg de charbon au détaillant à 123 F. CFA. Cette valeur est assez élevée par rapport à celle du prix de vente du kg de charbon au producteur qui est en moyenne de 59 FCFA.

En considérant les individualités, on note des variations notoires du poids du tas de charbon d'une détaillante à l'autre dans un même secteur et aussi dans la comparaison des différents secteurs. Pour l'ensemble de la population, nous avons une déviation standard de 153,3 g sur une moyenne de 811,4 g/tas.

Ainsi, les secteurs N° 27 et N° 5 sont les zones où la pratique de la surenchère du prix du kg de charbon de bois est de moindre importance; les prix y sont respectivement de 94 F/kg et 107 F/kg. Cette situation s'explique par le fait que le secteur 27 est parcouru par l'un des axes principaux d'approvisionnement en charbon (axe Fada). Pour le cas du secteur n°5, cela s'explique par la présence de fortes colonies étrangères aux habitudes culinaires inhabituelles des mets Burkinabè. Au cours de l'enquête, presque à chaque ruelle de ce secteur, nous avons dénombré des détaillantes et mieux, nous avons constaté l'existence d'un marché de vente exclusive du charbon de bois. Une fois de plus, nous assistons à la confirmation de la règle de fixation des prix compte tenu des fluctuations de la loi de l'offre et de la demande. ? ?

A l'opposé, c'est au secteur N°16 que le prix du charbon est le plus élevé (155 FCFA/kg). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les habitants de ce secteur n'ont pas les moyens de s'acheter le charbon à ce prix. A ce propos, nous avons eu du mal à recenser les trois détaillantes requises dans le cadre de l'échantillonnage. Au niveau du secteur N°25, nous avons rencontré seulement une détaillante quand bien même ce secteur est traversé par un des meilleurs axes d'approvisionnement (axe Kaya). Il pourrait s'agir de l'inadaptabilité du charbon aux habitudes culinaires des habitants de ce secteur. 177

G1 G2 G3 écart type

Tableau : N°4 : Vente au détail du charbon de bois à Ouagadougou
(100FCFA/tas).

Détaillante	N°1	N°2	N°3	Moyennes	g/Secteur	Prix du Kg de charbon)			
Poids moyens de tas / secteur	μ_1	μ_2	μ_3	\bar{G}					
(Secteur N°1	:699,1	:29,4	:890	:60,6	:855,2	:36,1	:814,8	:94	:123FCFA
((g)									
(Secteur N°3	:802,4	:141,5	:769,1	:19,8	:375,6	:96,9	:815,6	:109,2	:123
((g)									
(Secteur N°5	:100,5	:16	:1019	:56,2	:779,3	:409	:931,1	:121,8	:107FCFA
((g)									
(Secteur N°10	:738,9	:77,6	:939,8	:57,6	:455,6	:8,3	:728,1	:209,9	:137
((g)									
(Secteur N°13	:660,6	:25,8	:833,7	:63,1	:872,8	:33	:789	:102	:127
((g)									
(Secteur N°16	:667,6	:52,3	:613,01	:62,7	:658,7	:11,7	:646,8	:53,1	:155
((g)									
(Secteur N°17	:741,6	:41	-	-	:321,2	:108,8	:761,5	:36,4	:131FCFA
((g)									
(Secteur N°19	:966	:13,4	:700,9	:20,2	:583,9	:19,5	:745	:154,3	:134FCFA
((g)									
(Secteur N°23	:689,5	:32,3	:927,9	:111,4	:802,4	:64,4	:806,6	:123,9	:124FCFA
((g)									
(Secteur N°25	:715,3	:46,5	-	-	-	-	-	-	-
((g)									
(Secteur N°27	:1068,9	:33,1	:990	:144,2	:1150,8	:61,9	:1069,9	:114	:94FCFA
((g)									
(MOYENNE							811,4 g		:123FCFA
(GENERAL									
(Ecart type									
(de la population							153,3 g		:65FCFA

Notons que les poids moyens ont été calculés sur la base de trois tas par détaillantes.

1.5.2 Enquête en saison sèche .

Elle a présenté une physionomie particulière étant donné que seuls les axes Kaya et Fada ont fait preuve d'un trafic relativement bon.

1.5.2.1 Approvisionnement en charbon de bois et fluctuations journalières .

L'observation des tableaux N°1.5, 1.6 et 1.7 permet de faire un certain nombre d'analyses.

Pendant la saison sèche, la ville de Ouaga a absorbé quotidiennement 5734 Kg (Cf. tableau 1. 7) de charbon avec une faible incidence sur le caractère ouvrable ou non ouvrable des jours (6524 Kg contre 5420 Kg). En 1985, les quantités avaient été estimées à 6165 Kg/j (12) soit une décroissance annuelle de 3%.

1.5.2.2 Les principaux axes d'approvisionnement .

Il y a lieu de faire remarquer que l'essentiel du trafic (79%) a été enregistré au niveau des axes Kaya et Fada (Cf. tableau N°1.7). De même, l'une des innovations de cette enquête est que l'axe Kaya qui jadis était peu fréquenté par les charbonniers (12) est devenu l'un des meilleurs axes d'approvisionnement de la ville de Ouaga en charbon de bois (59%) en l'espace de deux ans.

Aussi, la fréquence mensuelle de passage s'est accrue au point qu'un même charbonnier ^{ouvrier} soit à mesure d'opérer une livraison tous les deux jours. Ceci est lié à la rapidité du cycle de production du charbon à la fosse primitive.

1.5.2.3 Mode de distribution et qualité des consommateurs .

Environ 66% (Cf. tableau N°1.7) des quantités de charbon produits sont écoulées à bicyclette. Les motocyclettes se partagent une fraction non négligeable qui est de l'ordre de 26%. Le tableau ci-dessous fait cas des résultats des troisième^s journées d'enquête qui ont été consacrées aux axes Kaya et Fada.

Moyens de Transport:	Bicyclette	90%
	Charrette	-
(pourcentage numérique)	Motocyclette	10%
	Véhicule	-
Principaux clients	Ménages	23%
	Revendeurs	24%
	Restaurants	-
	Artisans	2%
	Autres	54%

La supériorité numérique des bicyclettes dans le trafic du charbon de bois (90%) confirme une fois de plus le caractère irrationnel de ce mode de transport, en comparaison avec la conversion en équivalent poids (66%). En outre, notons que plus de la moitié des carbonisateurs sont indécis vis à vis de la qualification du destinataire de leur production. Cependant, les ménages et les revendeurs se partagent presque équitablement le taux des producteurs ayant des débouchés sûrs.

Tableau 5 : Approvisionnement de la ville de Ouagadougou en saison sèche pendant les jours non ouvrables

Axes		Tanghin	Kon-	Yako	Bobo	Zag-	Kom-	Saponé	Ponsom-	Pô	Sâba	Fada	Kaya	Total
Désignations		Kon-	Kon-			touli	silga		tenga					
Nombre de charbon-		2	-	1	-	-	6	2	3	2	2	47	36	101
niers observés														
Moyen de transport et quantité (kg)	Bicyclette	120 (100%)	-	32 (100%)	-	-	136 (3%)	64 (80%)	128 (53%)	96 (100%)	96 (100%)	836 (62%)	1892 (68%)	3400 (62%)
	Charrette	-	-	-	-	-	1600 (92%)	-	-	-	-	-	-	-
Nature et nombre de sac	Mobylette	-	-	-	-	-	-	16 (20%)	112 (47%)	-	-	508 (38%)	888 (32%)	1524 (23%)
	Véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quantités (kg)	Grands	1	-	-	-	-	41		4	2	-	5	25	78
	Moyens	6	-	2	-	-	6		4	1	6	67	109	195
	Petits	-	-	-	-	-	-		-		-	5		
Quantités (kg)		120		32			1736	80	240	96	96	1344	2780	6524
Pourcentage par rapport à la quantité totale		2%	-	-	-	-	27%	1%	4%	1%	1%	21%	43%	100%

Tableau 1.6 : APPROVISIONNEMENT DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU EN SAISON SECHE
PENDANT LES JOURS OUVRABLES

LES VALEURS () CORRESPONDENT A DES POURCENTAGES

AXES		Tan- ghin- Kong	KON- GOUS- SI	YAKO	BOBO	ZAGTOU LI- PISSI	KOMS- SILGA	SAPO- NE	PONSOM TENGA	PO	SABA	FADA	KAYA	TOTAL
Nombre de charbonniers observés		2	-	-	-	1	-	2	4	-	5	18	50	82
Moyens de transport et quantités transportées (kg)	Bicyclette	120 (100%)	-	-	-	32 (100%)	-	32 (25%)	204 (100%)	- (-)	232 (100%)	888 (85%)	2424 (66%)	3932 (73%)
	Charrette	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Motocyclette	-	-	-	-	-	-	96 (75%)	-	-	-	160 (15%)	1232 (34%)	1488 (27%)
	Véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nature et nombre de sacs	Grands	1	-	-	-	-	-	2	2	-	1	5	35	45
	Moyens	5	-	-	-	2	-	3	7	-	12	53	138	208
	Petits	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	4
QUANTITES (kg)		120	-	-	-	32	-	128	204	-	232	1048	3656	5420
Pourcentage par rapport à la quantité total		2%	-	-	-	1%	-	2%	4%	-	4%	19%	67%	100%

Tableau 1.7 - Approvisionnement quotidien de la ville de Ouagadougou en charbon de bois en saison sèche

Les valeurs () correspondent à des pourcentages

Azas		Tanghin Kongoussi	Kongoussi	Yako	Bobo	Fissi Sagtolli	Komsil- ga	Sapong	Fon- sontenga	P8	Saaba	Tada	Kaya	Total
Désignation														
Nombre de charbonniers observés		2	-	1	-	-	4	2	3	1	3	39	40	95
Moyens de transport et quantités transportées (kg)	Bicyclette	120 (100 %)	-	9 (100 %)	-	23 (100%)	39 (8 %)	41 (35 %)	102 (85%)	27 (100%)	193 (100%)	873 (77%)	2272 (57%)	3779 (86%)
	charrette	-	-	-	-	-	457 (93%)	-	-	-	-	-	-	457 (8)
	motocyclette	-	-	-	-	-	-	73 (64%)	32 (15%)	-	-	259 (83%)	1134 (33%)	1490 (26%)
	véhicule	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nature et nombre de sacs	grands	1	-	-	-	-	12	1	3	1	1	5	32	7
	moysens	4	-	-	-	1	2	2	6	-	10	57	130	7
	petits	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	3	7
Quantités (kg)		120	-	9	-	23	496	114	214	27	193	1134	3406	5734
Pourcentage par rapport à la quantité totale		21	-	-	-	-	9	10	4	-	3	20	59	7
Fréquence mensuelle de passage												12	14	

1.6. Synthèse des résultats .

L'enquête approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois a révélé un caractère hétérogène de par l'incidence des contraintes journalières et saisonnières.

1.6.1 Approvisionnement en charbon de bois - Fluctuations saisonnières et journalières .

Du point de vue de l'importance des quantités transportées, force est de constater qu'il y a environ 1,5 t supplémentaires de charbon de bois qui entrent quotidiennement en hivernage comparativement à la saison sèche. Cette situation semble avoir bouleversé l'ordre ancien, étant donné que l'hivernage offre moins de liberté aux paysans vue l'intensification des travaux champêtres (12). Cependant, l'observation sur le terrain nous a permis de nous rendre compte que les avis étaient suffisamment partagés quant à l'instauration de cet ordre.

En effet, d'aucuns pensent que la loi de l'offre et de la demande en bois et de son dérivé le charbon évolue en sens opposé au cours d'une même saison compte tenu de l'état des routes et des commodités d'utilisation du charbon, en hivernage.

Par rapport aux fluctuations journalières, nous pouvons affirmer que l'acheminement du charbon de bois est quasiment indépendant des périodes de contrôle de taxes fiscales. Aux dires des charbonniers, ils sont de plus en plus en règle et consacrent généralement les samedis et les dimanches au ratissage des rondins à carboniser.

1.6.2 Les principaux axes :

Notons que l'axe Fada qui à priori semblait être la principale voie d'approvisionnement se retrouve fortement concurrencé par celui de Kaya qui devient le plus important en saison sèche. Cela pourrait s'expliquer par le fait que beaucoup de charbonniers venant de l'axe Fada préfèrent suivre des voies de déviations devenues praticables en saison sèche vue l'assèchement de certains cours d'eau.

Par rapport au rayon maximum d'approvisionnement, celui-ci est en effet d'environ 100 Km autour de Ouagadougou (12) et nous avons quasiment obtenu les mêmes lieux de production que ceux d'une étude déjà faite (11).

1.6.3 Mode de distribution et qualité des consommateurs .

Il est apparu que le moyen de transport est une fonction du mode de production du charbon indépendamment des saisons. En effet, les axes Pissi-Zagtouli; Komsilga; Saponé dérivent des zones où l'utilisation des meules primitives est assez répandue, induisant ainsi de grandes productions de charbon. Le tableau ci-dessous fait état d'une synthèse du dépouillement des fiches d'enquêtes qui ont été menées au cours des différentes saisons.

Moyens de Transport: (pourcentage numérique)	Bicyclette	80%
	Charrette	12%
	Motocyclette	9%
	Véhicule	-
Principaux clients (%)	Ménages	20%
	Revendeurs	28%
	Restaurants	2%
	Artisans	1%
	Autres	58%

Ainsi, il ressort que la plupart des charbonniers (58%) entrant quotidiennement à Ouagadougou n'ont pas à priori un point de vente assez fixe.

1.6.4 Prix pratiqués au niveau du producteur et de la détaillante .

Au niveau du producteur, les prix en vigueur sont exactement les mêmes d'une saison à une autre. Nous supposons qu'il en est de même pour les prix au détail ~~étant~~ étant donné la chute de l'offre et de la demande du charbon de bois en saison sèche.

1.7. CONCLUSION .

En vue d'évaluer les quantités de charbon entrant quotidiennement au cours d'une année d'approvisionnement soutenu on peut formuler l'hypothèse suivante:

Dans le cadre de la répartition des activités des paysans au cours de l'année, on considère 6 mois de travaux champêtres pour 6 autres consacrés aux activités diverses. Cependant, les ~~littératures~~ littératures avancent le rapport de 3 mois de travaux champêtres sur 9 mois de saison morte, mais l'observation pratique du terrain permet de constater que les travaux champêtres prennent généralement fin en novembre après les récoltes.

De fait, à travers le tableau N°1.8, il ressort que 92 charbonniers acheminent quotidiennement 6514 Kg de charbon de bois vers la ville de Ouagadougou. L'essentiel des quantités transportées (58%) s'effectue à bicyclette et 42% environ sont acheminées par les motocyclettes et les charrettes à traction asine. Quant aux véhicules, ceux-ci sont très peu utilisés en dehors des cas isolés où le charbon n'est transporté qu'en charge supplémentaire.

Les sacs moyens (emballage vide de 50 kg de céréales) constituent le type d'emballage le plus utilisé (69%) et doivent constituer une référence dans l'optique d'une standardisation du volume du charbon ensaché.

Du point de vue de la classification des axes, il ressort que la ville de Ouaga est essentiellement approvisionnée par les axes de Kaya et de Fada (62%) avec une baisse de production du

second au profit du premier.

Par ailleurs, à défaut de données statistiques relatives au taux d'accroissement annuel des quantités de charbon produites, nous ne pouvons d'ores et déjà nous prononcer sur l'impact de la nouvelle réglementation sur la commercialisation de ce dernier. Cependant, nous espérons trouver une référence à travers l'évaluation de la consommation journalière.

En outre, les ménages constituent les consommateurs privilégiés de près de la moitié de l'offre (48%) si nous considérons que l'essentiel des ventes des revendeurs (détaillants) leur est destiné.

Par rapport aux prix pratiqués sur le marché on a estimé le prix de vente au producteur à 59 FCFA/Kg. Cependant, les détaillantes s'en tirent avec un prix de vente unitaire de 123 FCFA/Kg pour un intervalle de confiance compris entre 112 FCFA et 134 FCFA (Cf. Annexe N°1.5). L'importance de cet intervalle est le reflet de la non standardisation du prix du Kg du charbon, provoquant ainsi de grandes variations de prix d'une détaillante à l'autre. En outre, il y a lieu de noter que le caractère élevé du prix du Kg de charbon (123 FCFA) est relatif étant donné que les détaillantes subissent des pertes sous forme de charbon fin, de tisons, (bois mal carbonisé)...

Tableau 1.6 - Approvisionnement journalier de la ville de Ouagadougou en charbon de bois :

Valeurs pondérées 6 mois - 6 mois

Les valeurs () sont des pourcentages

Artes	Tanghin- Mongous- si	Mon- gous- si	Yakro	Bobo	Pissi- Lagtouli	Mon- silga	Sayomé	Koussou- tanga	18	Joaba	Pida	Daya	Total
Désignations													
Nombre de charbonniers observés	2	1	7	1	3	4	2	2	1	4	33	32	92
Moyens de transport et quantités transportées (kg)													
} bicyclette	100 (100)	6 (100)	220 (64)	27 (100)	84 (18)	69 (10)	32 (9)	91 (35)	16 (85)	200 (87)	1230 (77)	1691 (35)	3777 (58)
} charrette					386 (12)	609 (87)	285 (81)						1275 (20)
} motocyclette			43 (15)			46 (6)	37 (10)	16 (15)		29 (13)	343 (22)	906 (35)	1420 (22)
} véhicule								45 (74)			16 (1)		62 (1)
Nature et nombre de sacs													
} grands	1	-	6	-	11	17	8	2	2	3	5	25	80
} moyen	2	1	3	1	3	4	2	2	-	8	84	96	206
} petit	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	3	6	12
Quantités (kg)	100	6	253	28	470	714	395	107	52	229	1589	2597	6514
Pourcentage par rapport à la quantité totale	2	-	4	-	7	11	5	2	1	4	24	40	100
Fréquence mensuelle de passage											11	12	23

2 - CONSOMMATION DU CHARBON DE BOIS

Cette enquête a essentiellement concerné les consommateurs non domestiques dans la ville de Ouagadougou. Ainsi, quatre secteurs d'activités ont été retenus. Ce sont :

- 5 bar-restaurants,
- 5 grilleurs de viande,
- 3 artisans fondeurs de bronze,
- 3 artisans fondeurs d'aluminium.

2.1 - Les objectifs :

Il s'agissait principalement:

- d'évaluer l'importance des quantités de charbon qui sont journalièrement consommées.
- de deceller l'existence probable d'une corrélation parfaite entre les quantités de métaux utilisées et les variations de menus par rapport à la consommation du charbon de bois.
- de déterminer les prix d'achat, le mode et la régularité d'approvisionnement tout en prenant connaissance des sélectivités vis à vis de la qualité du charbon, au niveau de chaque secteur d'activité.

mal dit

.2 2 - Les difficultés liées à l'enquête

D'une manière générale, le recensement des différents échantillons a été opéré dans des conditions difficiles étant donné la réticence des personnes enquêtées vis à vis de ce genre d'entreprise. Par la suite, ces problèmes se sont accentués au niveau des artisans compte tenu du fait qu'ils étaient constamment en rupture de stock de matières premières. C'est la raison pour laquelle certains suivis n'ont pu être menés à terme.

2.3 - La méthodologie

Au niveau de chacune des quatre catégories socio-professionnelles, une enquête de consommation journalière a été opérée pendant une semaine. Elle a consisté à peser quotidiennement les quantités de charbon et de métaux qui ont effectivement été consommées. (cf annexe 1.3).

A la fin de chaque semaine de suivi, nous avons soumis aux personnes enquêtées, une série de questions auxquelles ils ont répondu (cf annexe 1.4).

2.4 - Les résultats de l'enquête

Nous tenons à préciser que les résultats seront analysés en tenant compte des réponses qui ont été obtenues au niveau des questionnaires.

2.4.1 - Consommation des bar-restaurants

Les résultats de l'enquête consommation auprès des bar-restaurants ont été consignés dans le tableau n°1.9. Ainsi, on peut faire les interprétations suivantes :

On constate des différences de consommations d'un bar-restaurant à l'autre.

^{De plus}
Ainsi, pour un même bar-restaurant, la consommation de charbon de bois est plus importante en fin de semaine (samedi-dimanche) que pendant les jours ouvrables. Cela s'explique par la qualité du menu qui est servi au niveau de ces derniers. (ex : ...)

En fonction des résultats obtenus, on constate que chaque bar-restaurant consomme en moyenne 17 kg de charbon de bois par jour pour la grillade (viande, poulet, poisson...) et pour la cuisson de certains repas. Cette consommation revêt une certaine importance car elle représente l'équivalent d'un sac moyen de charbon.

En rapprochant cette valeur avec le nombre de bar-restaurants qu'il y a à Ouagadougou (94 bar-restaurants déclarés d'après les services fiscaux ...) on peut estimer les besoins journaliers de ce secteur d'activité à 1598 kg.

Tableau 1.9. : CONSOMMATION JOURNALIERE DU CHARBON DE
BOIS DANS CINQ BAR-RESTAURANTS DE LA
VILLE DE OUAGADOUGOU

Consommations / jours (kg)	Lundi	Mardi	Mer.	Jeudi	Vend.	Samedi	Dim.	μ	σ
BR ₁	3,5	17,9	9,9	5,7	10,9	21,3	20,3	12,8	6,6
BR ₂	25,8	19,1	21,4	21,8	25,1	25,1	30,4	24,1	3,4
BR ₃	10,5	4,2	11,5	10,8	11,9	7,2	9,8	9,4	2,6
BR ₄	11	18,8	10	19	23,8	17,2	14	16,3	4,5
BR ₅	15,6	28,2	17,2	15,5	29,9	23,5	23	21,8	5,5
Moyenne								16,8	7,2

2.4.1.1 - Analyse des réponses au questionnaire

- Mode d'achat du charbon de bois

100 % des restaurants achètent le charbon par sac étant donné le caractère élevé des quantités journalièrement consommées.

Ainsi nous avons enregistré les prix et les poids des différentes catégories de sacs entreposés comme l'indique le tableau ci-dessous.

Tailles	Prix (FCFA)	Poids (Kg)
Petits	-	-
Moyens	1500	16
Grands	2750	34

En outre, 80 % des personnes enquêtées consomment un grand sac pendant deux jours contre 20 % qui consomment un sac moyen quotidiennement. En comparaison avec la valeur moyenne obtenue au cours de l'enquête (17 kg), on peut dire que les deux données se recourent.

- A quoi utilisez-vous le charbon de bois ?

Le charbon de bois dans les bar-restaurants est utilisé pour la grillade. (Poissons, poulets...) et pour la préparation de certains repas.

- Lieu d'achat :

60 % des bar-restaurants vont à la rencontre des charbonniers sur certaines voies d'approvisionnement et principalement vers celles de Kaya et de Kongoussi.

Les 40 % restants sont approvisionnés par des charbonniers agréés.

- Régularité du ravitaillement

Seulement 10 % des consommateurs sont satisfaits de la régularité de livraison en combustible. Cela explique en partie le fait que 60 % d'entre eux vont chercher le charbon de bois sur les voies d'approvisionnement.

Au total, 90 % des bar-restaurants sont insatisfaits de la régularité de leur approvisionnement en charbon de bois.

- Exigences de la qualité du charbon de bois

Les avis sont assez partagés en la matière. Cependant, les principales qualités requises ont été les suivantes:

- Grosse granulométrie
- Siccité
- Bonne combustion
- Charbon produit à partir du bois de karité.

En définitive, la facilité d'allumage et le pouvoir calorifique du charbon de bois ont été les principales préoccupations des gérants de bar-restaurants.

2.4.2 - Consommation des grilleurs de viande .

Le tableau N°1.10 présente les valeurs de cette enquête.

Dans ce cas-ci, on note également des variations de consommation d'un grilleur à l'autre et d'un jour à l'autre. Cependant, ces variations ne sont pas très importantes, les écarts-type présentant des valeurs assez faibles (4,8 pour l'ensemble de la population).

Dans le cadre de l'analyse des résultats, nous avons éliminé le grilleur de viande N°2 (GV2) qui présente une consommation moyenne journalière de 0,8 Kg. Cette valeur est assez faible compte tenu des quantités grillées et du temps de fonctionnement du foyer qui est assez long généralement.

La valeur moyenne de consommation du charbon de bois par les grilleurs de viande est de 6 Kg avec un écart-type de 1,8 Kg.

Par ailleurs, le manque de données relatives à l'effectif des grilleurs de viande de la ville de Ouagadougou ne nous permet pas d'estimer leur consommation totale.

TABLEAU 1.10. CONSOMMATION JOURNALIERE DU CHARBON DE BOIS AU NIVEAU DE CINQ
GRILLEURS DE VIANDE DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU

Luadi?

CONSOMMATIONS/JOUR (kg)	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	μ	σ
GRILLEURS DE VIANDE (GV)									
GV ₁	6,3	3,8	4,3	3,6	3,8	5,9	4,4	4,6	1
GV ₂	1,6	0,6	0,8	0,5	0,5	0,6	0,9	0,8	0,4
GV ₃	5,6	7,4	5,3	6,7	7,4	7,2	6,7	6,6	0,8
GV ₄	4	4,7	4,3	6,3	4,2	3,6	6,6	4,8	1,1
GV ₅	7,5	7	7,5	4,6	10,3	8,6	8,4	7,7	1,6
Moyenne								5,9	1,7

-48-

5.2.1 - Analyse des reponses au questionnaire

- Mode d'achat du charbon de bois

60% des personnes enquêtées se ravitaillent exclusivement au détail pendant que 40% concilient achat au détail et par sacs. Cette situation est intimement liée à la faiblesse de la demande et à la limitation de la période de vente aux après-midis.

Ainsi, à raison de 100 FCFA le tas de charbon, les quantités suivantes ont été retenues au niveau de la consommation hebdomadaire:

- 40% utilisent 56 tas
- 20% utilisent 7 tas
- 20% utilisent 42 tas
- 20% utilisent 21 tas

Soit une consommation moyenne et pondérée de 36 tas/semaine. Pour ce qui est des achats opérés au niveau des grossistes, les prix et les quantités, suivants ont été retenus:

Tailles	Prix (FCFA)	Poids (Kg)
Petits	-	-
Moyens	1500	15
Grands	3000	38

La durée moyenne d'utilisation des sacs a été estimée à 5 jours. Ainsi, en considérant que le tas moyen est de 0,8 Kg cela voudrait dire que la consommation journalière des grilleurs de viande pourrait être estimée à 4 Kg, ce qui est dans les limites définies par les mesures de terrain. Il en est de même pour les achats en gros suivant qu'ils utilisent un grand sac ou un moyen.

- Lieu d'achat :

Les 40% qui associent ponctuellement l'achat de sac de charbon à l'achat au détail se font livrer les sacs par des charbonniers. Les lieux d'achat des tas de charbon sont généralement rapprochés du grilleur.

- Régularité du ravitaillement

De façon générale, celui-ci est régulier et permet d'assurer la satisfaction des besoins de tous les grilleurs de viande.

*pour ceux
qui
achètent
au*

- Exigences de la qualité du charbon

Pour la plupart (80%), celui-ci doit être gros et sec et brûler sans étincelles et être issu du bois de karité.

2.4.3 - Consommation des fondeurs de bronze .

Les résultats de l'enquête de consommation figurent au niveau du tableau N°1.11. Initialement prévue pour cinq fondeurs de bronze, notre enquête s'est finalement déroulé auprès de trois fondeurs. Aussi, certaines pesées n'ont pas pu s'effectuer en totalité pour cause de rupture de stock de matières premières. A ce propos, cette même difficulté nous a conduit à prolonger les jours de test au niveau de certains fondeurs de bronze.

Néanmoins, avec les résultats que nous avons obtenus, on peut noter que l'importance de la quantité de charbon consommée est fonction de la quantité d'alliage ~~bronze~~^{cuivre}-zinc fondue.

L'observation du tableau 1.11 montre que pour chaque jour de travail, un fondeur de bronze utilise en moyenne 17 Kg de charbon pour 24 Kg d'alliage à fondre.

Il faut noter cependant que l'observation sur le terrain nous a permis de constater un g/aspillage de charbon occasionné par la fissuration des cubilots au cours du chauffage.

Tout comme au niveau des grilleurs de viande, n'ayant pas d'information sur l'effectif des fondeurs de bronze, nous ne saurons estimer leur consommation totale en charbon de bois par jour.

TABLEAU 1.11 / CONSOMMATION JOURNALIERE DU CHARBON DE BOIS AU NIVEAU DE TROIS FONDEURS DE BRONZE DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU

CONSOMMATIONS/JOUR(kg)	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	U	6
F _{B1}	5,2 (12)	6 (11)	5,5 (5)	9,1 (14)	- (-)	- (-)	- (-)	6,5 (10,5)	11,6 (3,4)
F _{B2}	18,2 (40)	43,8 (51)	24,5 (61)	43,3 (36)	27,3 (44)	40 (33)	18,5 (28,5)	30,8 (41,9)	10,5 (10,3)
F _{B3}	9,8 (6,8)	3,2 (13)	17,2 (14,4)	8,7 (14,4)	6,5 (9,7)	8,9 (12)	7,9 (19,9)	8,9 (12,8)	3,9 (4,1)
								16,9 (23,7)	13,2 (16,2)

N.B. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux quantités de bronze fondues exprimées en kg.

2 4.3.1 - Analyse des réponses au questionnaire

2: mode d'achat du charbon

La quasi totalité des artisans se ravitaille aussi bien au détail que par sac. Cette situation est liée au fait que quand bien même ces derniers ne procèdent pas à la fonte du bronze, leur occupation quotidienne se ramène à rechauffer la cire en vue de la rendre malléable dans le cadre de la confection de moules.

Pour ce faire, ils opèrent souvent des achats de charbon au détail ce qui fait qu'il y a constamment des baisses in candescentes dans un atelier d'artisan fondeur de bronze. *baisses*

Leur consommation moyenne est de 13 tas par semaine à raison de 100 FCFA le tas de charbon. Par rapport aux achats en gros, on peut retenir les poids et les prix suivants

Tailles	Prix (FCFA)	Poids (Kg)
Petits	-	-
Moyens	2500	17
Grands	3250	41

Les 2/3 des consommateurs utilisent un sac moyen par jour contre 1/3 qui consomme un grand sac pendant 10 jours. En faisant la comparaison avec la valeur moyenne obtenue sur le terrain (17 KG) on peut dire que la consommation de 2/3 des fondeurs de bronze se rapproche de la réalité. Cependant, les quantités utilisées par le 1/3 des fondeurs ne correspondent pas au 17 Kg de charbon/jour. Cela pourrait se justifier par l'incidence des travaux champêtres sur les activités de fonderie.

- Lieu d'achat

En dehors des achats au détail, tous les fondeurs sont unanimes à reconnaître qu'ils sont approvisionnés par des charbonniers sûrs. Cependant, ces derniers sont irréguliers dans leurs livraisons.

- Exigences de la qualité du charbon

Les fondeurs de bronze préfèrent le charbon issu des espèces suivantes:

- Prosopis africana

. Butyrospermum parkii

Les causes de ces préférences résident dans le fait que les charbons issus de ces essences ont un bon pouvoir calorifique et ont une durée de combustion assez longue dans le foyer quand bien même ces derniers sont activés par des soufflets.

2.4.4 - Consommation des fondeurs d'aluminium

Les résultats de l'enquête figurant dans le tableau N°2.

Les mêmes problèmes évoqués au niveau des fondeurs de bronze ne nous ont pas permis de recenser les cinq fondeurs de bronze qui ont été retenus pour le déroulement de l'enquête. Aussi, nous n'avons pas pu couvrir les sept jours de consommation chez l'un d'entre eux.

Néanmoins, l'observation du tableau traduit l'importance du charbon consommé suivant la quantité de bronze à fondre.

La valeur moyenne de consommation obtenue dans ce secteur d'activité est de 18 Kg de charbon pour 17 Kg d'aluminium à fondre.

Pour l'heure, ne connaissant pas l'effectif des fondeurs de bronze de la ville de Ouagadougou, l'estimation des quantités totales qu'ils consomment s'avère difficile.

TABLEAU 1.13. CONSOMMATION JOURNALIERE DU CHARBON DE BOIS AU NIVEAU DES FONDEURS D'ALUMINIUM DANS LA VILLE DE OUAGADOUGOU

CONSOUMATIONS/JOUR (kg) FONDEURS D'ALUMINIUM	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	μ	σ
F _{A1}	4 (3)	19,4 (2)	21,3 (14)	17,5 (18,5)	22,5 (16,8)	30 (36)	14 (8,6)	18,4 (18,8)	7,5 (8,9)
F _{A2}	7,7 (5,1)	8,2 (5,11)	9,2 (11,5)	4,5 (5,6)	4,6 (10,8)	(-)	(-)	6,8 (7,6)	1,9 (2,9)
F _{A3}	31,4 (30,3)	27,8 (24)	10 (22,7)	28,2 (29,1)	20,6 (33,6)	32,5 (29)	28,9 (20,6)	25,6 (27)	7,3 4,3
								18 (17,4)	2,8 (9,8)

N.B. Les chiffres entre parenthèses représentent les quantités d'aluminium fondues (kg)

2.4.4.1 - Analyse des réponses au questionnaire

- Mode d'achat

2/3 des personnes enquêtées opèrent exclusivement des approvisionnements par sac. Seulement 1/3 des fondeurs d'alluminium associent les achats au détail et par sac. Ainsi, ces derniers utilisent hebdomadairement 10 tas de charbon à raison de 100 FCFA l'unité.

Quant aux achats en gros, les grands sacs sont les plus fréquents à raison de 2750 FCFA/38Kg.

- Lieu d'achat

Dans la plupart des cas, le charbon est livré en atelier et des achats au détail sont ponctuellement réalisés. Cependant le ravitaillement est irrégulier tout comme chez les fondeurs de bronze mais il parvient à satisfaire l'essentiel des besoins.

- Les exigences de la qualité du charbon .

Elles sont relatives aux points suivants:

- Très faible taux de friabilité
- Très forte densité
- Petite granulométrie
- Bon pouvoir calorifique.

2.5 SYNTHÈSE DES RESULTATS

Conformément à une enquête datant d'Août 1985 (15) il est ressorti que 28,5% de la population de Ouagadougou utilisent effectivement le charbon de bois en consommation domestique soit environ 15.105 ménages. Parmi ces consommateurs, 76,8% utilisent un tas (811,4g) quotidiennement tandis que 15,5 consomment un sac mensuellement. Les 7,7% restant consomment le charbon sans toute fois l'acheter.

Ainsi, on pourrait estimer la consommation des ménages à 12t de charbon de bois par jour. Quant aux consommateurs non domestiques, l'absence de données fiables relatives à leur nombre rend difficile l'évaluation de leur consommation journalière. Cependant, on s'est tiendra à celle des bar-restaurants déclarés dont l'effectif de 94 a été obtenu auprès du service fiscal national. Ce faisant, pour une consommation journalière de 17Kg

de charbon, on peut affirmer que leur consommation totale à 1,6t/jour.

Ainsi, on peut estimer que la ville de Ouagadougou consomme au minimum 13,6t de charbon de bois par jour.

15 T

CONCLUSION

L'enquête consommation du charbon de bois au niveau des utilisations non domestiques a permis d'élucider un certain nombre de paramètres indispensables.

En effet, les bar-restaurants et artisans fondeurs de métaux (alluminium, bronze) apparaissent comme étant de grands consommateurs du charbon de bois en comparaison avec les ménages dont la plupart consomme un tas quotidiennement (15).

Ainsi, les consommations moyennes et journalières des bar-restaurants, fondeurs d'alluminium et de bronze ont été respectivement évaluées à 17Kg 18 Kg/17,4 Kg d'alluminium; et 17 Kg/24 Kg de bronze. Dans ce dernier cas, précisons qu'une frange de la consommation globale en charbon a échappé à la converture de l'enquête compte tenu du fait que certaines opérations (confection des moules...) préalables à la fusion du bronze exigent une quantité donnée de charbon.

Les grilleurs de viande eux sont apparus comme étant des consommateurs intermédiaires du point de vue des quantités journalières (6 Kg).

Nous n'avons pas pu nous rendre compte des variations des quantités de charbon utilisées en relation avec celles du menu quotidien étant donné que celui-ci est resté le même durant toute l'enquête tant au niveau des bar-restaurants que des grilleurs de viande.

De façon générale, il ressort que le mode d'achat du charbon au niveau des consommateurs non domestiques est essentiellement lié aux besoins journaliers. La plupart des utilisateurs potentiels opèrent des achats en gros en dehors de quelques cas isolés d'achats au détail. Quant au prix d'achat, celui-ci est lié à la qualité du charbon et ^{est} ~~indépendant~~ du mode d'approvisionnement. En effet, comparativement aux autres consommateurs, le prix d'achat du charbon de bois est beaucoup plus majoré au niveau des fondeurs de bronze, confirmant ainsi leur sélectivité du point de vue des caractéristiques du charbon qu'ils recherchent.

En dehors des grilleurs de viande dont la consommation journalière est d'ailleurs faible, les utilisateurs potentiels sont pratiquement insatisfaits de la régularité de leur

approvisionnement, contraignant une certaine catégorie (60% des bar-restaurants) à aller à la rencontre des charbonniers sur des voies d'accès à la ville de Duagadougou. En outre, le marché de consommation du charbon à l'échelle non domestique est à 70% assuré par des charbonniers livreurs avec des achats ponctuels de charbon au détail.

Cette enquête a révélé que ces secteurs d'activités sont des consommateurs de charbon de bois avec lesquels il faut compter dans le cadre de la satisfaction des besoins globaux pour ce type de combustible.

A ces consommateurs, il pourra s'ajouter les tailleurs, blanchisseurs, les fabricants des batiks et bien d'autres usages non domestiques que nous n'avons pas pu approcher au cours de notre enquête.

conclusion : 15T minimum < 20T maximum

CONCLUSION PARTIELLE

Le marché de consommation et d'approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois est apparu comme étant d'une structure véritablement archaïque. Cette situation a rendu difficile l'estimation des quantités de charbon qui entrent quotidiennement. Aussi, le manque de données relatives aux effectifs de certaines catégories des consommateurs non domestiques n'a pas permis d'approcher la consommation journalière effective. Pour l'heure, on peut estimer la quantité minimale à 13,6 t de charbon/jour. Cependant, cette quantité ne correspond pas avec 6,5 t de charbon/jour qui ont été retenues au niveau de l'enquête approvisionnement. Il y a manifestement un manque à gagner de 7,1 t de charbon, ce qui nous amène à faire des hypothèses:

- Comme indiqué au niveau des difficultés liées à l'enquête d'approvisionnement, des quantités importantes de charbon transitent quotidiennement par des sentiers et ruelles débouchant sur les zones à habitat spontané de la ville. De même, il s'est avéré que des quantités importantes de charbon étaient acheminées très tôt le matin et voire même nuitamment. En outre, l'enquête a été menée sur une période assez brève au niveau des axes d'entrée, occasionnant ainsi une sous-estimation des quantités moyennes susceptibles d'être acheminées vers la ville de Ouagadougou.

Toutes ces considérations ont ainsi contribué à biaiser fortement l'estimation des quantités de charbon entrant journalièrement.

L'estimation de 13,6 t de charbon/jour constitue un minimum comme nous l'avons dit plus haut. Quand bien même le charbon de bois ne s'adapte pas aux habitudes culinaires de la plupart des burkinabé compte tenu des équipements de cuisine utilisés, sa consommation commence à prendre des proportions assez importantes. Cette évolution de la consommation du charbon se ressent aussi bien dans le domaine domestique que non domestique.

Quant au circuit de distribution, il est quasiment établi en défaveur du charbonnier qui dans la plupart des cas livre son produit à domicile.

Cet état de chose contribue à une baisse de productivité certaine au niveau du carbonisateur.

Par ailleurs, le manque de standardisation des prix a rendu celui du Kg de charbon très fluctuant d'une détaillante à l'autre et voire d'un secteur à l'autre en témoigne la taille de l'intervalle de confiance.

Ainsi, le prix du Kg de charbon au détaillant est de 123 FCFA, ce qui est assez élevé en comparaison avec d'autres contrées tels que le Sénégal où il est de 40 FCFA officiellement (21).

Dans tous les cas, il y a lieu de ne pas perdre de vue le fait que l'éloignement du bois de feu aidant, le charbon de bois soit appelé à jouer un rôle prépondérant dans le bilan des énergies domestiques des populations citadines.

En outre, en considérant le prix de revient du Kg de charbon au producteur, cela voudrait dire que la vente annuelle du charbon de bois occasionne un chiffre d'affaire de 289000000 FCFA, ce qui constitue une masse monétaire assez importante dans l'économie nationale.

Par ailleurs, la consommation annuelle de bois étant estimée à 450 Kg/habitant dans les grands centres urbains (22), il ressort que la consommation du charbon de bois ne représente que 2% de celle du bois. Cependant, en considérant un facteur de conversion de 20% pour les meules et fosses primitives assurant la production du charbon, ces derniers nécessiteraient 68000 Kg de bois/jours soit 12% de la consommation quotidienne en bois de feu. Dans tous les cas, la contribution du charbon de bois dans les besoins énergétiques des ménages est relativement faible. Cependant, il y a lieu de ne pas perdre de vue le fait que la carbonisation gaspille une quantité de biomasse équivalente à 10% de la consommation en bois de feu, d'où la nécessité d'améliorer le rendement de carbonisation dans un environnement où le bois de feu devient une denrée rare.

Ainsi, il y a lieu d'organiser le marché d'approvisionnement et de consommation du charbon de bois à la mesure des enjeux économiques et écologiques.

RECOMMANDATIONS

En prélude à toute recommandation il serait souhaitable de définir:

- Les besoins réels des habitants de la ville de Ouagadougou en charbon de bois. Cela suppose une détermination des effectifs de toutes les catégories d'utilisateurs du charbon et l'application d'une étude de consommation.

- Les potentialités réelles des forêts environnant la ville de Ouagadougou sur un rayon de 100 K m.

Une fois ces données acquises, nous proposons:

1. A court terme :

- Organiser les charbonniers en coopératives au niveau des villages de production.

- La charrette à traction asine doit être le moyen de transport le plus indiqué pour le transport du charbon.

- Réglementer le prix de vente du Kg de charbon au grossiste comme au détaillant.

- Associer la vente en gros du charbon à celle du bois au niveau des parcs à bois installés dans les différents secteurs en interdisant la vente de porte en porte.

- Fixer des quotas de production à chaque coopérative.

Une telle organisation permettra de contrôler la dégradation anarchique de l'environnement et d'assurer par la même occasion un meilleur recouvrement des taxes fiscales. En outre, elle constitue le lieu privilégié pour certains services techniques d'opérer des actions de sensibilisation quant de la protection de l'environnement. De même, certaines structures de recherche pourront intervenir aisément dans le cadre de la vulgarisation de meilleures technologies de carbonisation.

2. A long terme :

Le bois doit être supplanté par une autre source d'énergie en vue de pourvoir aux besoins énergétiques des citoyens.

1 CHAPITRE PRELEMINAIRE

1.1. Mise en oeuvre de la base expérimentale de carbonisation de Wayen

Initialement prévues pour le site du barrage de Kompienga, nos études de carbonisation ont dû être réorientées vers la forêt classée de Wayen en raison du retard accusé par le calendrier d'exploitation des ressources ligneuses.

A travers les lignes qui suivront, nous ferons une présentation sommaire du milieu dans lequel les travaux ont été menés.

1.2. Etude physique de la forêt classée de Wayen

1.2.1 Situation

Située entre les latitudes de 12°35N et 12°25N et les longitudes de 0°55W et 1°05W, la forêt classée de Wayen est rattachée au département de Zam. En la faveur de l'organisation provinciale du territoire national, celle-ci relève de la province du Ganzourgou dont le chef lieu est Zorgho.

Par la voie routière, elle se situe à 55km au Nord-Est de Ouagadougou à partir de la nationale N°4 (axe Ouagadougou-Niamey).

1.2.2 Les limites

A l'exception de la limite Ouest matérialisée par le cours d'eau de la Nakambé (ex Volta Blanche), toutes les autres limites de la forêt sont marquées à l'aide de bornes(13). C'est précisément à quelques dizaines de mètres des berges de la Nakambé que nous avons installé la base expérimentale.

1.2.3 Etat actuel de la forêt

D'une superficie de 17.000 ha, celle-ci est passée sous la gestion de l'autorité des aménagements des Vallées des Volta (A.V.V) en la date du 23 janvier 1976. Ainsi, en vue d'assurer l'approvisionnement de la ville de Ouagadougou en bois de feu et

de service, environ 6.500 ha de plantations artificielles d'essences exotiques ont été réalisés. Les espèces utilisées sont.

- Eucalyptus camaldulensis
- Gmelina arborea
- Azadirachta indica

1.2.4 Le climat

A l'instar de beaucoup d'autres provinces, celle du Ganzourgou est caractérisée par un climat de type sahélo-soudanien marqué par une saison pluvieuse de mi-juin à fin septembre et une saison sèche de début octobre à mi-juin. Il comporte d'importantes variations de températures, instaurant ainsi des périodes froides de Décembre à Février et des périodes chaudes allant d'Avril à Mai.

Quant aux vents, ils sont surtout caractérisés par la présence de l'harmattan en saison sèche, puis s'installe un régime de mousson responsable de la saison des pluies.

1.2.5 Hydrographie - Pluviométrie

En dehors du cours d'eau de la Nakambé, le réseau hydrographique de la forêt classée de Wayen se compose de mares, de marigots qui ne sont utilisables qu'en hivernage, à l'exception de certains forages qui ont un régime permanent.

Par rapport à la pluviométrie on considère l'indice global des zones sahélo-soudaniennes qui est de 4-3-5. Comme défini par Aubreville, la première valeur indique le nombre de mois pluvieux (précipitations : $p > 100$ mm) tandis que la seconde traduit le nombre de mois intermédiaires ($30 < p < 100$ m) et enfin la dernière valeur qui elle est relative au nombre de mois écologiquement secs ($p < 30$ mm).

1.2.6 Sols - Végétation

D'après une étude morphopédologique datant de 1975, les sols du périmètre forestier de Wayen ont été regroupés en cinq grandes formations qui sont :

- Les formations rocheuses,
- La butte témoin cuirassée du niveau intermédiaire,
- Les formations de recouvrement sur altérite montmorillonique,
- Les formations alluviales.

C'est précisément au niveau de cette dernière catégorie de sol qu'ont été installés les différents systèmes de carbonisation que nous avons à tester.

Par rapport à la végétation, en dehors des essences exotiques, les principales essences rencontrées sont les suivantes :

- Acacia campylacantha,
- Acacia pennata,
- Acacia rechmaniana
- Acacia sténocarpa,
- Butyrospermum parkii,
- Anogeissus schimpéri,
- Bombax costatum,
- Cassia sieberiana,
- Diospyros mespiliformis,
- Entada sudanica,
- Guiera senegalensis,
- Parkia biglobasa,
- Piliostigma tonningii,
- Piliostigma reticulatum,
- Pterocarpus erinaceus,

Toutefois, notons que la liste de certaines espèces moins fréquentes pourrait être établie à partir des identifications qui ont été opérées sur les matières premières en prélude aux essais de carbonisation.

C'est donc un mélange de bois provenant de ces différentes essences et celui de l'Eucalyptus camaldulensis qui ont été utilisés pour la carbonisation.

1.3 - LE BOIS : CONSTITUANTS ANATOMIQUES ET CHIMIQUES

Le bois est un matériau hygroscopique à structure fibreuse. A l'échelle macroscopique, on distingue de l'extérieur vers l'intérieur les composantes suivantes :

- le rhytidome qui est vulgairement connu sous le pseudonyme d'écorce,
- le liber,
- l'aubier et le duramen dont l'ensemble constitue le xylème.

En outre, la composition élémentaire du bois varie assez peu avec le type d'essence (5,1,6,8). Ainsi, on admet qu'une masse de bois anhydre contient :

- 49 - 50 % de carbone,
- 6 % d'hydrogène,
- 43 - 44 % d'oxygène,
- 0,2 - 0,5 % d'azote.

Par contre, la constitution chimique du bois varie assez fortement d'une espèce à l'autre. Ainsi, les taux suivants peuvent être retenus (1,6) :

- Cellulose 30 - 35 %,
- Lignine 20 - 40 %,
- Pentosanes 9 - 28 %,
- Mananes et galactanes 0 - 12 %,
- Produits extractibles (résines, tannins, gommés ...)
0,2 - 20 %,
- Matières minérales (cendres) 0,1 - 8 %.

Au cours de la carbonisation, l'écorce ne fournit pas généralement du charbon (6). Dans la plupart des cas, il se réduit en cendre. En outre, il existe une bonne corrélation entre la densité du bois et celle du charbon (1,6). Ainsi, il va sans dire que le duramen aura tendance à produire un charbon beaucoup plus dense que celui de l'aubier. Notons enfin qu'un bois riche en lignine et en produits extractibles donnera

beaucoup plus de charbon qu'un bois riche en carbohydrates (cellulose et pentosane) (1).

1.4 - DEFINITION DE LA CARBONISATION

Au compte des définitions de la carbonisation, nous avons retenu celle proposée par le guide technique de la carbonisation cité en référence bibliographique N°1.

La pyrolyse est une décomposition thermique en l'absence d'air. Il s'agit d'un processus complexe, exothermique à un certain stade mais aussi d'un phénomène général s'appliquant à de nombreuses matières premières. Trois termes couramment utilisés expriment un même processus en mettant toute fois l'accent sur la nature du produit final recherché :

- La carbonisation dont la finalité est le charbon de bois,
- La distillation dont la finalité est le jus pyroligneux,
- La gazeification dont la finalité est le gaz.

Quatre paramètres caractérisent les différents modes de transformation groupés sous le mot de pyrolyse et les résultats obtenus :

- La température finale de réaction,
- Le gradient de montée en température,
- L'appareillage utilisé,
- La matière première de départ.

1.5 - LES DIFFERENTS MODES DE CARBONISATION

Les matières organiques dont en particulier le bois sont susceptibles d'être carbonisées suivant trois grands modes opératoires (1,2,4).

1.5.1 - Carbonisation par source de chaleur externe

Dans ce cas-ci, l'énergie nécessaire à l'amorce de la phase de carbonisation dérive des gaz chauds issus d'un foyer externe et dont le transfert à lieu par le biais d'une surface d'échange.

1.5.2 - Carbonisation par contact direct de gaz chauds :

Cette fois-ci, il n'y a plus de surface d'échange. C'est donc dire que les gaz chauds serpentent directement à travers la charge.

1.5.3 - Carbonisation par chauffage interne : combustion partielle.

Les calories utiles sont fournies par la combustion d'une partie du bois et des matières volatiles combustibles qui ne peuvent être récupérées (7).

1.5.3.1 - Les différentes étapes de la carbonisation en combustion partielle

Celle-ci se déroule en quatre phases bien distinctes qui sont :

- L'allumage :

C'est la phase au cours de laquelle le système de carbonisation est sujet à un maximum d'oxygénation. La charge doit ainsi se procurer une réserve énergétique suffisante pour une autonomie de fonctionnement ultérieure.

- La déshydratation :

Les températures montent jusqu'à 200°C et les réactions sont peu importantes (1). On assiste plutôt à la déshydratation de la matière première accompagnée du départ de quelques substances volatiles. Cette phase est endothermique.

- La carbonisation :

C'est une véritable réaction chimique en ce sens que l'on assiste à une dégradation des constituants les moins stables du bois. Elle a lieu à partir de 280°C avec dégagements de faibles quantités de gaz oxygénés ainsi que des hydrocarbures tels que le méthane, l'éthane ... (1). On peut aussi noter la formation de certains acides et alcools de même que celle du charbon de bois

(1). La variation d'enthalpie qui accompagne cette réaction est négative (16).

- Le refroidissement :

Il marque la fin de la phase exothermique, donc de celle de la carbonisation. Ainsi, on note une baisse progressive de la température jusqu'à des degrés variables suivant les technologies mises en oeuvre.

Le tableau N°2.1 fait état des divers composés obtenus avec l'évolution de la température au cours des différentes phases de la carbonisation. Notons qu'au delà de 80% de taux de carbone fixe, nous avons à faire à des systèmes de carbonisation avec source de chaleur externe en vue d'élever la température finale du charbon ainsi produit, ce qui n'est pas le cas en combustion partielle.

Le mode de carbonisation en combustion partielle est celui qui intervient dans les différents systèmes de carbonisation que nous avons testés.

TABLEAU 21 : Phases de la pyrolyse lente du bois au cours d'une carbonisation lente pour une essence donnée (1,4) : combustion partielle source de chaleur externe

Périodes de carbonisation	Départ de l'eau	Dégagement gaz oxygènes	Début du départ des hydrocarbures	Phase à hydrocarbures Cm Hn	Disso-ciation	Phase à hydrogènes
Température °C	150-200	200-280	280-380	380-500	500-700	700-900
Teneur en carbone (% en charbon)	50-60	60-70	70-78	78-85	85-90	90-95
Gaz incondensables (%)						
CO ₂	68	66,5	55,5	31,5	12,2	0,5
CO	30,0	30,0	20,5	12,3	24,6	9,7
H ₂	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7	80,9
Hydrocarbures	2,0	3,3	57,5	48,7	20,5	8,9
Pouvoir calorifique par m ³ gaz (Mj (kcal))	4,6 (1100)	5,16 (1240)	16,4 (3920)	20 (480)	15,2 (3630)	13,2 (3160)
Constituants condensables sans les gaz	Eau	Eau Acide Acétique	Acide Acétique éthanol Goudron léger	beaucoup de goudrons épais	goudron paraffine	Feu de condensation
Quantité de gaz	très faible	faible	importante	importante	faible	très faible

1.6 - PROTOCOLE D'ESSAIS DES DIFFERENTS SYSTEMES DE CARBONISATION

Il a été conçu en vue de rendre une certaine fiabilité aux essais comparatifs que nous présenterons, tout en intégrant les difficultés pratiques et matérielles de terrain que cela pourrait susciter.

Ainsi, en prélude aux différents tests, les dispositions suivantes ont été prises :

- En matière d'essence, nous avons visé deux objectifs principaux. Il s'agissait d'une part de nous soumettre à des conditions réelles de terrain et d'autre part de considérer une essence témoin qui puisse permettre de contrôler plusieurs "paramètres" à la fois.

. Ainsi, en une première phase, on a utilisé du bois de défriche constitué de mélange diffus d'espèces locales que l'on a pris soin d'identifier à travers leur rhytidome. En second lieu, l'Eucalyptus camaldulensis a été considéré comme essence de référence.

. Les rondins ont été sériés en classes de diamètre (4). Le calibre maximum de la matière première n'a pas excédé 40 cm.

- Les volumes de bois à l'enfournement ont été identiques pour tous les essais (1,4) : 12 - 13 stères.

- Les essais ont été menés sur la base d'au moins quatre carbonisations par système .

- Le savoir faire au cours de la conduite de chaque système a été identique pour tous les essais (1,3).

1.6.1 - Avantages et inconvénients liés à chaque système de carbonisation

Ils ont été relatifs aux aspects ci-dessous indiqués :

- Nature de l'installation,
- Charge utile,
- Chargement ou montage-" habillage"
- Dimensions des matières premières
- Les contraintes liées au défournement,
- Conduite de la carbonisation
- Durée totale du cycle de carbonisation,
- Impact sur l'environnement,
- Actions des divers agents météorologiques
- Mode de tirage

Notons que cette considération des avantages et inconvénients aborde essentiellement les aspects techniques et que les volets économiques feront l'objet d'études détaillées ultérieurement.

1.6.2 Les aspects expérimentaux

1.6.2.1 Etude de l'évolution de la carbonisation au sein des différents réacteurs

La température de carbonisation est certainement le facteur le plus important qui conditionne les propriétés physico-chimiques du charbon de bois (1).

C'est dans cette optique qu'ont été effectuées des mesures de température. Pour ce faire, un enregistreur et six sondes thermocouples ont été utilisés. Ces derniers ont été disposés dans les différents systèmes dont les comportements ont été étudiés par trois fois au moins.

Précisons que ces études se sont rapportées au même type d'essence à savoir l'Eucalyptus camaldulensis.

1.6.2.2 Détermination du taux d'humidité du bois:

Il est une donnée importante dans la carbonisation.

- L'échantillonnage

Il a été opéré suivant les normes prodiguées par le centre technique forestier tropical (C.T.F.T.) et citées en référence bibliographique N° 3.

Ainsi, sur une pile de bois à carboniser, des rondins ont été prélevés à chaque mètre de progression dans le sens de l'horizontal et à tous les 25 cm à la verticale de chaque mètre atteint en projection orthogonale.

Après que les rondins aient été soustraits de la pile de bois, on procède à l'extraction de petites éprouvettes à chaque 25cm sur chacun d'entre eux. Pour ce faire, une scie à chaîne a été utilisée, ce qui offre l'avantage de minimiser les pertes en eau dues à l'échauffement et ceci en comparaison avec une scie manuelle.

- Le séchage à l'étuve

Les éprouvettes ainsi obtenues ont été pesées sur une balance de précision (maximum 16kg - précision 0,01g) puis portées en étuve à 105°C. Par la suite, des pesées journalières ont été effectuées jusqu'à poids constant.

- Calcul de l'humidité du bois

Soit M_h la masse des échantillons humides

Soit M_a la masse des éprouvettes anhydres

$$\text{Humidité sur bois brut: } H_b\% = \frac{M_h - M_a}{M_h} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Humidité sur matière anhydre: } H_a\% = \frac{M_h - M_a}{M_a} \times 100 \quad (3)$$

1.6.2.3 Les aspects physico-chimiques

1.6.2.3.1 Les aspects physiques

Ils ont été quasiment réduits à la mesure de densité apparente du charbon produit au niveau de chaque essai.

- Densité apparente du charbon

Sa détermination a consisté à remplir parfaitement un mètre cube de contre-plaqué d'une quantité de charbon dont le poids a été déterminé au préalable.

1.6.2.3.2 L'échantillonnage

Après chaque test, la meule de charbon ainsi obtenue a été subdivisée en quatre parties égales en vue de prélever une certaine quantité dans chacune d'elles. Les quantités ainsi obtenues ont été homogénéisées après roulage dans un tonnelet puis déversées sous la forme d'une seconde meule de charbon.

Par la suite, les mêmes opérations (prélèvement - homogénéisation) ont été poursuivies jusqu'à l'obtention de près d'un kilogramme de charbon.

En considérant cet échantillon comme étant représentatif de la population mère on a procédé aux analyses chimiques que voici.

1.6.2.3.3 Les aspects chimiques

En prélude à toutes les manipulations, les échantillons de charbon ont été portés en étude à 105°C puis refroidis au dessiccateur. Par la suite ils ont été criblés. Un broyage au mortier et au pilon est suffisant (2). Les résultats ont été analysés sur la moyenne d'au moins quatre tests. Précisons toute fois que nous avons été confronté à certaines difficultés dont en particulier la dégradation des creusets en verre pyrex sous l'action de très hautes températures. En vue de remédier à cette situation, nous avons dû recourir à des creusets en céramique qui ont fait montre d'une grande résistance thermique (1000°C et au delà). Les pesées ont été faites au 1/100000ème de gramme près.

- Détermination du taux de matières volatiles (M.V.) :

Les échantillons ainsi obtenus ont été portés dans des creusets puis élevés à 900°C pendant sept minutes dans un four à moufle (3). Par la suite, ils ont été refroidis au dessiccateur pendant 24 heures avant d'être pesés.

Le taux de matières volatiles exprimé en % a été calculé en considérant le rapport de la différence de poids (D.P.) sur celui du poids du charbon anhydre (m). $MV \% = DP/m \times 100$.

- Détermination du taux de cendres(c):

Les quantités de charbon anhydres (q1.) ont été incinérées à 815°C (1,3) puis, les résidus ainsi obtenus ont été pesés (q2)

$$C \% = q2/q1 \times 100$$

- Détermination du taux de carbone fixe (cf):

Il correspond à la différence entre 100 et la somme des matières volatiles et les cendres totales (1,3.9):

$$cf\% = 100 - (MV + c)$$

- Estimation du pouvoir calorifique théorique

Le pouvoir calorifique d'un combustible désigne la quantité de chaleur que peut dégager la combustion complète d'une quantité déterminée (1 kg pour les solides) du combustible prise à 0°C, les produits de la combustion étant eux-mêmes ramenés aux conditions normales (14). On distingue deux catégories de pouvoirs calorifiques.

. Le pouvoir calorifique supérieur (P.C.S) : La combustion s'effectue à volume constant et l'eau formée au cours de la combustion est condensée. (cas des bombes calorimétriques) (6)

. Le pouvoir calorifique inférieur (P.C.I.): Il est le plus utilisé en pratique (14). Dans ce cas, la combustion s'effectue à pression constante sans tenir compte de la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. (6).

En outre, notons que le pouvoir calorifique est une fonction croissante du taux de carbone fixe (c). L'équation de cette droite est la suivante :

$$P.C.S. (MJ/Kg) = 0,437 \times C - 0,306 \quad (2,10)$$

$$P.C.I (Kj/Kg) : P.C.S - 2508 \times h \quad (1)$$

Avec : h comme étant le % pondéral d'hydrogène contenu dans le combustible et 2508 Kj/Kg étant la chaleur latente de condensation de l'eau à 0°C.

Dans le cas du bois et de son dérivé le charbon, h prend les valeurs respectives de 6% (1) et de 3,3% (4).

- Déterminations expérimentales des pouvoirs calorifiques supérieurs du charbon de bois

Pour ce faire, un calorimètre adiabatique a été utilisé. Son principe est basé sur l'évolution de la température générée par un combustible après ignition et à la correction des calories engendrées par toute substance ou corps étranger à la matière première de départ.

Il offre l'avantage de permettre une lecture directe de l'évolution de la température, et prone par la même occasion une correction des calories générées par la formation de certains acides lors de la combustion.

Ainsi, après manipulations la formule de calcul qui a été adoptée est la suivante :

$$P.C.S \text{ (cal/g)} = (Wt - e1 - e2) / m$$

W = 3218,25 cal /°C : équivalent énergétique

t = élévation de température

e1= volume de la tombée de burette consécutive à la neutralisation de la solution titrante

e2= énergie potentielle contenue dans la portion de l'amorce consommée

m = masse de l'échantillon.

1.6.2.4- Calcul des rendements pondéraux et énergétiques

1.6.2.4.1 - Calcul des rendements pondéraux

Soient : mc la masse de charbon produites et Mb la masse de bois brut.

Les pesées ont été effectuées à l'aide d'une bascule (portée maximale : 200 kg, précision : 100 g) en négligeant toute fois le poids de la paille en comparaison avec la masse de bois brut.

- Rendement sur matière brute (η_b)

η_h or M_b

$$\eta_b = mc/Mb$$

- Rendement sur matière anhydre (η_a)

Signalons que les valeurs de rendement pondéral ont des expressions très variées et que seul le rendement pondéral sur matière anhydre doit être pris en compte pour des comparaisons rigoureuses (1).

$$\begin{aligned}\eta_a &= mc/Ma \\ &= mc/Mh \times Mh/Ma \\ &= \eta_b \times Mh/Ma\end{aligned}$$

Il s'en suit que $\eta_a = \eta_b \frac{Mh}{Ma} (1 - H_b)$

1.6.2.4.2 - Rendements énergétiques de transformation (η_e)

Le rendement énergétique de transformation correspond au rapport entre l'énergie calorifique potentielle du charbon produit et l'énergie calorifique potentielle du bois brut.

($mc \times P.C.I$ du charbon)

$$\eta_e = \frac{mc \times P.C.I \text{ du charbon}}{(P.C.I \text{ anhydre du bois} \times Ma) - E(Mh - Ma)}$$

mc : Masse de charbon produit

Mh : Masse de bois brut en fourné

E : Energie de vaporisation de l'eau contenue dans le bois, soit 2508 kj/kg

Ma : Masse de bois anhydre

P.C.I anhydre du bois (kj/kg) = PCS - 1354

2 TECHNIQUES DE CARBONISATION A LA MEULE CASAMANCAISE

2.1 - Préliminaire :

La meule Casamançaise est une technologie améliorée des meules primitives. Au total, six essais de carbonisation ont été opérés. Le premier (essai N° 1) a été conduit à des fins de démonstration, tandis que le dernier (essai N° 6) a été mis en oeuvre en vue de valoriser les rondins de très gros diamètres ainsi que les différentes quantités de tisons qui ont été produites au cours des multiples tests. Leurs résultats ont été consignés en annexe 2.1 étant donné que les conditions de mise en oeuvre ont quelque peu échappées au protocole expérimental. Ainsi, quatre tests ont été menés conformément au mode opératoire et notre expérience dans la conduite des meules primitives a été d'un appoint appréciable.

* Matériaux utilisés :

- Bois d'espèces spontanées puis d' Eucalyptus camaldulensis
camaldulensis

- Terre

- Charbonnettes (brindilles de bois dont le diamètre n'excédait pas 2cm)

- Ramilles constituées d'un mélange diffus de graminées
dont : = petits tisons

• Choenefeldia gracilis

• Andropogon pseudapricus

• Schysachririum exile

• Cymbopogon giganteus

• Eragrostis sp

*Graine
mal
choisi*

* Matériel utilisé :

- 2 pioches

- 2 pelles

- 2 rateaux

- 1seau

- 1 citerne à eau

* Main d'oeuvre utilisée : 2 ouvriers.

- Principe de fonctionnement

Il consiste à créer un long circuit de gaz à travers une pile de bois enserrée particulièrement et recouverte de ramilles puis de terre. Après l'allumage, l'air comburant est collecté à la base de la meule à travers des entrées aménagées à cet effet. Ainsi, les gaz après ascension s'incurvent puis s'échappent à travers une cheminée située dans le même plan que celui des appels d'air. C'est le principe du tirage inversé. Il offre l'avantage d'obtenir dans certaines limites une auto-régulation de marche (1,3).

(g p 60)

2.2 Choix du terrain

Il est lié à des considérations d'ordre économiques et techniques. Pour les seconds, il est souhaitable de choisir un endroit abrité du vent tout en évitant les bas-fonds et les creux de terrain où l'air est stationnaire(4). Pour des raisons pratique de ratissage de terre, les terrains meubles seront préférables. De même, on évitera les sols qui ont déjà fait l'objet du carbonisation antérieure. Quant aux considérations économiques, elles tiennent essentiellement à la disponibilité de la matière première et à la proximité du marché d'écoulement des produits .

Une fois ces conditions remplies, on procède au défrichage systématique du faulde(site de carbonisation).

3.3 Montage

La première phase consiste en la confection d'une grille circulaire de distribution d'air. Elle est faite de deux couches de bois de dimensions petites et moyennes (7;5;18). Au niveau de la première couche, le bois est disposé radialement tandis que ceux de la seconde sont rangés tangentielllement, perpendiculairement aux précédants. Par la suite, on dispose six appels d'air (2) au niveau des couloirs d'aération et suivant

l'orientation des vents dominants. Du côté opposé aux tuyaux d'aération on place une cheminée faite de trois fûts soudés. La cheminée ainsi fixée comporte quatre déflecteurs qui favorisent une propagation des gaz sous l'aspect de chicanes, induisant ainsi la condensation du jus pyroligneux dont la récupération a été rendue possible par la pipe de condensation fixée à la base de la cheminée.

- On poursuit le rangement tangentiel des billes de bois jusqu'à 50 cm au dessus du niveau du sol(7). L'ordre de progression centrifuge va des grosses billes aux moyennes puis enfin aux petites.

Notons que pour la suite du montage, il n'y a pas de règle stricte à observer étant donné que les avis sont partagés quant au type de chargement vertical ou horizontal(2). Pour des raisons pratiques, nous avons adopté le chargement de type horizontal.

- Une fois les 50 cm atteints, les billes de bois sont disposées horizontalement de façon à ce que la charge ait progressivement une géométrie parabolique.

Signalons qu'au cours du montage, un canal central est successivement alimenté en couches de paille et de menus bois facilement inflammables. Aussi, précisons qu'il est très important d'opérer un enserrrement très dense de rondins en vue de faciliter la conduite et voire même "l'habillage" de la meule.

2.4 " L'habillage "

Il consiste à isoler la meule par le recouvrement de trois couches successives de matériaux.

- On établit une première couche faite de charbonnettes. Elles ont pour rôle de réduire les quantités de ramilles à utiliser et également de créer un canal circulaire d'aération de la meule.

- Par suite, on recouvre l'ensemble de ramilles et enfin de terre.

Le schéma 2.1 donne un certain nombre de détails relatifs au montage et à "l'habillage" de la meule.

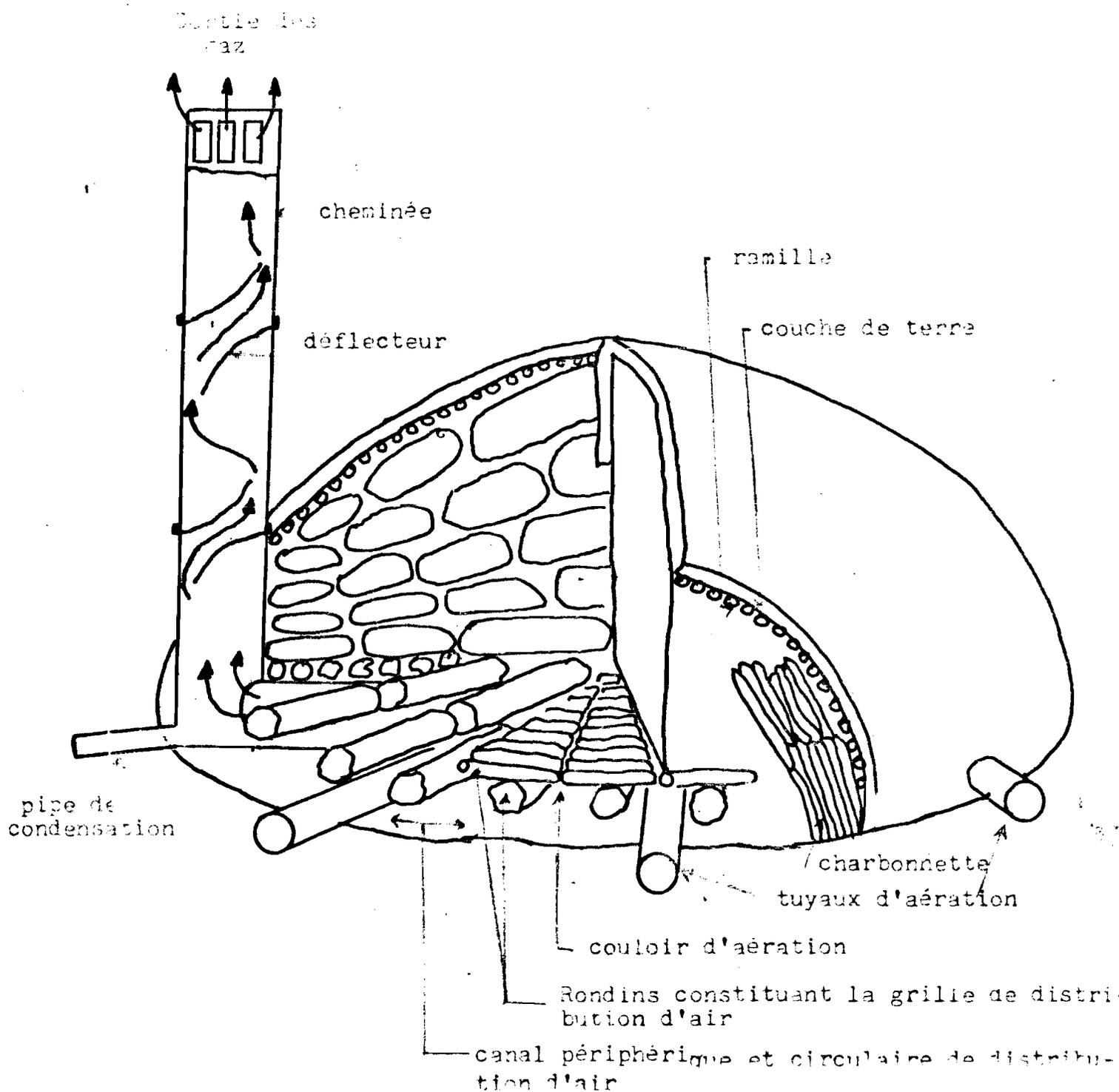


Schéma 2.1. : coupes d'une meule Casamançaise

2.5 - Conduite du processus de carbonisation

2.5.1 - Allumage

- On procède à la mise à feu de la paille continue dans le canal d'allumage au sommet de la meule.

- Le tirage est alors direct et les gaz initialement de couleur noir font progressivement place à un flux de flammes.

- Ainsi, après que l'on soit assuré que la charge a acquis une réserve énergétique suffisante, on procède à la fermeture du goulot d'allumage en y interposant des charbonnettes puis des ramilles et enfin de la terre.

2.5. 2 Déhydratation - carbonisation

Dès l'arrêt de la phase d'allumage, on note un début d'inversion du tirage qui s'effectue par la cheminée.

Celui-ci devient effectif après que l'on ait allumé un foyer secondaire au niveau de la pipe de condensation fixée sur la cheminée. (schemas 2.1)

- Les gaz ayant virés au jaune puis enfin au blanc, amorcent un début de virage au bleu.

- Par la même occasion, on peut observer des braises incandescentes voire des "coups de feu" à travers les événements. Cela dénote une bonne avancée de la phase de carbonisation et l'on procède à la fermeture de tous les tuyaux d'aération.

- Le front de carbonisation de par sa progression a largement couvert la base de la meule. On note alors une recrudescence de gaz au niveau de la cheminée, couplée à un flux de jus pyroligneux qui se déverse par la pipe de condensation.

- Graduellement, on assiste à une période d'activités intenses, d'éboulements sectoriels de la meule, chose qui jusque là était de moindre importance. Les fissures sont alors colmatées à l'aide de ramilles puis de terre.

- De mieux en mieux, la meule diminue en volume en se tassant. Du fait d'une évolution asymétrique du front de carbonisation, cet affaissement se produit initialement du côté auvent avant de se propager vers le côté sous le vent.

- Après une certaine période de fonctionnement, on note un arrêt du tirage après que les gaz soient devenus très légers et blanchâtres. c'est la fin de la phase de carbonisation.

Précisons que le bon déroulement des phases de déshydratation et de carbonisation nécessitent la présence effective du carbonisateur (diurne comme nocturne).

2.5. 3 Le refroidissement

- Il s'agit de rendre étanche la meule en vue d'éviter toute combustion inutile. Pour ce faire, l'on retire la cheminée après quoi l'on procède au renforcement de la couche de revêtement avec un nouvel apport de terre.

- Dès lors que la meule a été étanchée, la présence quasi permanente de l'opérateur n'est plus nécessaire. Cependant, des interventions ponctuelles en vue de boucher quelques brèches seront utiles jusqu'au défournement.

2.5.4 Défournement :

Il consiste en la sortie du charbon. C'est une opération assez délicate en ce sens qu'il s'agit d'éviter que le charbon soit souillé et qu'il se réinflamme après entroposage. Ainsi, un grand savoir faire est attendu de l'opérateur.

Dans le cadre de nos essais, la vitesse du vent d'harmattan était telle que nous avons dû utiliser de l'eau pour éteindre le charbon qui s'enflammait spontanément. Le tableau 2.2 fait état des temps observés lors des différentes phases de la carbonisation des essais qui ont été menés.

TABLEAU N° 2.2

N° ESSAI ---->	2	3	4	5	6	μ	σ
Allumage (mn)	10	13	9	12	8	11	2
Déshydratation- carbonisation (h)	21	18	25	23	26	22	3
Refroidissement (h)	144	168	144	144	192	150	10
Durée du cycle total (h)	165	186	169	167	218	172	8

En dehors de l'essai N°6, on peut considérer que la durée moyenne des tests a été d'environ une semaine avec un écart type de 8 heures, ceci étant lié à des contraintes techniques apparentées au refroidissement. Précisons que ces variations de temps sont intimement liées aux conditions atmosphériques, aux dimensions et à l'humidité des rondins enfournés.

2-6 RESULTATS EXPERIMENTAUX

2-6-1 Etude de l'évolution de la température au sein de la meule

Après observation du comportement de la meule au cours de trois processus de carbonisation, on s'est aperçu que celle-ci évoluait de façon assymétrique dans le temps. Nous pensons que cette hétérogénéité de l'évolution de la carbonisation est liée à la vitesse plus ou moins grande du vent d'harmattan. Dans ces conditions, les sondes thermométriques ont été installées conformément au schéma 2.2 ci-dessous.

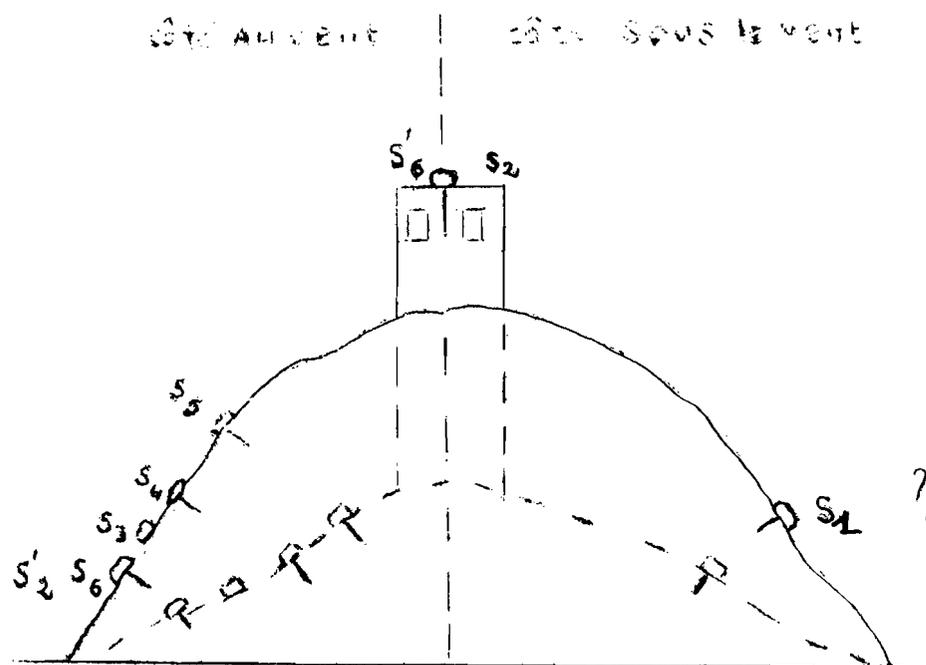


Schéma 2.2: Disposition des sondes thermométriques

Au total, deux études d'évolution de température ont été menées et des difficultés pratiques nous ont contraint à intervertir les sondes S2 et S6 au cours du second test (essais N°5), d'où les dénominations S'2 et S'6. Par rapport aux sondes elles mêmes, disons que celles-ci avaient un rayon d'action de 50cm et les dispositions ont été faites de façon qu'elles explorent les mêmes zones quel que soit le mouvement de la charge. La ~~sixième~~ sonde devait enregistrer les variations de

3e

température au niveau de la paroi de la meule. Quant aux sondes S2 et S6 celles-ci devraient suivre l'évolution thermique des gaz à la sortie de la cheminée.

Les courbes des figures 2.3 et 2.4 traduisent les variations de température qui ont été opérées respectivement au niveau des essais N°4 et 5.

2-6-2 Analyse des courbes

L'analyse des mesures de températures revêt un caractère important en ce sens qu'elle permet de rendre compte des propriétés physico-chimiques du charbon de bois aussi produit. Cependant, eu égard à la faiblesse du nombre de suivis qui ont été opérés, nous nous contenterons de formuler un certain nombre d'hypothèses.

Aussi, à travers les courbes N°4 et N°5, l'on peut d'ores et déjà affirmer que la température maximale de carbonisation est variable suivant les conditions d'aération et la position spatiale des rondins dans la meule. C'est dire donc que l'échantillonnage du charbon à analyser est d'une grande importance étant donné que nous avons des produits formés à différentes températures. D'une manière générale, on peut estimer que la température de production du charbon est comprise entre 275°C et 525°C, ce qui est conforme à la fourchette de valeurs proposées par certaines littératures (1,8).

En outre, il y a lieu de signaler que l'évolution de la carbonisation s'effectue de la base vers le haut, quelques instants après que la phase d'allumage ait été amorcée. Ainsi, par rapport aux sondes qui ont été disposées du côté au vent, les différents graphes attestent que la sonde thermométrique N°6(2) est la première à atteindre son maximum ensuite S4 et enfin S5. Cela est d'autant plus vrai que le maximum d'oxygène parvient initialement à la base de la meule avant d'être ventilé par ascension dans le reste de la charge.

Précisons que l'évolution de la carbonisation au niveau de l'essai N°5 revêt un caractère homogène étant donné que la sonde N°4 et son homologue du côté sous le vent (S1) sont parvenues à leur maximum dans la même période de temps. Cela dénote le fait qu'il est assez difficile de prévoir le comportement d'une meule

compte tenu des variations de conditions atmosphériques. Les seconds pics enregistrés après 104 heures de carbonisation (essai N°5) sont imputables à une défaillance de contrôle au cours des suivis, provoquant ainsi une combustion vive du charbon à travers les brèches ainsi créées. En outre, il y a lieu de préciser, le caractère élevé des températures du charbon de bois lorsque celui-ci arrive à terme. En effet elles sont de l'ordre de 100 à 400°C étant donné que la meule n'a pas une structure étanche. Cette insuffisance a été aggravée par la violence des vents d'harmattan qui ont régnés sur le site. L'absence des relevés de température de cheminée s'explique par le fait que les fils de connection ont occasionné des court-circuits après avoir été brûlés.

A titre indicatif, si l'on considère la sonde thermométrique N°4 et son homologue du côté sous le vent (S1) au niveau de l'essai N°5 on peut faire une certaine approche quant à l'influence de la vitesse du vent sur le déroulement de la carbonisation. En effet, après 16 heures de marche environ, les rondins situés aux environs des deux sondes S1 et S4 ont atteint leur maximum de température de carbonisation avec un différenciel de 40°C environ. Par la suite, la chute de température au niveau de la sonde S1 s'est faite beaucoup plus rapidement comparativement à celle de (S4) qui a été empêchée par une aération superflue. Enfin de cycle, les températures de paroi du côté auvent (S3) sont apparues comme étant supérieures à celles enregistrées par S1 du côté sous le vent. C'est dire que les entrées massives d'air prolongent la durée du cycle de carbonisation et contribuent ainsi à une baisse de rendement.

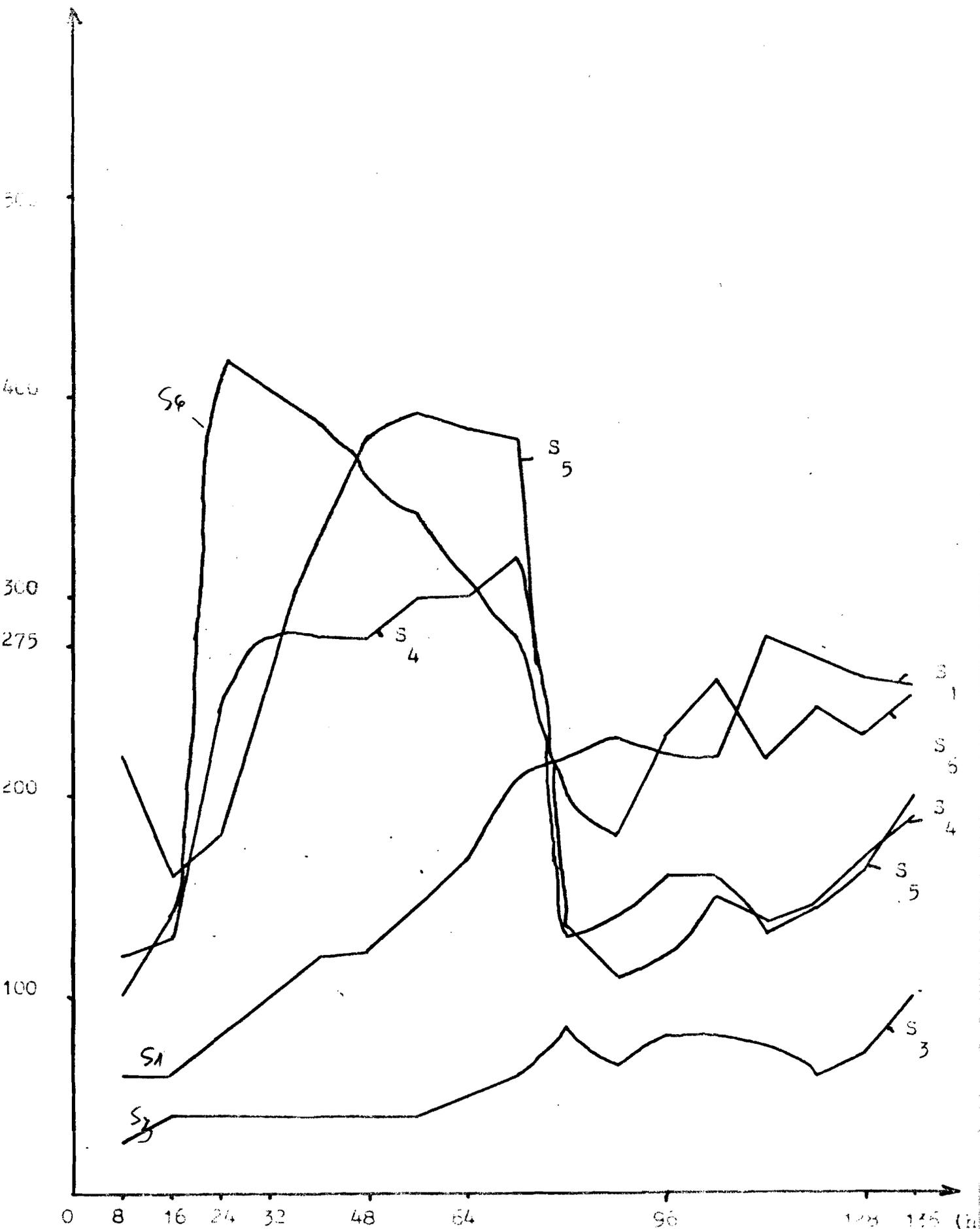


Fig : 2.3. Courbes de température de l'essai N:1

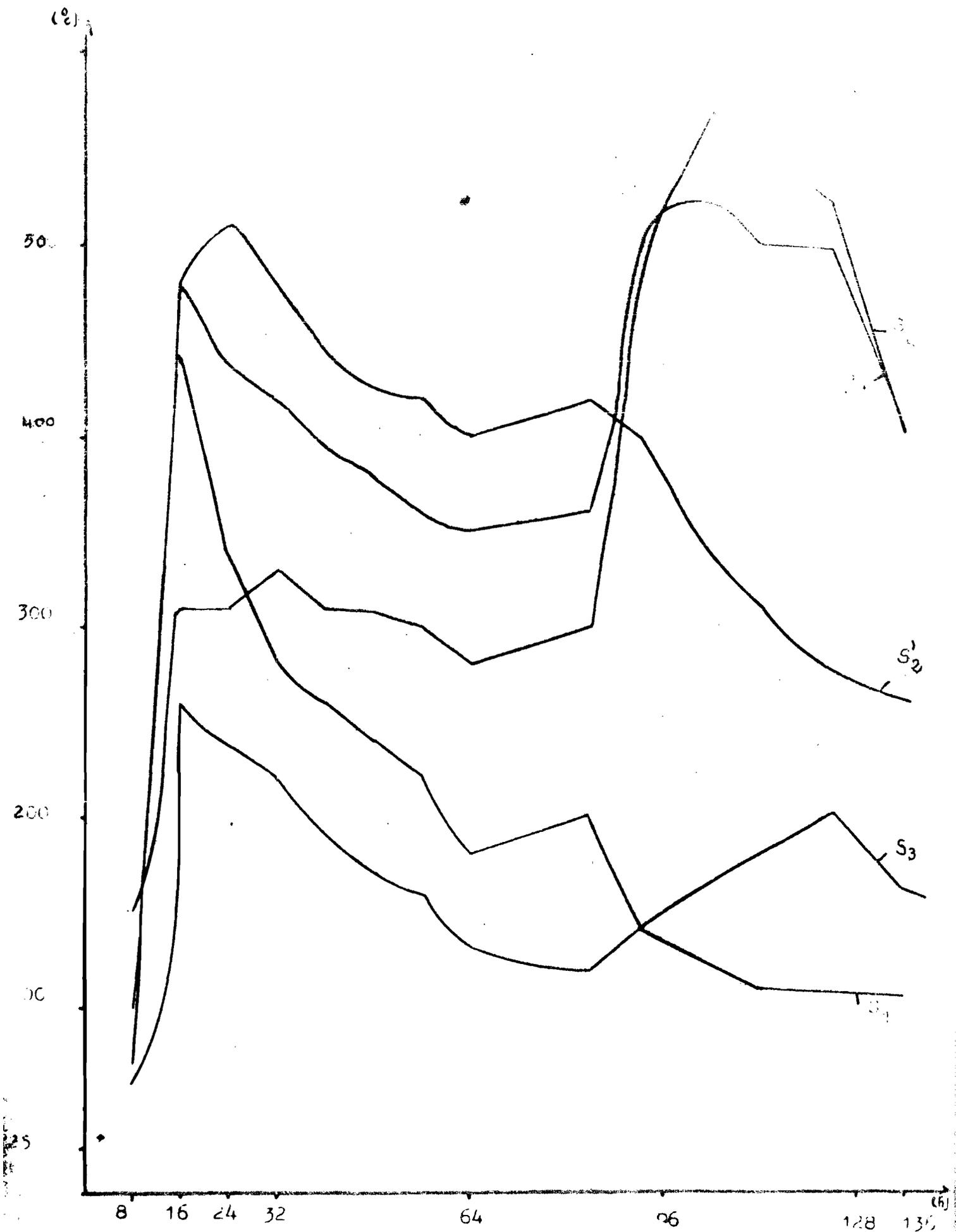


Fig: 3.4 Courbe de température de l'essai N:5 Echelle: OX 1cm --- 8h Y 4cm --- 100

2-6-3 Analyses physico-chimiques du charbon

D'après le tableau 2.3, on peut faire un certain nombre d'analyses quant aux propriétés physico-chimiques du charbon de bois.

La densité apparente moyenne au niveau des bois de défriche (272Kg/m³) est supérieure à celle du charbon issu du bois d'Eucalyptus (252Kg/m³).

Cela est intimement lié à la composition chimique de la matière première de départ. En effet, lors des manipulations, le criblage du charbon dérivant des espèces spontanées et de l'Eucalyptus a été opéré de façon différente compte tenu de l'écart de diamètre existant entre les rondins des deux séries de test. Ainsi, on devrait s'attendre à ce que le volume du charbon issu de l'essence de référence pèse beaucoup plus que celui du charbon des bois de défriche parce qu'ayant un coefficient d'encombrement élevé et une plus faible granulométrie de charbon.

Cette hypothèse n'étant pas confirmée par les résultats expérimentaux, on peut affirmer que le différentiel de densité apparente du charbon est imputable à la densité réelle de la matière première de départ.

D'une manière générale, la valeur moyenne est de 262 Kg/m³. Du point de vue du commerce international, les valeurs retenues sont comprises entre 250 et 280 Kg/m³ (5), ce qui donne une certaine satisfaction à la qualité du charbon produit en meule.

Pour en venir au taux de matières volatiles, on note une certaine homogénéité sur l'ensemble des résultats obtenus. Le taux moyen (μ) est de 29% avec un écart-type de 2%. L'on pourrait donc penser que cette donnée est indépendante du type d'essence mais plutôt liée au système de carbonisation mis en oeuvre. En outre, le charbon ainsi produit est de bonne qualité étant donné qu'un bon charbon doit contenir environ 30% de taux de matières volatiles (5).

Par contre, l'analyse des taux de cendres revêt un caractère hétérogène, soit une moyenne générale de 4% pour une déviation standard de 2%. Cette hétérogénéité pourrait être liée au type d'essence vue la constance des données tant au niveau de la carbonisation des bois de défriche ($\mu_1=6\%; \hat{\sigma}=1$) qu'au niveau de celle de l'essence de référence ($\mu_2=2\%; \hat{\sigma}=0$).

En effet, les bois tropicaux ont en majorité des valeurs des taux de cendres comprises entre 0,5 et 2,5% (1), ce qui revêt une certaine hétérogénéité. Au cours de la carbonisation, les matières minérales (cendres totales) contenues dans le bois subsistent en totalité dans le charbon résultant (1). Ainsi, la composition en cendre d'un charbon issu d'une meule pourrait être effectivement indépendant de la technologie mise en oeuvre.

En considérant un rendement pondéral de 28% à la meule, cela voudrait dire que les taux de cendre escomptés devraient être compris entre 2% et 9%. Ainsi l'observation du tableau des résultats expérimentaux permet d'accorder un certain crédit à la valeur moyenne de 4% qui a été obtenue .

Par ailleurs ,notons que la variation des taux de cendres a provoqué une hétérogénéité des taux de carbone fixe. La faiblesse du taux de cendres dans le charbon d'Eucalyptus fait que ce dernier renferme un plus fort taux de carbone fixe (71%). Il en est de même pour son pouvoir

calorifique théorique (31MJ/kg) qui est fortement dépendant du taux de carbone fixe.

Cependant, on peut noter une faible différence entre les pouvoirs calorifiques supérieurs (PCS) théoriques et déterminés expérimentalement. Ils présentent une homogénéité relative quant à leur expression en MJ/kg. D'une manière générale, le pouvoir calorifique supérieur qui a été enregistré est de l'ordre de 30MJ/kg ce qui est conforme aux normes généralement admises (27,2-33,4MJ/kg) (1).

ANALYSES PHYSICO-CHEMIQUES DU CHARBON

7

Tableau 2.3 : Résultats des analyses physico-chimique
 N.B. Les essais n° 4 et 5 sont relatifs au charbon
D'Ancahytus

ESSAIS (N°)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densité apparente du charbon de bois : g/cm ³	868	875	872	9	853	850	852	2	852	10
Taux de matières volatiles : %	27	28	21	3	28	27	27	1	29	2
Taux de cendres : %	5	5	6	1	2	2	2	-	1	2
Taux de carbone fixe : %	66	68	63	2	70	72	71	1	67	4
P.C.S. calculé à partir du taux de carbone fixe: (kJ/kg)	29	30	29	1	30	32	31	1	30	1
P.C.S. Déterminé expérimentalement Kcal/kg (kJ/kg)	6942 (29)	6706 (28)	6809 (28)	103 (1)	7372 (30)	7172 (30)	7522 (32)	350 (1)	7105 (30)	640 (2)

2.6-4 Calculs de rendements pondéraux et énergétiques

Par rapport à la situation de la biomasse avant carbonisation, quatre paramètres influençant le rendement pondéral ont été retus à travers le tableau 2.4. Ce sont:

- le type d'essence
- la dimension des rondins
- l'état sanitaire de la matière première
- le pourcentage d'écorce

Par rapport au type d'essence, et parmi les espèces qui ont été identifiées, l'Anogeissus leiocarpus apparaît comme étant la plus importante au niveau des deux tests N2,3. En effet, cette essence correspond respectivement à 17,5% et 7,4% du total des quantités enfournées.

Quant à la répartition de la biomasse suivant des classes de diamètre, force est de constater que plus des trois quarts des rondins du premier test étaient de gros bois (diamètre > 20 cm) contrairement au second essai dont la moitié de la charge était constituée de rondins de dimensions intermédiaires.

Par ailleurs, sur l'ensemble des billes de bois qui ont été enfournées, on a constaté que certaines d'entre elles avaient fait l'objet d'attaques d'insectes et champignons du genre *Ganoderma*. Ainsi, comme critère d'appréciation du degré de dégradation de la matière ligneuse, il a fallu que celle-ci "tienne bien le clou" (4). Notons que l'essentiel des rondins attaqués était sans écorce en dehors du cas particulier de l'Acacia seyal que nous évoquerons en guise d'observation. De fait, les rondins de la charge de l'essai N2 présentent moins de cas d'attaques (13%) par rapport à ceux de l'essai N3. (32,2% de cas de dégradation de matière ligneuse).

L'écorce ayant été l'élément privilégié dans l'identification des espèces, on en a profité pour estimer les proportions de bois qui ont été carbonisées sans écorce. C'est dire donc que près de la moitié du volume de la biomasse de l'essai N°2 était sous écorce contre plus de 80% au niveau du test N°3.

A priori, en dehors des essais 4 et 5 dont les charges sont assez homogènes, l'on peut affirmer que l'essai 3 pourrait fournir un bon rendement de carbonisation étant donné que l'une

des conditions à son aboutissement est que la matière première soit saine. (1,4,5)

Observations

Initialement, nous avions environ 200 stères de bois de défriche dont certaines renfermaient des rondins d' Acacia seyal fraîchement débités. Nous avons été surpris par le fait qu'en dehors de ce dernier, aucune des autres espèces enstérées n'a fait l'objet d'attaques immédiates. En effet, après récoltes puis identification, il s'est avéré que l'agent pathogène est l' Apaté monachus de la famille des Bostrichidae. Son appareil buccal est du type broyeur, lui conférant ainsi un régime à caractère essentiellement xylophage.

Comme hypothèse à la prédisposition de l' Acacia seyal vis à vis de telles attaques, on pourrait penser au caractère très volatile des produits de synthèse responsables de sa défense immunitaire.

C'est dire que pour des peuplements à dominance Acacia Seyal et devant faire l'objet de carbonisation, il serait impératif que le processus de conversion se passe dès les premières semaines qui suivront le défrichement. Dans une moindre mesure, cette disposition pourrait également être prise dans le cas des peuplements à Combretum glutinosum.

Qu'en est-il après carbonisation ?

(19) Spécial Energie Programme

Kenya : Background - Current activities - out look for the future - 25 p.

(3) P. ZIMMER (1985) - Recherche sur la résistance des matériaux de construction pour les foyers améliorés en banco
66 p.

(21) Revue bois de feu information N°19 4è trimestre 1986

(22) Bureau international du travail - Genève Février 1986

Etude sur l'utilisation des bois de défriche des barrages de Kompienga et Bagré au Burkina Faso

TABIEAU 2.4 POURCENTAGE DES DIFFERENTES ESPECES SUIVANT
DES CLASSES DE DIAMETRE

Les essais N° 4 et 5 sont ceux relatifs aux bois d'Eucalyptus camaldulensis

N.B : ENI : espèces non identifiées.

Classede diamètre (Cm) Essences%	ESSAI N°2				ESSAI N°3				ESSAI N°4	ESSAI N°5
	5,10	10,20	20,30	TOTAL	5,10	10,20	20,30	TOTAL	9,15	9,15
<u>Anogeissus</u>										
<u>Leiocarpus</u>	1,3	4	5,2	17,5	7,4			7,4		
<u>Tamarindus</u>										
<u>Indica</u>		1,5	8,5	10						
<u>Détarium</u>										
<u>Microcorpa</u>			1,7	1,7						
<u>Ptérocarpus</u>										
<u>Erinaceus</u>			1,3	1,5						
<u>Entada</u>										
<u>AFRICANA</u>			5,3	5,3	2,1	4,9		7		
<u>Diospyros</u>										
<u>Nespilifor-</u>			2,8	2,8						
<u>Mis</u>										
<u>Balanites</u>										
<u>Gegyptiaca</u>		4		4	3,6			3,6		
<u>Lannea</u>										
<u>Acida</u>	1,7	3,3		5						
<u>Acacia</u>										
<u>Seyal</u>	1,7			1,7						
<u>Eucalyptus</u>										
<u>Camaldulensis</u>									100	100
E.N.I. de bon Etat Sanitaire			42	42	14	14,9	21,1	50		
E.N.I De mauvais Etat Sanitaire			11	11		21,2	41	32,2		
TOTAL %	5	20	78	103	20	48	32	100	100	100

- Rendements pondéraux

Comme indiqué sous la rubrique des informations préliminaires, les essais N°1 et N°6 ne seront pas pris en compte dans l'évaluation des rendements pondéraux à la meule casamangaise. Leurs résultats ont été consignés en annexe N°2.1. Cependant, nous tenterons de donner des explications quant à la nature des résultats obtenus.

Ainsi, nous avons initialement réalisé un rendement pondéral de 6% (sur matière brute) ce qui est très faible étant donné que les résultats escomptés devraient être dans la fourchette de valeurs comprises entre 20 et 25% (1).

Du point de vue de la nature des rondins qui ont été enfournés, on peut évaluer à 15% l'ensemble de ceux qui ont fait l'objet d'attaques de diverses formes.

Ce faisant, nous estimons que la faiblesse notoire du rendement pondéral est quasiment imputable à la très mauvaise mise en oeuvre qui a été opérée et ceci pour les raisons suivantes :

- Le cycle de carbonisation s'est étalé sur environ quatre semaines, ce qui est inconcevable pour une meule de 40 stères.

- Le manque de suivi au cours des journées qui ont suivi les premières 24 heures du cycle.

- La cheminée a été maintenue fixée à la meule durant tout son cycle induisant ainsi des courants d'air favorables à la combustion du charbon produit.

- Le montage de la meule s'est déroulé suivant une pente très abrupte ce qui a occasionné des difficultés "d'habillage" et voire même de conduite. A l'opposé, le dernier test (essais N°6) a permis d'obtenir un rendement pondéral fort appréciable de 30% confirmant ainsi le fait que le rendement pondéral est une fonction croissante de la siccité du bois (1). En effet, les tisons ayant amorcés la phase de déhydratation ont constitué près de 52% du total de la charge à convertir. En outre, le tableau relatif à la durée des différentes phases atteste un temps de déhydratation suivi de carbonisation beaucoup plus long (26 heures) en raison de la dimension des rondins.

Pour en venir aux résultats expérimentaux (cf tableau 2.5) proprement dits, précisons que les pesées de charbon ont été opérées au moins une semaine après que celui-ci ait repris l'oxygène, de l'humidité atmosphérique et peu d'eau d'extinction.

Par rapport aux tests qui ont été exclusivement menés au bois de défriche, il y a lieu de noter le caractère quelque peu disparate des rendements pondéraux anhydres. Ainsi, nous avons obtenu une valeur moyenne de 23% pour une déviation standard relativement importante et de l'ordre de 4%. Ceci est le reflet de la fluctuation des paramètres qui ont caractérisés la charge à enfourner, étant donné que le savoir-faire relatif au processus de carbonisation est resté constant. En effet, cette charge était à 32% constituée de rondins ^{attaqués} ~~attaqués~~ ^{dan le test N°3}, confirmant ainsi la règle qui veut que toute matière première d'un mauvais état sanitaire produise difficilement du charbon. Ainsi, en faisant fi du pourcentage de bois attaqué, le rendement maximum escompté aurait pu être de l'ordre de 28% homogénéisant ainsi les résultats sur l'ensemble des deux tests.

Par ailleurs, notons que le gaspillage d'énergie opéré lors de la décomposition thermique des rondins ^{attaqués} de l'essai N°3. est en relation avec la faiblesse du rendement de production de tisons (1%)^{qui} est jugé fort satisfaisant étant donné qu'il est inférieur à 2% (17).

Pour ce qui est des deux derniers tests (N°4 et N°5) opérés avec l'essence de référence à savoir l'Eucalyptus camalduleusis, force est de constater le caractère homogène des résultats. Concernant le rendement pondéral moyen (33%), celui-ci diffère significativement de la valeur obtenue du niveau des bois de défriche. (23%) Les raisons essentielles sont:

- La rectitude des rondins
- Leur bon état sanitaire
- L'unicité de la classe de diamètre des rondins
- Le caractère monospécifique de l'essence.

Tous ces arguments ont permis de réaliser un chargement très dense, facilitant ainsi la conduite de la carbonisation et limitant par la même occasion la présence de "coups de feu" induisant des combustions inutiles de biomasse.

En guise de synthèse, le calcul de l'intervalle de confiance (Cf. ANN 2.2) a révélé qu'il est fort probable que le rendement pondéral moyen (sur matière anhydre) obtenu sur l'ensemble des tests puisse être circonscrit dans les limites comprises entre 17 et 38%. Cependant, il y a lieu de ne pas perdre de vue que l'importance de cet intervalle a été fortement influencée par la faiblesse du rendement de l'essai N°3 occasionnant ainsi une forte majoration de la borne supérieure, et une minoration de la borne inférieure. Cet intervalle de confiance, confirme les difficultés qu'il y a dans la conduite d'une meule et traduit par la même occasion une forte variabilité des résultats d'un essai à l'autre.

TABLEAU 25 : EVALUATION DES DIFFERENTS RENDEMENTS PONDERAUX

Rappel : η_a = rendement de production sur matière anhydre
 η_b = rendement de production sur matière brute

ESSAIS	2	3	M_1	M_1	4	5	M_2	M_2	M_1	6
Volume (STR)	12	12	-	-	13	15	-	-	-	-
Matière brute (Mb) kg	3075	2859	2967		3568	2821			3081	298
Humidité du bois (sur matière brute) %	5	7	6	1	19	16	18	2	12	6
Matière brute anhydre : kg	2921	2659			2890	2470			2710	221
Charbon marchand : kg	803	502			979	758			756	171
Tisons(kg)	145	41			196	153			144	63
Volume charbon marchand (l)	2,5	1,9	2	0,4	3,9	2,9	3,4	0,7	2,8	07
η_b charbon marchand %	26	18	22	4	27	26	27	1	24	4
η_a charbon marchand %	27	19	23	4	34	31	33	2	28	6
Poussier %	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
η_b charbon marchand (STR) kg (STR)	67	42	55		75	57	66		60	12
η_a tisons %	5	1	3	2	5	7	6	1	5	2

- Rendement énergétique de transformation (re)

Les différents rendements énergétiques de transformation figurant sur le tableau 2.6 ont été calculés conformément au protocole expérimental tout en considérant les données supplémentaires qui suivent:

P.C.S anhydre et moyen des bois de défriche: 18360 kJ/kg

P.C.S anhydre de l'essence de référence: 18325 kJ/kg

Précisons qu'il n'y a pas de corrélation parfaite entre le pouvoir calorifique d'un bois et celui du charbon qui en résulte (6). Ainsi, l'analyse sectorielle du tableau permet d'envisager un meilleur pouvoir calorifique pour le charbon d'Eucalyptus en comparaison avec celui des espèces spontanées. Aussi, la différence très nette entre les pouvoirs calorifiques des essais N°4 et 5 pourrait s'expliquer par le fait que les températures maximales de carbonisation et même de combustion au niveau de l'essai N°5 ont été supérieures à celles de l'essai N°4 (cf courbes de température). Cette situation confirme le fait que l'élévation de la température maximale de carbonisation contribue à baisser le taux de matières volatiles contenu dans le charbon.

Par ailleurs, la différence entre le rendement énergétique de transformation sur le pouvoir calorifique brut (PCS) et celui qui a été calculé sur la base du pouvoir calorifique net (PCI) est de l'ordre de 2%. Dans tous les cas, en nous situant dans le cas le plus pessimiste, et en négligeant la participation énergétique de la paille utilisée pendant l'allumage, cela voudrait dire que la production de charbon marchand à la meule nécessite une perte énergétique de 48%. Bien entendu, cette perte énergétique est surestimée du fait de l'énergie potentielle contenue dans les 5% de tisons et dans le poussier que nous n'avons pas pu évaluer quantitativement. Néanmoins, ce facteur de conversion peut être considéré comme étant satisfaisant vu que les pertes énergétiques sont généralement estimées à plus de 50% dans le cas des systèmes de carbonisation en combustion partielle. De façon précise, les rendements énergétiques y sont compris entre 30 et 50% (1).

Rendement énergétique
de transformation (Re)

Tableau 2.5

Notons que les pouvoirs calorifiques de charbon qui ont été considérés sont ceux relatifs à la détermination expérimentale.

ESSAIS N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PCI bois : Kcal/kg	4060	4060	4060	-	4060	4060	400	-	4060	4
PCI CHARBON Kcal/kg	6714	6546	6631	409	769	6994	7844	790	6985	500
Masse de bois brute: kg	2975	2859	2967	106	3268	2831	3105	274	3031	298
Masse de bois anhydre: kg	2981	2859	2790	101	2890	2670	2651	260	2710	221
Masse de charbon: kg	309	502	659	151	979	1758	659	121	1756	171
Re(en PCI):%	47	32	40	8	75	31	30	7	94	16
Re (en P.C.S.):%	45	30	38	8	73	29	26	7	92	16

2-7 Les avantages et inconvénients

A travers le tableau 2.7, on remarque que la meule casamançaise comporte plus d'avantages que d'inconvénients. Cependant, il y a lieu de noter que ses inconvénients majeurs sont relatifs aux faits qu'elle nécessite beaucoup de main d'oeuvre et qu'elle est difficile à contrôler en période de vent fort. En outre, la pluie constitue un inconvénient pour la meule en ce sens qu'elle favorise la condensation de certains produits qui seront réabsorbés par le charbon déjà produit. Ainsi, ces substances auront tendance à détériorer les emballages en jute et à dégager des gaz nocifs lors de l'utilisation domestique de charbon.

Quant aux principaux avantages du charbon, ceux-ci sont liés à la mobilité de son installation et à la possibilité de carboniser directement de gros rondins. Ainsi, la meule permet une réduction du coût de transport et de débitage des rondins à carboniser.

Tableau 1.7 Avantages et inconvénients liés à la production du
charbon à la meule CASI INCAISE.

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
Installation	La mobilité permet de réduire le coût de transport du bois;	-
Charge utile	Très variable	-
Dimension des matières premières	Ne constitue pas un frein à la mise en oeuvre de la technologie	-
Montage - "Habillage"	Le montage est facile car il s'opère en milieu découvert	L'habillage nécessite beaucoup d'efforts physiques.
Conduite de la carbonisation	Facile en l'absence de vent fort.	Nécessite la présence quasi-permanente de l'opérateur pendant au moins 24 heures.
Action des divers agents météorologiques.	-	Très vulnérable à la pluie et au vent
Mode de tirage	Il est indirect et occasionne une autorégulation de marche	-
Réfournement	-	Fastidieux et nécessite un <u>grand</u> savoir-faire
Impact sur l'environnement	La condensation du jus pyroligneux réduit la pollution de l'air.	-
Durée total du cycle de carbonisation.	-	Elle est longue en raison de la lenteur de refroidissement.

CONCLUSION

L'étude de la meule casamançaise sous ses différents aspects a permis de cerner un certain nombre de paramètres qui doré et déjà peuvent être considérés comme étant des règles de carbonisation. Par contre, certaines hypothèses ne peuvent faire l'objet de considérations généralisées eu égard à la faiblesse des échantillons et aux conditions toutes particulières dans lesquelles les essais ont été conduits.

L'étude de l'évolution de la température au sein de la meule casamançaise a permis de se rendre compte que celle-ci conditionne à la fois la qualité et la quantité du charbon ainsi produit. Mais au préalable, il est apparu que la température maximale de carbonisation était variable suivant la position spatiale des rondins dans la meule compte tenu des conditions d'aération. C'est pour ainsi dire que le prélèvement des échantillons de charbon devant faire l'objet d'analyses physico-chimiques doit revêtir un caractère très important.

Pour en venir à l'aspect qualité du charbon de bois qui est fonction des analyses physico-chimiques qui ont été menées, il s'est avéré que la température finale du charbon conditionne le taux de matières volatiles et indépendamment du type d'essence. Ainsi, il s'en suit que toute baisse de taux de matières volatiles suite à une élévation de température finale de réaction affecte nécessairement le rendement pondéral du charbon. Sur l'ensemble des essais, nous avons obtenu un taux moyen de matières volatiles de l'ordre de 29% qui a été jugé fort satisfaisant. Par contre, le taux de cendres est apparu comme étant indépendant de la technologie mise en oeuvre mais plutôt lié au type de matière première enfourné. Le taux moyen qui a été enregistré est de 4%.

Par rapport au taux de carbone fixe, celui-ci subit les mêmes variations que celles du taux de matières volatiles. Etant donné que le taux de carbone fixe détermine le pouvoir calorifique du charbon de bois, il ressort que ce dernier dépend à la fois du type d'essence et des conditions de mise en oeuvre de la technologie de carbonisation. La valeur moyenne brute obtenue à la meule casamançaise est de 30 MJ/Kg. De plus, il s'est avéré que l'estimation du pouvoir calorifique connaissant

le taux de carbone fixe est une donnée aussi fiable que celle déterminée expérimentalement au calorimètre du moins dans les cas où la précision est peu rigoureuse.

Outre la température, certains paramètres d'ordre technique sont à même d'influencer sérieusement le rendement pondéral.

En effet, la matière première affecte positivement le rendement de par les caractéristiques suivantes:

- la rectitude des rondins
- leur bon état sanitaire
- l'unicité de la classe de diamètre et de la longueur des rondins
- l'humidité du bois

Le diamètre, l'humidité du bois et le volume de la charge conditionnent la durée du cycle de carbonisation. Ainsi, toutes ces caractéristiques de la matière première permettent d'assurer un chargement homogène et très dense, ce qui améliorent le rendement énergétique de transformation (66% en P.C.S) tout en facilitant la conduite de la carbonisation, étant entendu que le suivi doit être rigoureux. Le rendement pondéral sur matière anhydre a été de 28% ce qui est concevable avec un taux de carbone fixe de 68%.

D'un point de vue pratique, la meule casamançaise offre l'avantage d'être mobile et d'assurer la conversion de matières premières de tailles variables dans une certaine limite. Cette situation conduit à une réduction considérable des coûts de transport et de débitage des rondins à carboniser. A l'opposé, les inconvénients majeurs traduisent son caractère rustique, nécessitant beaucoup plus d'efforts physiques lors de "l'habillage" et une présence quasi-permanente lors des premières 24 heures qui suivent la phase d'allumage.

Ainsi, toutes ces considérations constituent une base de réflexion à la formulation de perspectives d'améliorations relatives à la carbonisation en meule casamançaise.

- Propositions d'amélioration du système

1 Par rapport au montage et à "l'habillage"

- La réalisation d'un revêtement de terre assez épais en vue d'éviter l'entrée de quantités d'air en excès.

- Un montage de rondins suivant une pente assez faible en vue de faciliter l'adhérence de la terre lors de "l'habillage".

- Lors du défournement du charbon, l'on sait aperçu que la plupart des tisons étaient issus des rondins qui étaient en contact direct avec le sol. Ainsi, nous proposons que la grille de distribution d'air puisse reposer sur des charbonnettes en vue d'éviter le contact direct des rondins avec le sol et d'améliorer ainsi le taux de tisons.

- Les études de températures ayant conclu à une évolution de la carbonisation de la base vers le sommet, il serait souhaitable que la cheminée soit conçue de façon que les déflecteurs puissent être rabattus ~~ou~~ relevés en vue de réguler la vitesse de carbonisation compte tenu de conditions atmosphériques toutes particulières.

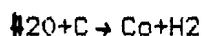
2 Par rapport à la conduite

Etant donné les difficultés de contrôle de l'admission de l'air dans la meule, nous proposons:

- l'utilisation d'un écran visant à briser la vitesse du vent et à favoriser une homogénéisation de la vitesse de carbonisation. Comme matériel, un fût déroulé pourrait être utilisé en cas de vent fort.

3. Par rapport au défournement :

- Eviter le plus possible l'extinction du charbon à l'eau. En effet, celle-ci contribue à déprécier la qualité du charbon produit (18,7).



Etant un puissant réducteur, le carbone réduit la vapeur d'eau à température élevée. La formation du gaz à l'eau ($Co+H2$) provoque une réaction endothermique.

3 TECHNIQUES DE CARBONISATION AU FOUR ARGENTIN

3.1 Péliminaire : Communément appelé "demi-orange" et largement répandu en Amérique latine, le four de type Argentin fait partie intégrante de la catégorie des fours maçonnés. Nous avons été formés quant à sa construction qu'à sa conduite. Au total, trois fours ont été construits à raison d'un dans l'enceinte de l'I.B.E et de deux dans le cadre des essais à Wayen. En vue d'utiliser le temps au maximum, les deux premiers fours ont été conçus avec des briques industrielles cuites. L'un d'eux s'est effondré au cinquième cycle de carbonisation. Cela nous a conduit à faire recourt à des références bibliographiques attestant la robustesse des fours maçonnés (5,6) tout en déconseillant l'emploi des briques industrielles. En effet, celles-ci sont de forte densité et de grande résistance ayant davantage tendance à se fendre à la chaleur (5). Toutes ces considérations nous ont amené à reconstruire un troisième four à base de briques cuites sur le site. Nous portons en annexe 2.4 les analyses et les résultats obtenus sur les cinq essais du premier four qui a été construit avec les briques industrielles.

* Matériaux utilisés

- Argile
- Eau
- Matière organique (résidus d'épis de céréales)
- Gravier

* Matériel utilisé

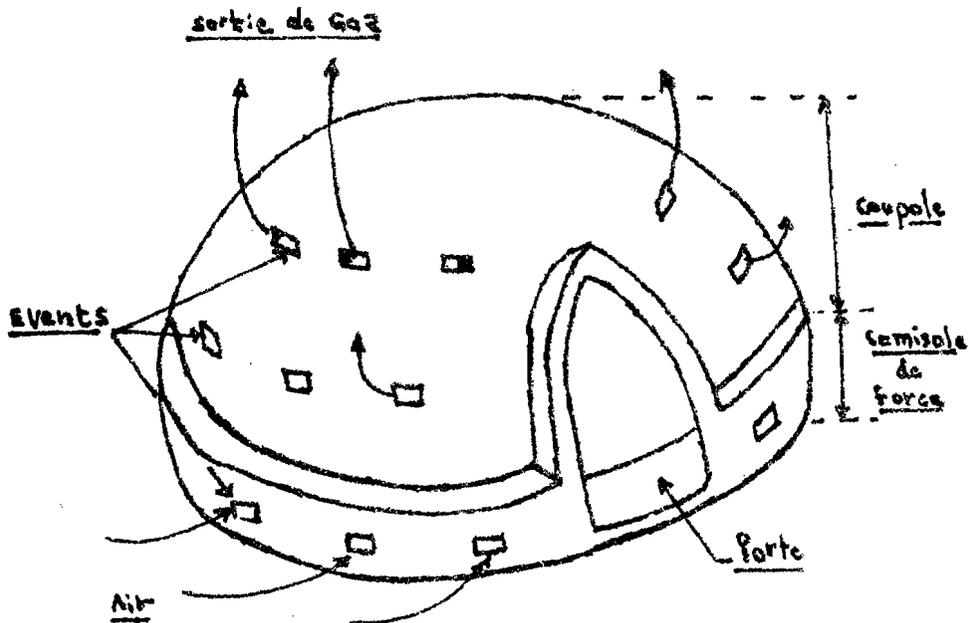
- 2 pelles
- 2 pioches
- 2 bacs à eau de 2 m³ chacun
- 2 rateaux
- 2 seaux
- 1 hachette
- 1 jauge de rayon

- 1 niveau à eau
- 1 truelle

- 1 fil à plomb
- 1 bobine de ficelle
- 1 règlette
- 1 mètre
- 1 brosse
- * Main d'oeuvre utilisée : deux ouvriers

- Principe de fonctionnement

Il est basé sur le fait que le contrôle de l'admission d'air et de la sortie des gaz a lieu au fur et à mesure que le front de carbonisation évolue. Dans une certaine mesure, ceci offre l'avantage d'homogénéiser le processus de carbonisation. Le tirage s'effectue directement en ce sens que l'air collecté à la base du four occasionne une expulsion directe des fumées.



Schemas 2.2: Description et prinpe de fonctionnement du four

3.2 - Construction du four Argentin

Tous les détails techniques relatifs à la construction du four sont consignés en annexe 2.5.

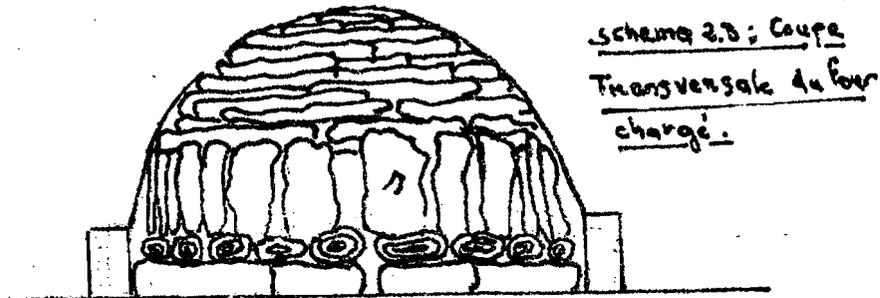
3.3 - Préchauffage du four

Immédiatement après la construction et le crépissage, l'on procède au préchauffage du four. Cette opération vise à accroître la réfraction du four vis à vis de la chaleur avec

le départ de l'eau contenu dans le mortier et les briques. Les différents fours ont été préchauffés en continu pendant 72 heures et ponctuellement enduits d'un crépi de boue très fluide en vue de colmater les fissures occasionnées par le retrait de l'eau.

3.4 - Chargement

Il est similaire à celui de la meule Casamançaise sauf qu'on a adopté une disposition qui convenait le mieux aux conditions de travail. En effet, après que la grille de distribution d'air ait été faite, on procède au montage de deux couches de bois dont l'une sur assise verticale et la seconde sur assise horizontale comme le traduit le schéma 2.3



Noter au niveau des deux premières couches la position centrale des grosses billes et celle périphérique du menu bois. —

3.5 - Fonctionnement

Après que le four ait été chargé, l'on procède à sa fermeture par la construction d'un muret en brique tout en prenant soin de laisser un évent supplémentaire à la base. Par la même occasion, on arrête la construction à environ 30 cm de la fin et l'ouverture ainsi créée est enfouie de menus bois et de paille en vue de faciliter l'allumage.

3.5.1 Allumage

- On prend soin de laisser toutes les issues ouvertes après quoi l'on procède à la mise à feu.

En raison de la vitesse du vent elle dure généralement très peu (10mn). Cependant il est très important de contrôler l'allumage à temps en vue d'éviter que les "coups de feu" ne détériorent la structure du four.

3.5.2 Déhydratation - carbonisation

- Dès l'arrêt de la phase d'allumage, le tirage continué à s'effectuer directement et seules les prises d'air situées du côté au vent jouent leur rôle. Toutes les autres issues dégagent des gaz dont les couleurs varient suivant l'évolution du front de carbonisation.

Précisons que la conduite de la carbonisation requiert une certaine expérience de la part de l'opérateur (4), car la couleur des gaz, leurs débits et leurs odeurs de même que la température des parois du four sont des paramètres déterminants pour l'aboutissement des opérations.

De fait, à travers le tableau 2.7, nous présentons une synthèse des manifestations courantes ainsi que les causes et les résolutions techniques à opérer.

TABLEAU 2.7

MANIFESTATIONS	CAUSES	SOLUTIONS TECHNIQUES
Tous les événements supérieurs et intermédiaires dégagent des fumées à ascension verticale.	Vitesse du vent normale ; carbonisation homogène	
Emission de fumées jaunâtres	Départ massif D'hydrocarbures	
Emission de fumées lourdes et blanchâtres	Deshydratation de la charge	
Emission de fumées blanchâtres blanchâtres et très légères.	Charge en cours de carbonisation	
Dégagement de fumées bleues	Combustion du bois ou du charbon déjà produit	Boucher immédiatement les issues concernées
Emission de flammes	Excès d'oxygène conduisant à l'inflammation des gaz combustibles	étancher la sortie
Event non fonctionnel	forte pression de l'oxygène comburant	Réduire la pression en introduisant une brique à travers l'évent.
Important débit de fumées	Très forte pression interne des gaz ; carbonisation rapide.	Disposer un écran à la sortie des gaz
Emission de fumées à travers la coupole	Four non étanche	Enduire Immédiatement la coupole d'un crép de boue très fluide
Elévation de la température de la paroi du four au niveau d'un événement	Amorce de la réaction exothermique	Boucher cet événement

N.B: Il est très important d'associer la couleur et l'odeur des gaz à la température de paroi lors du contrôle des événements. Cependant, ce dernier paramètre apparaît comme étant le plus influant en ce sens qu'il permet d'estimer la période de l'arrêt de la phase de carbonisation. Il y a lieu de prendre en compte le caractère simultané de certaines manifestations dont en particulier le contrôle de l'admission et de la sortie des fluides. En réduisant la pression de l'air au niveau d'un événement, cela entraîne une réduction du volume des gaz du côté opposé à cet événement et inversement.

- Du point de vue de l'évolution du front de carbonisation, celui-ci s'effectue de haut vers le bas, ce qui veut dire que le contrôle des événements s'effectue dans la même progression. En effet, c'est après la fermeture de tous les événements supérieurs qu'on en vient à ceux de la couche intermédiaire puis enfin à ceux de la base du four. Cela est d'autant plus logique qu'on assiste à un transfert de chaleur des zones privées d'oxygène vers celles qui en regorgent suffisamment.

- Après 4 heures de marche environ, tous les événements des couches supérieures et intermédiaires sont étanchés.

- La fin de la carbonisation est marquée par le départ de gaz légers, transparents et de faible débit. On élève des talus de terre au niveau des événements de la couche basale en vue d'éviter toute entrée d'air.

3.5.3 Refroidissement

- On accélère le processus de refroidissement en brossant ponctuellement le four avec de la boue très fluide. Cependant, le crépissage pourrait s'épaissir au fil des cycles de carbonisation. Ainsi, il serait souhaitable de le décaper et de revêtir le four d'un crépissage moins épais en vue de favoriser les échanges thermiques avec le milieu ambiant.

3.5.4 Défournement

- On procède au démolissage de l'entrée principale tout en gardant les événements fermés en vue d'éviter une réoxygénation massive du four.

- La plupart des rondins carbonisés gardent leur géométrie initiale.

- Le défournement a lieu successivement au rateau puis à la pelle.

- On use de quelques seaux d'eau pour éteindre les braises situées au niveau de la porte et du côté au vent. Les charbons du centre et du côté sous le vent sont entièrement refroidis.

N° ESSAI ---->	1	2	3	4	μ	σ
Allumage (mn)	8	12	10	8	10	2
Déshydratation-carbonisation (h)	23	21	23	22	22	1
Refroidissement (h)	96	96	96	96	96	-
Durée du cycle total (h)	119	117	119	118	118	1

Tableau 2.8. temps des différentes phases de la carbonisation

Ainsi on note une homogénéité dans la durée des différents phases. Précisons que les essais N°3 et 4 sont ceux relatifs à l'utilisation de bois d' Eucalyptus et que le volume des gaz par unité de temps a été d'une plus grande importance par rapport à celui des essais au bois de défriche (essais N°1 et 2).

3.6 - RESULTATS EXPERIMENTAUX

3.6.1 Etude de l'évolution de la température

Elle n'a pas été conduite de façon satisfaisante étant donné la faiblesse du rayon d'action des sondes thermométriques. Cependant, au cours du seul test que nous avons mené, nos préoccupations furent orientées vers la connaissance de la température des gaz chauds qui

surplombent le charbon déjà produit et vers l'évolution de la carbonisation des petits rondins périphériques. Le schéma 2.4 traduit les emplacements des sondes que nous avons pris soins de prévoir lors de la construction du four.

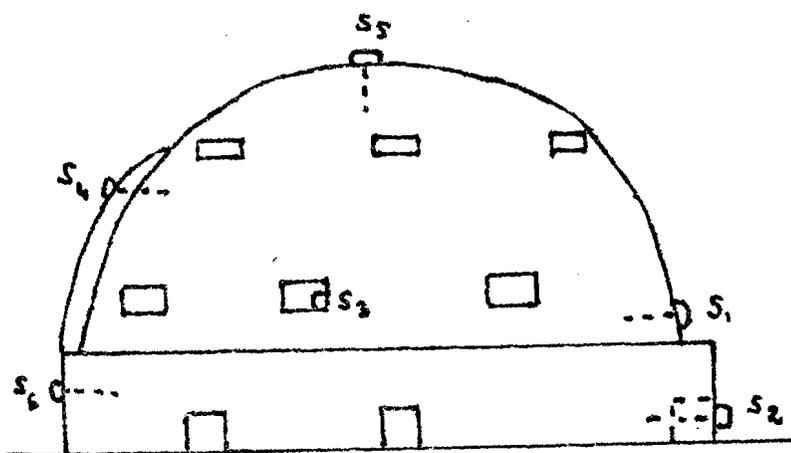


Schéma 2.4 : Disposition des sondes

La sonde S4 a été introduite dans la zone d'allumage tandis que S2 devait suivre l'évolution de la température des gaz qui s'échappent d'un évent de la base du four.

3.6.2 Analyse des courbes

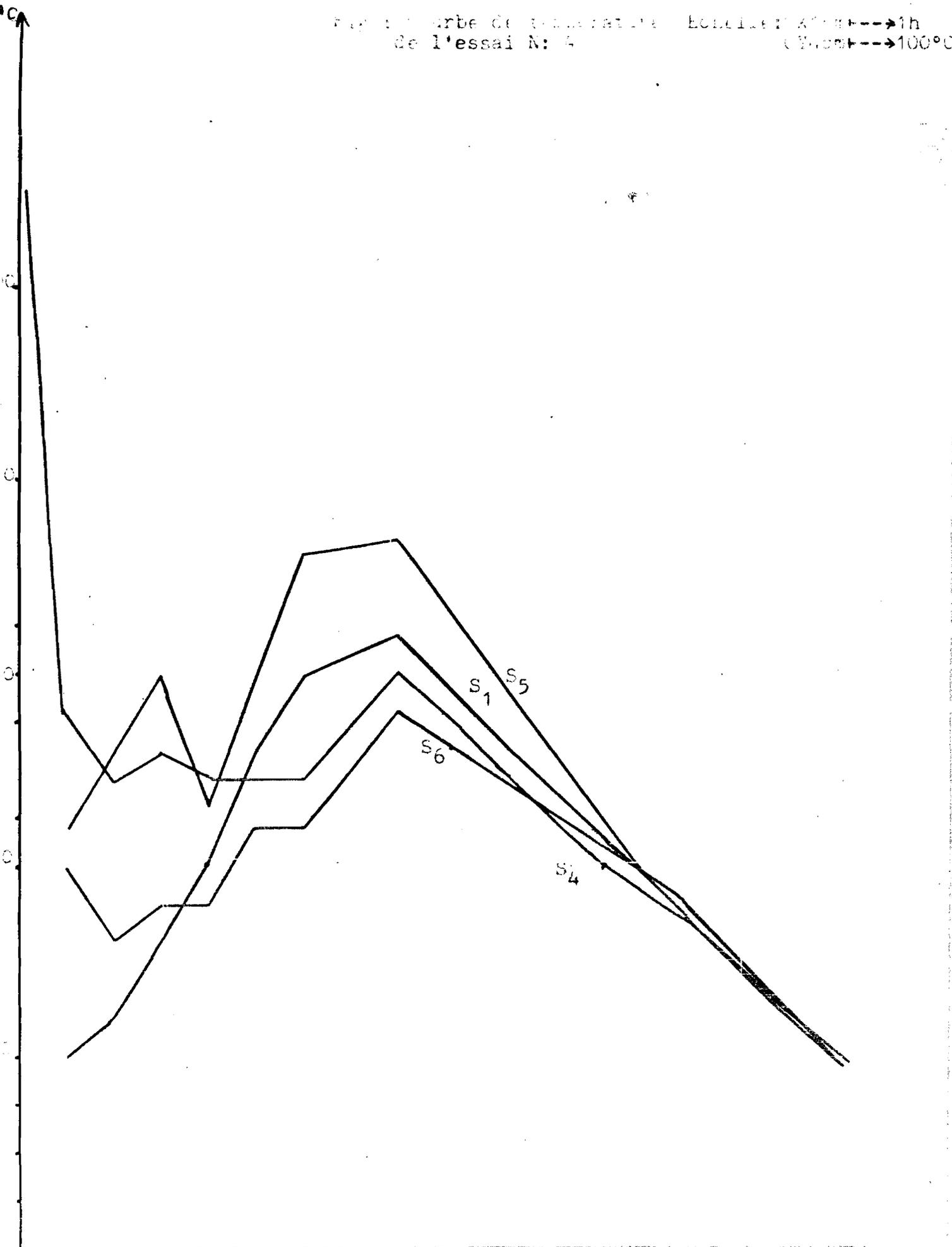
L'observation des différents tracés (cf figure suivante) atteste le caractère homogène et rapide de la carbonisation des petits rondins. En effet, ils atteignent quasiment leur température maximale au bout de 8 heures de mise en oeuvre. Cependant, l'amorce de la phase de carbonisation a lieu à partir de 275°C et au delà.

Les mesures de température au niveau de la sortie des gaz ont été interrompues du fait que des sorties de flammes ont contribué à griller les fils de connection des sondes à l'enregistreur.

Par ailleurs, après que la température maximale de carbonisation ait été atteinte, on note une chute linéaire de celle-ci jusqu'à moins de 100°C. Ceci est le reflet de l'absence de combustions vives dans le four compte tenu de fait que l'air ne peut pas y entrer.

A titre d'observation, précisons que dès les premiers instants qui ont suivi la phase d'allumage, la sonde N°4 a enregistré des températures de 700 à 800°C. Ainsi, nous avons immédiatement constaté des fissures au niveau des zones concernées par cette élévation de température. Cette situation nous a permis de penser à une faible résistance thermique du matériau constitutif du four.

Fig. 1. Courbe de température (°C) en fonction du temps (h) pour l'essai N: 4. (Y: 100°C, X: 1h)



3.6.3 Analyses physico-chimiques du charbon issu du four

A partir du tableau 2.9 certaines analyses peuvent être formulées quant aux propriétés physico-chimiques du charbon de bois produit au four Argentin.

Du point de vue de la densité apparente du charbon, il ressort que celle-ci est liée à la densité réelle du type d'essence et indépendamment de la technique de carbonisation au four Argentin. En effet, le charbon issu du bois des essences spontannées présente une plus forte densité (253 kg/m³) comparativement à celui du bois d'Eucalyptus (219 kg/m³) dont la valeur demeure en deçà des normes du commerce international du charbon de bois (250 - 280 kg/m³).

Par contre, les taux de matière volatiles semblent liés à la technologie mise en oeuvre eu égard à leur homogénéité (en moyenne 35% pour un écart type de 2%). En outre, cette valeur moyenne est légèrement supérieure au taux normal qui a été défini dans l'étude de la meule Casamançaise (30%). L'explication que l'on pourrait donner à cette situation est sans doute liée au fait que le charbon a réabsorbé des hydrocarbures après que les événements aient été bouchés pour assurer le refroidissement du four. Cependant, les taux de cendres restent assez variable, et cette variabilité est imputable à l'hétérogénéité des taux de matières minérales contenus dans le matériau de départ. La valeur moyenne (3%) est acceptable étant donné qu'en considérant un rendement pondéral de production de charbon de 31%, on devrait s'attendre à du charbon dont le pourcentage de cendres serait compris entre 2% et 8%.

En définitive, l'hétérogénéité du taux de cendres s'est répercutée sur le taux de carbone fixe (62% en moyenne générale) et évidemment sur le pouvoir calorifique supérieur qui en résulte.

Du point de vue de la comparaison des valeurs de pouvoirs calorifiques il n'y a pas de différence significative entre la moyenne théorique (28 MJ/Kg) et celle expérimentale (29 MJ/Kg) dans le cas du charbon des bois de défriche. Par contre, la différence de pouvoirs calorifiques (6 MJ/Kg) se situe au niveau du charbon d'Eucalyptus. On pourrait penser que ce dernier a une structure qui lui permet de réabsorber beaucoup

d'hydrocarbures de grandes valeurs énergétiques lors du refroidissement au four.

En moyenne, les types de pouvoirs calorifiques du charbon produit au four offrent une différence de 4 MJ/Kg

Tableau 29 : Résultats des analyses physico-Chimiques

Les essais N° 1 et 2 ont trait au charbon du bois des essences spontanées.

ESSAIS N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densité appa- rente du char- bon:kg/m ³	251	254	255	2	264	214	219	5	236	17
Taux de matiè- res volatiles: %	33	34	34	1	38	35	37	-	35	2
Taux de cendres %	3	4	4	1	1	2	2	1	3	1
Taux de carbone fixe : %	64	62	63	1	61	62	62	1	62	1
F.C.S. calculé à partir du taux de carbone fixe kg/kg	28	27	28	1	26	27	27	1	27	1
F.C.S. détermi- né expérimenta- lement: % kg/kg (MJ/kg)	6784 (28)	7039 (29)	6910 (29)	146 (1)	7008 (33)	7704 (32)	7756 (33)	52 (1)	1733 (31)	434 (2)

3.6.4 Calcul des rendements pondéraux et énergétiques au four N°2

D'après le tableau 2.10 et parmi les essences qui ont été enfournées, on peut noter la présence du Mitragina inermis qui est une espèce ripicole. C'est pour ainsi dire qu'il a été constitué un mélange assez hétérogène de plantes issues de diverses stations écologiques.

En considérant le pourcentage des rondins suivant des classes de diamètre, précisions que nous avons en moyenne 33% de petits rondins (diamètre < 10 cm), contre respectivement 28 et 29% de moyens et de gros rondins (diamètre > 20cm). Cependant, le calcul des différents écarts types révèle une disparité assez prononcée entre le taux de gros rondins au niveau des essais N°1 et N°2 (10%).

A l'opposé, l'Eucalyptus camaldulensis présente une situation homogène sur plusieurs plans au niveau des essais N°2 et N°3.

Pour en venir à l'état sanitaire des rondins, notons qu'il y en avait qui étaient en très mauvais état. C'est ainsi que près d'un cinquième (19%) du poids de la biomasse utilisée au cours de l'essai N°1 a fait l'objet de détériorations sérieuses et dans une moindre mesure 5% du bois de l'essai N°2. C'est pour ainsi dire sur l'ensemble des tests qui ont été opérés au bois de défriche, 12% de cas d'attaques fongiques et d'insectes ont été retenues en moyenne.

En fin, disons que le taux moyen de bois ayant été enfourné sans écorce est de l'ordre de 16% —

- Tableau 2.10 Pourcentage des différentes essences suivant des classes de
Rappel : E.N.I. espace non identifiée.

Classe de diamètre (essences) (cm) (%)	Essais N° 1				Essais N° 2				Essais N° 3	Essais N° 4
	10 < ϕ < 20	20 < ϕ < 30	30 < ϕ < 40	Total	10 < ϕ < 20	20 < ϕ < 30	30 < ϕ < 40	Total	ϕ < 15	ϕ < 15
<u>Anogéissus leiocarpus</u> %	2,6	9,6	4,4	16,6	6,5	10,8	3,5	20,8	-	-
<u>Acacia Gourmaensis</u> %	2	-	2	4	3,6	-	-	3,6	-	-
<u>Sclerocaria Birrea</u> %	3,5	2,3	4,6	10,4	-	-	16	16	-	-
<u>Combretum Glutinosum</u>	4,8	3,2	-	8	3	-	-	3	-	-
<u>Balanites aegyptiaca</u> %	1,8	-	-	1,8	7,4	6,3	3,5	17,2	-	-
<u>Acacia Seyal</u>	-	-	-	-	2,5	-	-	2,5	-	-
<u>Combretum micrantum</u> %	-	-	-	-	3	-	-	3	-	-
<u>Mitragino inermis</u> %	2	-	-	2	11	-	-	11	-	-
<u>Butyrospermum parkii</u>	-	-	5,4	5,4	-	-	-	-	-	-
E.N.I. de mauvais état sanitaire %	3,7	-	15	18,7	-	5,3	-	5,3	-	-
E.N.I. de bon état sanitaire	4,9	2,5	17	24,4	-	10,3	6,3	16,6	-	-
<u>Eucalyptus camaldulensis</u> %	-	-	-	-	-	-	-	-	100	100
<u>Tamarindus indica</u> %	2,3	4,6	-	7,4	-	-	-	-	-	-
Total %	23	23	48	94	37	33	29	99	100	100

- Analyse des rendements pondéraux

Conformément au tableau 2.11 , un certain nombre d'analyses peuvent être faites. Par rapport au rendement de production du charbon marchand issu des bois de défriche, une moyenne de 29% sur matière anhydre a été obtenue.

Ces résultats auraient revêtu un caractère beaucoup plus homogène n'eut été le fait que l'essai N°2 a réalisé 13% de tisons. En effet, conformément au tableau N° 2.10, nous avons enfourné 29% de rondins de diamètre > 20 cm, ce qui voudrait dire que la durée de la phase de carbonisation a été commandée par les 71% des autres catégories de diamètre. En Nous m d. dérobant de cette contrainte, nous aurions produit beaucoup plus de poussier pour peu de charbon marchand et de tisons.

En outre, le tableau N°2.10 révèle un enfournement de 48% de gros rondins pour 52% de rondins moyens et petits dans le cas de l'essai N°1. Ainsi l'élévation du taux de poussier (8%) pourrait s'expliquer par le fait que ce sont les rondins de diamètre > 20 cm qui ont été déterminants dans la durée de la phase de carbonisation. En effet, le tableau N°2.8 confirme le fait que celle de l'essai N°1 a duré 2 heures de plus que la durée de la phase de carbonisation de l'essai N°2.

Précisons également que le rendement pondéral de l'essai N°1 (31%) a été fort satisfaisant en dépit du fait qu'environ 1/5ème de la charge à transformer ait présenté des cas d'attaques.

Pour en venir aux tests à l'Eucalyptus, les résultats sont dans l'ensemble assez réguliers eu égard au caractère homogène des différentes charges.

De façon globale, nous avons obtenu un rendement de production de charbon marchand (sur matière anhydre) de l'ordre de 31% dont la limite de confiance se situe entre 26% et 36% (cf annexe 2.6). Celle-ci correspond à 1% près à la fourchette de valeurs généralement admises (26% à 37%). Cependant, le caractère élevé du taux de poussier (8%) est lié au fait que le four Argentin obéit au statut de système de carbonisation par combustion partielle.

Suivant l'annexe 2.6, après comparaison des moyennes μ_1 et μ_2 , il est apparu qu'il n'y a pas de différences significatives entre les séries de tests au bois de défriche

et d'Eucalyptus. Ce constat permet d'affirmer que dans une certaine limite, l'état sanitaire et les écarts de diamètre des rondins ne constituent pas des freins à la carbonisation au four Argentin.

Observation

Il y a lieu de préciser que le charbon produit au niveau des différents tests a été pesé après:

- Refroidissement au four suivi d'une réabsorption d'hydrocarbures
- Reprise d'oxygène et d'humidité de l'air
- Refroidissement total du charbon sans un apport significatif d'eau

Tableau 2.11 : SITUATION DE LA CHARGE AVANT ET APRES CARBONISATION

Rappel : η_a : rendement de production sur matière anhydre

η_b : rendement de production sur matière brute

ESSAIS	N°1		N°2		N°3		N°4		N°5		
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Volume (STR)	12	13	-	-	13	13	-	-	-	-	
Matière brute (M.b) (kg)	3 487	3 157			2 930	3 293			3 217	203	
Humidité du bois (M.b) %	8	8	8	8	-	12	16	14	2	11	3
Quantité de matière anhydre (kg)	3 208	2 904	-	-	2 578	2 766	-	-	2 864	230	
Charbon marchand (kg)	1 004	712	-	-	894	895	-	-	876	105	
Poussier (kg)	260	184	-	-	198	196	-	-	210	30	
Tisons (kg)	207	410	-	-	181	234	-	-	258	90	
Volume charbon marchand (m3)	4	2,8	3,4	0,6	4	4,2	4,1	0,1	3,8	0,6	
η_b charbon marchand %	29	23	26	3	31	27	29	2	28	3	
η_a charbon marchand %	31	26	29	3	35	32	34	3	31	3	
poussier %	8	6	7	1	7	6	7	1	7	1	
η_a charbon total %	39	32	36	4	42	38	40	2	38	4	
η_b charbon de cuisine (STR/STR)	84	55	70	15	69	69	69	-	69	10	
η_a tisons %	6	14	10	4	7	8	8	1	9	3	

Rendement énergétique de transformation

Les valeurs de rendements énergétiques consignées dans le tableau 2.12 ont été calculées conformément au protocole expérimental et aux données supplémentaires qui ont été considérées dans le cadre de l'étude de la meule Casamançaise.

L'homogénéité des pouvoirs calorifiques nets (pci) au niveau du charbon issu de l'essence de référence (essai 3 et 4) permet d'envisager une certaine stabilité de la température finale de réaction d'un essai à l'autre. Cette hypothèse permet de soutenir que le four de type Argentin est doté d'un système efficace de contrôle de l'admission de l'air comburant et ce dans une certaine limite.

D'une manière générale, on constate que le four Argentin a un coefficient de conversion énergétique d'au moins 55%, ce qui est assez intéressant compte tenu de la réfraction des briques vis à vis de la chaleur. C'est dire que les pertes énergétiques ne sauraient excéder 45% de l'énergie potentiel de la matière de départ. Ceci est contraire à certaines littératures qui évaluent à plus de 50% les pertes énergétiques dues à la conversion du bois en charbon dans les systèmes à chauffage interne.

TABLEAU 2.12 RESULTAT DES RENDEMENTS ENERGETIQUES DE TRANSFORMATION

ESSAIS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pci Bois (Kcal/Kg)	4068	4068	4068	-	4060	4060	4060	-	4064	4
Pci Charbon Kcal/Kg	6606	6657	6732	126	7630	7520	7578	52	7155	434
Masse de bois brute : Kg	3487	3157	3322	165	2930	3293	3112	182	3217	203
Masse de bois anhydre : Kg	3208	2904	3056	152	2578	2266	2672	94	2864	230
Masse de Charbon Kg	1004	712	858	146	894	895	895	1	876	105
Re(en Pci) %	54	40	49	5	71	57	64	7	57	10
Re (en Pcs) : %	52	42	47	5	69	55	62	7	55	10

3.7 - AVANTAGES ET INCONVENIENTS liés à la production du charbon de bois au four Argentin

A travers le tableau 2.13, ces différents aspects ont été abordés suivant les paramètres qui ont été pris en compte au niveau du protocole d'essais.

A priori, l'observation du tableau laisse présager que la production du charbon au four Argentin suscite beaucoup plus d'inconvénients que d'avantages. Une approche beaucoup plus fine permet de signaler que la plupart des inconvénients sont liés à des problèmes économiques relatifs au coût de revient de la matière première à convertir. En effet, le caractère fixe de l'installation et des dimensions de la porte de chargement, induisent les coûts de transport et de débitage des rondins suivant les circonstances.

Quant aux avantages, ils sont essentiellement d'ordre technique en relation avec la facilité de conduite et l'efficacité de contrôle de l'admission de l'air comburant.

En outre, l'un des inconvénients majeurs du four réside dans le fait que celui-ci présente une très faible résistance thermique.

En effet, après la fin de nos tests à Wayen, des opérations de carbonisation se sont poursuivies au four en vue de valoriser les bois de Gméлина arboréа et d'Azadirachta indica qui s'écoulent difficilement sur le marché à l'état brut. C'est ainsi que celui-ci s'est effondré au cours du second cycle après que le premier ait fourni un bon rendement pondéral. Cela nous a conduit à consacrer un volet quant à la résistance des fours.

TABLEAU 2.13 AVANTAGES ET INCONVENIANTS INHERANTS A LA PRODUCTION DU CHARBON AU

FOUR ARGENTIN

Désignation	Avantages	Inconvénients
Nature de l'installation	Se prête à des opérations répétées et facilite le contrôle de la gestion.	L'immobilité accroît les coûts de transport du bois
Charge Utile	- -	Elle constitue un facteur limitant
Dimension des matières premières	-	Son caractère limitant accroît les coûts de débitage
Chargement	Des différents types de chargement s'opèrent aisément	Nécessite de la prudence vis à vis de la porte d'entrée
Conduite de la Carbonisation	Relativement facile et nécessite 4-5 heures de présence permanente	La sortie des gaz occasionne des nuisances lors du contrôle des événements.
Action divers agents météorologiques	Invulnérabilité à la pluie (6,4) et au vent	-
Mode de tirage	- -	Son caractère direct favorise la présence de "coups de feu".
Défournement	Facile et rapide : 2 - 3 heures pour 2 ouvriers	La pulvérulence du poussier occasionne des nuisances
Impact sur l'environnement	-	La totalité de produits de gazéification pollue directement l'atmosphère
Durée totale du cycle carbonisation	Relativement courte vue l'étanchéité du four	-

3.7.1 - LA RESISTANCE DU FOUR DE TYPE ARGENTIN

Le problème de la résistance des matériaux de construction et de leur durée de vie est déterminé par plusieurs facteurs (20):

- la qualité du matériau
- le séchage
- la construction
- l'utilisation
- l'entretien

A travers ces différents aspects, examinons les conditions dans lesquelles nous avons reconstruit le four.

1- Confection des briques

Réalisations et Références bibliographique

Le matériau

- Argile très pauvre en sable fin (moins de 20%) issu des berges alluviales du cours d'eau de la Nakambé.
- l'un des inconvénients du four est que sa construction nécessite un agrégat spécial (17)
- Apport de matières organiques: environ 20% de glumelles de céréales
- préparer un mélange d'argile et de sable contenant environ 65% d'argile. Pour augmenter la porosité des briques on peut ajouter 20% de sciure de bois au mélange (5. p55)

Le séchage

- Les briques ont été séchées à l'air libre avec environ 2% de perte
- certaines littératures pronent le séchage des briques à l'abri du soleil (19)

La cuisson

- Les briques n'ont pas été cuites au préalable
- elle doit se dérouler pendant 10 - 12 jours ou plus afin d'élever la température jusqu'au environs de 900°C (5)

2 - Construction

Elle s'est faite suivant les normes techniques requises. Mieux, la camisole de force a été renforcée d'avantage par l'utilisation de grosses briques (40 x 15 x 10 cm).

3 - Le préchauffage

Il s'est déroulé suivant les normes, c'est à dire avec une présence permanente de chaleur pendant 3 jours au moins. Cependant, certaines littératures, (5) suggèrent une durée de séchage de deux à trois mois avant la mise en oeuvre du four

4 - L'utilisation

Une visite sur le terrain nous a permis de constater que les deux fours ont pratiquement cédé dans les mêmes circonstances. En effet, ces effondrements se sont déroulés entre 3 à 5 heures après que la phase d'allumage ait été cloturée. De façon précise, c'est après que tous les événements supérieurs et intermédiaires aient été contrôlés, laissant ainsi en fonctionnement 5 à 6 événements à la base du four. Les chutes se sont opérées sans projection de matériaux.

5 - L'entretien

Le côté au vent du four présentait des fisures qui étaient rebouchées avant chaque carbonisation.

A la lumière des références bibliographiques, il ressort que deux règles essentielles n'ont pas été prises en compte

- La nature du matériau utilisé
- Le fait de n'avoir pas fait cuire les briques.

En fait, la cuisson des briques vise à éliminer les briques qui présenteront une faible résistance thermique et à assurer le retrait de l'eau contenue dans le matériau. Ainsi, on pourrait penser que le fait de n'avoir pas fait cuire les briques ne constitue pas un handicap étant donné la possibilité de remplacer les briques qui présenteront des fissures. De même, on pourrait penser que le retrait de l'eau du mortier et des briques s'est effectué de façon homogène lors du préchauffage du four.

Ainsi, il est possible de penser que la chute des fours est probablement liée à la faiblesse de la résistance des matériaux constitutifs des briques suite à des contraintes thermiques (dilatation, contraction) et à une légère surpression des gaz internes. Compte tenu de ces observations, nous formulerons des propositions quant à l'optimisation du rendement pondéral et à l'accroissement de la durée d'utilisation du four dans les conditions actuelles du Burkina.

CONCLUSION

Le four du type Argentin a été testé conformément aux restrictions du protocole expérimental. Indépendamment des mesures de températures qui n'ont pu être faites convenablement, un certain nombre d'informations intéressantes peuvent être tirées.

L'étude de l'évolution de la température a permis de constater une véritable étanchéité du four, lors de la phase de refroidissement. Ceci est liée à la linéarité de la chute de température juste après la phase de carbonisation. Par ailleurs, le sondage des températures au niveau du foyer d'allumage a permis de constater les limites de température (700 - 800°C) qui étaient préjudiciables à la cohésion des matériaux constitutifs des briques artisanales. En outre, l'analyse des propriétés physico-chimiques a permis de constater une fois de plus que la densité apparente du charbon produit était fonction de la densité réelle de l'essence de départ. Aussi, tout au long des essais, il est apparu que la valeur moyenne de 236Kg/m³ n'est pas acceptable du point de vue des normes du commerce international. Le taux de matières volatiles (35%) est lié à la technique de carbonisation contrairement au taux de cendre (3%) dont les variations proviennent de celles de la composition minéralogique des matières premières de départ. Ainsi, on assiste également à une instabilité du pourcentage de carbone fixe (62%) et du pouvoir calorifique^{qui} en dépend.

Par rapport au rendement pondéral de production du charbon marchand, il s'est avéré que l'homogénéité de la charge du point de vue sanitaire ne constitue pas une contrainte majeure dans l'optimisation du rendement pondéral. Cela dénote l'efficacité du contrôle de l'admission de l'air à travers le four, ce qui est un atout déterminant dans la conduite de la carbonisation. Par contre, les grands écarts de diamètre entre les différentes catégories de rondins induisent de forts taux de tisons, ce qui contribue à accroître d'avantage le coût de production du charbon au four. L'unicité de la classe de diamètre serait d'un appoint appréciable du point de vue de la rentabilité de production. Ainsi, sur l'ensemble des essais qui ont été opérés, il

ressort que le rendement moyen de production du charbon au four est de 31% toute correction faite par rapport à l'humidité du bois. Cela constitue une grande satisfaction de par le mode de carbonisation du four Argentin et le taux de carbone fixe obtenu (62%). Mieux, ce rendement pourrait être amélioré de 3% en envisageant une transformation du poussier sous forme de briquettes de charbon. En outre, le charbon produit s'est révélé être d'un bon pouvoir calorifique (31MJ/KG), ce qui confirme la faiblesse du rendement énergétique de transformation (55%) suite à la réfraction des briques vis à vis de la chaleur.

D'un point de vue pratique, le four présente un grand intérêt en rapport avec la conduite de la carbonisation. En effet, 4 à 5 heures après l'allumage, la présence permanente de l'opérateur n'est plus nécessaire. Seules quelques interventions ponctuelles suffisent au bon déroulement de la carbonisation. De même, le défournement s'opère facilement et le charbon est exempté de souillure. Le caractère étanche du four permet d'assurer un refroidissement presque total du charbon.

Cependant, les inconvénients majeurs du four résident du fait qu'il constitue une installation fixe et qu'il présente une très faible résistance thermique. A ce propos, nous proposons des solutions tendant à accroître la durée de vie du four et à améliorer le rendement pondéral de production du charbon.

PROPOSITIONS D'AMELIORATION DU SYSTEME

1- Par rapport au rendement de production

- La plupart des tisons étant en contact direct avec le fond du four, les mêmes dispositions envisagées pour la grille de distribution d'air au niveau de la meule pourraient s'appliquer dans ce cas-ci

- La carbonisation évoluant de haut vers le bas, il serait souhaitable que les canaux d'aération de la grille de distribution d'air soit enfouis de pailles afin que les petits rondins du sommet du four ne se réduisent en poussier durant la phase de carbonisation des gros rondins de la base du four.

2 - Par rapport à la construction du four

- Le matériau :

L'expérience a montré que les marmites en céramique utilisées par les ménagères présentaient de grandes résistances thermiques. A fortiori, lors des analyses chimiques, ce même matériau constitutif des creusets n'a présenté aucune fissuration lors des essais de préchauffage à plus de 1000°C. Ainsi, on pourrait recommander vivement ce type de matériau pour la construction du four après avoir déterminé une épaisseur de brique appropriée.

- La pression interne des gaz

Nous suggérons un renforcement de la fondation en disposant les grosses briques de telle sorte que leur longueur soit parallèle au rayon du four. Il serait aussi souhaitable que la paroi de la coupole soit doublée tout comme certains fours d'Amérique latine.

4. ANALYSE FINANCIERE DES DEUX SYSTEMES DE CARBONISATION

4-1 - Préliminaire :

Comme hypothèse à cette étude, considérons le cas d'un charbonnier qui décide de mettre en oeuvre une unité de carbonisation sur fond propre. Nous supposons aussi que la matière première et la quantité d'eau nécessaire à l'extinction du charbon sont déjà disponibles sur le site.

4-2 - Données de calcul par carbonisation

Elles sont consignées dans le tableau N°2.14

Le nombre de carbonisations par mois a été déterminé en fonction du temps consacré à la production du charbon par chaque système. Ce temps est de 10 jours pour la meule contre 7 pour le four.

L'estimation du nombre de carbonisations par an au niveau du four tient compte du fait qu'il faut le reconstruire après quatre cycles de carbonisation. Avec un maçon et deux ouvriers, la confection des briques, la construction et le préchauffage du four durent 17 jours.

Quant aux cycles du processus de carbonisation, on constate que la meule nécessite beaucoup plus de main d'oeuvre (116 heures) par rapport au four (37 heures).

Cette situation résulte du fait que la meule doit être "habillée" à chaque cycle. Pour deux ouvriers, le montage et "l'habillage" durent 2 jours soit 32 heures de travail. Il en est de même pour le défournement du charbon auquel on ajoute 2 heures pour ensacher le charbon.

En définitive, bien que l'on doit reconstruire le four au bout de quatre cycles, celui-ci nécessite moins de main d'oeuvre (95 heures) que la meule (116 heures) si l'on se ramène à l'échelle d'un cycle de carbonisation.

Pour ce qui est de l'entretien du matériel, on néglige le coût de remplacement des manches de pioches ou de pelles qui peuvent être endommagés. Pour le rateau, il s'agit de quelques opérations de soudure

Tableau 2.14 : DONNEES DE CALCUL PAR CARBONISATION

Nature des données	Système de production	
	Meule Casaman- çaise	Four Argen- tin
- Nombre de carbonisations/mois	3	4
- Nombre de carbonisations/an	36	25
- Nombre de sacs produits/carbonisation	21	24
- Poids du sacs plein (kg)	36	36
- Poids total du charbon (kg)	756	876
- Prix du sac charbon	2 500	2 500
<u>Temps effectifs des travaux (h)</u>		
- Confection des briques	-	56
- Construction	-	168
- Préchauffage	-	8
- TOTAL.....	-	232 = 58
- Montage "habillage"	32	-
- Chargement	-	16
- Allumage - suivi	48	10 +
- Refroidissement	2	3
- Défournement - ensachage	34	8
TOTAL ..?	116	37 ✓
TOTAL ^{par t}	116	25 269
- Rateau	17	24
- Pioche	-	-
TOTAL	17	24

mauvais dispositif

4-3 - Coûts d'investissements par carbonisation .

En considérant le tableau N°2.15 les prix enregistrés ont été obtenus sur la place du marché. Quant aux différentes durées de vie, elle ont un caractère pratique en ce sens qu'elles ont été recueillies au près de charbonniers dans la plupart des cas.

Le calcul du coût d'investissement par carbonisation a été calculé sur la base de la répartition du prix d'achat d'un matériel sur chaque carbonisation effectuée pendant la durée de vie de ce dernier.

Ainsi, il ressort qu'en dehors du coût de construction du four, celui-ci et la meule nécessitent sensiblement les mêmes coûts d'investissement de départ. Cependant, à l'échelle d'une carbonisation, les coûts d'investissement sont deux fois plus élevés au four qu'à la meule, ceci étant lié à la courte durée de vie des matériaux utilisés au four ainsi qu'au fait que celui-ci ne se prête qu'à quatre carbonisations.

Précisons également que la cheminée représente 43% des investissements à la meule en comparaison avec la jauge de rayon qui a le plus fort pourcentage (24%) d'investissement au four. Pour un ouvrier bien qualifié, l'utilisation de la jauge de rayon n'est pas nécessaire.

Tableau 2.15 ; COÛTS D'INVESTISSEMENTS PAR CARBONISATION

Moyens de production	Meule		Four		Durée de vie	Coût d'Investissement (EF (FCFA./cab.))	
	Quantité	Prix total (FCFA)	Quantité	Prix total (FCFA)		Meule	Four
- Brosse	-	-	1	3 000	1	-	120
- Bassin de réception d'eau (fût)	2	5 000	2	5 000	2	69,4	100
- Cheminée	1	20 000	-	-	3	185,2	-
- Emballage	25	7 500	28	8 500	1	208,3	340
- Machette	-	-	1	3 720	3	-	49,5
- Jauge de Réserve	-	-	1	10 000	1	-	400
- Pelle	2	6 000	2	6 000	4	41,6	60
- Pioche	2	6 000	-	-	6	27,7	-
- Rateau	2	6 000	2	6 000	2	83,3	200
- Seau	1	1 000	1	1 000	3	9,2	13,3
- Coupe-Coupe	1	1 000	-	-	3	9,2	-
TOTAL		46 500		48 220		633,9	1 282,9

4.4 LES CHARGES

Tableau 2.16 : CALCUL DES DIFFERENTES CHARGES PAR CARBONISATION

	Prix de base (FCFA)		Charge par carbonisation (FCFA)	
	Meule	Four	Meule	Four
Permis de coupe	60 000/an	60 000/an	1666,6	2 400
Frais d'entretien	600/an	600/an	16,6	24
Transport	-	-	-	-
			1683,2	2 424

Pour le permis de coupe, on considère la taxe qui est en vigueur au niveau des grands producteurs de Saponé.

4.5. LES RENTABILITES

Tableau 2.17 : CALCUL DE RENTABILITE PAR CARBONISATION

	Meule (FCFA)	Four (FCFA)
Prix de vente du sac au détaillant	2 500	2 500
Revenu brut par carbonisation	52 500	60 000
Investissement	633,9	1 282,9
Charges	1 683,2	2 424
Revenu net par carbonisation.....	50 182,9	56 293,1

$$\text{Revenu net} = \text{Revenu brut} - (\text{Investissement} + \text{charges})$$

46- Calcul du prix de revient du Kg de charbon

Conformément au tableau N°2.18, le calcul du coût de la main d'oeuvre s'est fait en considérant le salaire horaire des ouvriers en milieu rural qui est de 114,25 F CFA.

Notons que pour le cas de la construction du four, on considère que le coût horaire de la main d'oeuvre spécialisée (cas du maçon) est de 162,5 F CFA. Ainsi, le coût d'un four construit sur le site de carbonisation revient à 22810 F CFA en tenant compte de la confection des briques et de préchauffage du four.

Etant donné la faible durée de vie du four, le coût de la main d'oeuvre par carbonisation revient à 11529,3 F CFA soit 13,2 F CFA par Kg de charbon produit. Dans le cas de la meule, il n'y a pas d'intervention de maçon, ce qui revient à dire que le coût de la main d'oeuvre par Kg de charbon produit est de 17,5 F CFA.

Ainsi, le prix de revient étant la somme des investissements des charges et de la main d'oeuvre, on peut dire qu'il y a une différence significative de 3 F CFA entre le prix de revient du Kg de charbon produit à la meule (20,5 F CFA) et celui du Kg de charbon produit au four (17,5 F CFA). Cela constitue un gain de 8688 F CFA par production au four.

A la meule tout comme au four, la main d'oeuvre constitue le plus fort pourcentage.

Elle correspond respectivement à 85% et à 75%

TABEAU 2.18 CALCUL DU PRIX DE REVIENT DU KG DE CHARBON

	MEULE		FOUR	
	(F CFA)	(%)	(F CFA)	(%)
Investissement	0,8	4	1,5	9
Charges	2,2	11	2,8	16
Main d'oeuvre	17,5	85	13,2	75
Prix de revient	20,5	100	17,5	100

TABEAU N° 19 STRUCTURE DES PRIX AU NIVEAU DU DETAILLANT

	MEULE		FOUR	
	(F CFA)	(%)	(FCFA)	(%)
Coût d'investissement du charbonnier	0,8	1	1,5	2
Charges	2,2	3	2,8	4
Main d'oeuvre	17,5	25	13,2	19
Bénéfice du producteur	48,9	71	51,9	75
TOTAL	69,4	100	69,4	100

4.7 - Structure des prix au niveau du détaillant . (cf tableau N°2.19)

En négligeant le coût du transport du charbon, le prix de vente du Kg au détaillant est de 69,4 F CFA. Ainsi, on peut estimer le bénéfice du producteur à 48,9 F CFA. Pour la meule et à 51,9 F CFA au niveau du four. Cette structure des prix permet aussi de dire qu'au niveau des deux systèmes de carbonisation, les bénéfices du producteur représentent plus de 70% du prix de vente du Kg de charbon au détaillant.

CONCLUSION

L'analyse financière de la production du charbon au niveau de la meule et du four a été faite suivant des conditions bien précises.

En effet, l'objectif de cette étude n'a pas été de chercher la rentabilité maximale de chaque procédé de carbonisation mais plutôt de déterminer le prix de revient du Kg de charbon produit dans les conditions où les essais techniques se sont déroulés. Ainsi, il est apparu que la production du charbon à la meule nécessite environ 3 fois plus de temps qu'au niveau du four, indépendamment du temps de construction de ce dernier. Malgré la faiblesse de la durée de vie du four (4 carbonisations), la répartition du coût de construction sur chacune des carbonisations montre toujours que le four nécessite moins de temps de travaux (95 heures) que la meule (116 heures).

Par contre, le calcul des coûts d'investissement a permis de constater que les systèmes de carbonisation nécessitent à peu près les mêmes coûts d'investissement de départ soit de l'ordre de 40.000 F CFA. Cependant, à l'échelle d'une carbonisation, l'investissement au four équivaut au double de celui de la meule .

En définitive, en considérant les investissements, la main d'oeuvre et les différentes charges, il ressort qu'il y a une différence significative de 3 F CFA/Kg entre les prix de revient des Kg de charbon produits à la meule et au four. Ils sont respectivement de l'ordre de 20,5 et de 17,5 F CFA. En négligeant le coût de transport du charbon, les marges bénéficiaires sont de l'ordre de 48,9 F CFA/Kg dans le cas de la meule et de 51,9 F CFA/Kg au niveau du four. Celles-ci représentent respectivement 71 et 75% du prix de vente du Kg de charbon au détaillant.

.5 - SYNTHESE DES RESULTATS

1.5.1 - Préliminaire :

Après que les différents systèmes de carbonisation aient été testés conformément à un même protocole expérimental, la présentation des études s'est faite de façon indépendante. Ainsi, à travers ce volet de synthèse, nous tenterons de comparer les différents procédés de carbonisation par rapport aux paramètres suivants:

- les performances sur le plan quantitatif et qualitatif.
- Les avantages et inconvénients liés à des aspects particuliers (installation, chargement...)
- Les coûts de production
- L'environnement naturel, social et technologique

- LES BOITES

Tableau 7.20

Procédés de carbonisation	Four Casamançais	Four de type Argentin	
Humidité du bois : %	12 (6)	11 (3)	
Classes de diamètre du bois (cm)	$\varnothing \leq 10$	12 %	23 %
	$10 < \varnothing \leq 20$	34 %	28 %
	$\varnothing > 20$	55 %	39 %
Bois de mauvais état sanitaire : %	21,6 %	12 %	
Rendement pondéral (matière anhydre) : %	28 (7)	31 (3)	
Rendement de production de tisons : %	5 (2)	8 (3)	
Rendement énergétique (en PCC) : %	52	55 (10)	
Volume de charbon : %	4,2 (0,7)	3,8 (0,6)	
Densité apparente : kg/m^3	261 (13)	236 (17)	
Taux de matières volatiles : %	19 (3)	35 (7)	
Taux de carbone fixe : %	38 (2)	62 (1)	
Pouvoir calorifique supérieur : kJ/kg	30 (1)	31 (2)	

H.B : Les valeurs qui sont dans le tableau sont des moyennes et le chiffres entre parenthèse représentent les écarts-types.

.5.2 INTERPRETATION DES DONNEES

a) - L'aspect quantitatif de la production du charbon de bois

En vue de comparer les rendements de production au niveau des deux procédés de carbonisation, il y a lieu d'analyser l'état des rondins des essais au bois de défriche avant la carbonisation. Nous ne faisons pas cas des tests à l'Eucalyptus étant donné que leur charge était homogène.

- Par rapport à l'humidité des rondins, les valeurs moyennes attestent qu'il y a très peu de différence entre les différents taux.

- En considérant le pourcentage du poids des rondins suivant des classes de diamètre il y a peu d'écart entre les différentes classes du diamètre des rondins utilisés au four contrairement au cas de meule.

- Pour ce qui est de l'état sanitaire des rondins, nous avons ~~pratiquement~~ les mêmes taux de bois pourris qui ont été enfournés.

En définitive, par rapport aux essais avec le bois de défriche, les rondins de la charge du four présentaient plus d'avantages que ceux de la charge de la meule dans le processus de carbonisation.

Ainsi, sur l'ensemble des deux séries de test (essai au bois de défriche puis à l'Eucalyptus), il ressort que le rendement pondéral sur matière anhydre au four (31%) est à priori meilleur à celui de la meule casamançaise (28%). Il en est de même pour les tests qui ont été menés avec le bois d'Eucalyptus (34% pour le four contre 31% à la meule). Ceci provient du fait que le four présente une plus grande efficacité de contrôle de l'admission de l'air par rapport à la meule. Il arrive que le four produise beaucoup plus de tisons (8%) que la meule (5%) du fait qu'il est possible d'arrêter complètement l'évolution de la carbonisation à des périodes données.

Les rendements énergétiques de transformation sont satisfaisants (plus de 50%) et celui du four est de 55% ce qui est lié au fait que les briques conservent bien la chaleur.

En fin, disons que le test de comparaison des moyennes a permis de constater qu'il n'y a pas de différence significative entre les différents taux de production (cf annexe 2.7)

b) - L'aspect qualitatif

Précisons que pour la plupart des pays en développement, la qualité du charbon repose sur les exigences de la consommation domestique. Ce sont principalement:

- le fait que le charbon dure au foyer lorsqu'il brûle.

Cette situation est liée à la grosseur et à la lourdeur du charbon.

- Le fait que le charbon s'enflame^m rapidement.

Cette dernière exigence est liée à l'importance de la quantité de matières volatiles qui contribue ainsi à la baisse du taux de carbone fixe.

L'analyse des données permet de dire que le charbon issu de la meule et du four se partage équitablement ces exigences essentielles.

En effet, le charbon produit à la meule présente une grande densité apparente (262 Kg/m³) par rapport à celui du four (236 Kg/m³). Nous pensons que cela est dû au fait que la carbonisation au four se déroule plus rapidement qu'à la meule. En effet, dans le cas des bois à canaux étroits, le dégagement gazeux fait éclater le matériau et on obtient un charbon léger (4).

Quant au pouvoir calorifique supérieur du charbon, il n'y a presque pas de différence entre les deux procédés de carbonisation.

Concernant le taux de matières volatiles le charbon issu du four en contient beaucoup plus (35%) que celui de la meule (29%). Ceci voudrait dire que le charbon issu du four tendra à s'enflammer plus vite que celui de la meule.

En définitive, le charbon produit à la meule comporte plus d'avantages en raison de sa meilleure densité apparente.

1.5.3 - LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS

A travers les tableaux 2.21 et 2.22 il est possible de comparer le four Argentin et la meule Casamançaise par rapport aux caractéristiques pratiques qui ont été définies au niveau du protocole expérimental.

Ainsi, en considérant le tableau 2.21 il ressort que la meule Casamançaise offre plus d'avantages que le four Argentin. Ces avantages sont essentiellement d'ordre économiques et liés au coût de revient de la matière première à carboniser. Par contre, les avantages de la production du charbon au four sont essentiellement d'ordre technique et relatifs à la facilité de conduite, de chargement et de défournement lors de la carbonisation.

Par ailleurs en considérant le tableau N°2.22 il apparaît que les inconvénients majeurs, de la meule sont liés au fait qu'elle nécessite beaucoup plus de main d'oeuvre. Par contre, les inconvénients du four tiennent essentiellement au fait qu'il constitue une installation fixe.

La meule présente des difficultés techniques d'habillage, de conduite et de défournement. Mais il y a lieu de ne pas perdre de vue que la faible résistance thermique du four constitue un inconvénient majeur.

Tableau 2.22 : Inconvénients liés à la production du charbon à la meule et au four

	Meule Casamançaise	Four de type Argentin
Nature de l'installation	-	L'immobilité accroît les coûts de transport du bois
Charge utile	-	Peu variable
Dimension des matières premières	-	Elle est limitante; accroît les coûts de débitage
Chargement ou montage-habillage	"l'habillage" nécessite beaucoup d'efforts physiques	Nécessité de la prudence vis à vis de la porte d'entrée
Conduite de la carbonisation	Présence quasi-permanente de l'opérateur : au moins 24 heures	Les gaz créés des nuisances lors de la fermeture des événements
Action des divers agents météorologiques	Très vulnérable à la pluie et au vent	-
Mode de tirage	-	Il est direct et favorise la présence de combustions vives
Défournement	Fasdieux et nécessite un grand savoir-faire	La pulvérulence du poussier produit des nuisances
Impact sur l'environnement	-	Les gaz polluent directement l'atmosphère
Durée totale du cycle de carbonisation	Longue : 6 jours pour 12 - 13 stères	-

1.5.4 Les coûts de production du charbon

L'analyse financière de la production du charbon au niveau des deux systèmes a permis de constater que les coûts de revient du Kg différaient significativement de 3F CFA. (20,5F CFA/Kg au four contre 19,5F CFA/Kg à la meule). Cependant, d'un point de vue pratique, il serait difficilement envisageable pour un exploitant d'avoir à reconstruire son four après un mois de carbonisations intenses.

1.5.6 - l'Environnement naturel, social et technologique

Après les différents aspects qui ont été abordés, l'Environnement naturel, social et technologique constitue un facteur déterminant dans le choix d'un procédé de carbonisation.

1.5.6.1 La meule :

Elle peut être envisagée dans les cas suivants:

- La situation sociale est telle que le coût de la main d'œuvre est bas

- Dans le cadre d'un projet de carbonisation de bois de défriche sur de très vastes surfaces boisées. Elle contribuera à réduire considérablement les coûts d'exploitation du bois (construction et entretien de pistes de débardage, coût du transport du bois...)

- Dans le cas où la récupération du jus pyroligneux présente un intérêt particulier.

- Le manque de moyens financiers et technologiques ne permet pas l'acquisition de technologies avancées de carbonisation.

- Les dimensions du bois sont importantes.

1.5.6.2 Le four

Compte tenu de sa faible durée de vie et de son caractère fixe, il est envisageable dans le cas suivants:

- La proximité d'une surface boisée dont le volume de bois sera égal à environ quatre fois le volume du four.

- La proximité d'une scierie en vue de transformer ponctuellement les dosses et autre déchets.

CONCLUSION partielle

Les conditions dans lesquelles les essais ont été conduits nous ont permis de constater qu'il est difficile de dresser une fiche signalétique exacte d'un procédé de carbonisation. Ceci est lié à l'influence des différents paramètres qui régissent la carbonisation (humidité de bois, taille des rondins, état sanitaire du bois...). Cependant, nos études ont permis de confirmer certaines règles de carbonisation et à formuler des hypothèses quant au fait que certains résultats soient spécifiques à un système de carbonisation donné.

En effet, d'un point de vue quantitatifs, le rendement pondéral de production du charbon est à la fois lié aux caractéristiques de la matière première de départ et à la technologie mise en oeuvre. Ainsi, nous avons obtenu un rendement de production de charbon de 31% au four contre 28% à la meule.

Pour ce qui est de la qualité du charbon ainsi produit, le suivi de l'évolution de la température au cours de la carbonisation a permis de constater que celle-ci conditionne les propriétés physico-chimiques du charbon. En effet, plus la température finale de carbonisation est élevée plus le taux de matières volatiles baisse. Ainsi le taux de carbone fixe étant en relation avec des taux de cendres et de matières volatiles, celui-ci sera également fonction de la température de réaction. Il est aussi apparu que le taux de cendres du charbon est indépendant du procédé de carbonisation mais qu'il est plutôt lié à la composition minéralogique du bois de départ. Par contre, le taux de matières volatiles est fortement influencé par la technologie mise en oeuvre (29% à la meule contre 35% au four

Quant aux avantages et aux inconvénients liés à chaque système, ceux-ci sont liés à des considérations d'ordres économiques et techniques qui varient suivant les besoins.

En outre, l'analyse des performances (qualitatives et quantitatives) a permis de constater qu'il n'y a pas de différence entre les deux procédés de carbonisation. Ainsi, l'étude de l'environnement naturel, social et technologique décidera du choix de la technologie de carbonisation la plus appropriée. Ainsi nous proposons:

Cas du four

- Que des recherches se poursuivent en vue d'accroître sa durée de vie tout en tenant compte des propositions que nous avons faites.

- Si cette condition est remplie, le four pourrait être vulgarisé au niveau des coopératives de charbonniers que nous avons proposés antérieurement.

En effet, le caractère fixe de son installation facilitera le contrôle de la gestion de la coopérative.

De même, en considérant que le rendement de production des techniques traditionnelles est de 20%, celui-ci pourrait être amélioré de 11%.

La consommation journalière minimale de charbon de bois dans la ville de Ouagadougou est de 13,6t. Cela voudrait dire que les systèmes traditionnels de production du charbon consomme chaque jour 68t de bois brut. L'utilisation du four du type Argentin permettra une économie journalière de 7,5t de bois soit 2700t de bois annuellement. En considérant que la densité de bois est de 0,8, cela représenterait 3366m³ d'économie de bois annuellement.

Cas de la meule :

On pourrait envisager l'utilisation de la meule dans les vastes projets de déboisement qui nécessitent d'importants travaux de génie forestier. En effet, les coûts d'ouverture et d'entretien des pistes, de transport... représentent environ 80% du coût de production du charbon de bois (5). Ainsi, l'utilisation de la meule permettra de réduire considérablement ces différents coûts.

CONCLUSION GENERALE

- en charbon de bois dans la ville de Ouagadougou
"Approvisionnement, consommation et étude comparative de deux systèmes de carbonisation" tel est le thème que nous avons traité au cours de dix mois de stage.

Dans le contexte actuel du Burkina Faso, ce thème revêt un caractère important eu égard au déboisement massifs qui sont en cours de réalisation.

En ce qui concerne le volet approvisionnement de la ville de Ouagadougou en charbon de bois, il est apparu que celui-ci est une structure véritablement archaïque et difficilement maîtrisable. Les voies d'entrées de charbon de bois sont très variées et souvent difficiles à identifier. Notre enquête n'a concerné que les grands axes d'approvisionnement et quelques pistes reconnues. Cependant, il faut reconnaître que certaines ruelles débouchant sur des zones d'habitats spontanées sont aussi des voies d'acheminement du charbon de bois. Ces dernières sont généralement empruntées par les charbonniers qui ne sont pas en règle vis à vis de la réglementation qui est en vigueur. En outre, le souci d'écourter le chemin à parcourir pourrait être une autre raison étant donné que le moyen de transport le plus utilisé est la bicyclette.

Néanmoins, en tenant compte des fluctuations saisonnières et qu'il s'agisse d'un jour ouvrable ou non, nous avons estimé à 6,5t les quantités de charbon qui entrent quotidiennement dans la ville de Ouagadougou.

Concernant les axes d'approvisionnement, ce sont ceux de Fada et de Kaya qui assurent l'acheminement de l'essentiel des quantités produites autour de la ville. Cependant, l'axe Kaya a tendance à être le plus important en saison sèche comparativement à l'axe Fada qui jadis supportait le gros du trafic. On serait donc tenter de penser à une évolution de la carbonisation à partir de la zone de Gonsé vers celle de Ziniaré qui présente de grandes quantités de bois morts avec la forêt classée de Bissiga.

Ainsi, l'état de la route constitue l'une des raisons qui font que les grossistes transporteurs du bois préfèrent l'axe de Fada à celui de Kaya, ce qui augmente la disponibilité en bois de carbonisation pour les régions traversées par l'axe Kaya (Ziniaré...).

Par rapport à la consommation, elle a revêtu un caractère aussi complexe que celui de l'approvisionnement. Avec l'enquête qui a été menée auprès de certains consommateurs non domestiques et en estimant les besoins de consommation de la fraction des ménages de la ville de Ouagadougou qui utilisent effectivement le charbon de bois, nous sommes parvenus à une consommation journalière de 13,6t. Il faut aussi noter que ces différents consommateurs présentent une certaine sélectivité vis à vis de la qualité du charbon de bois.

En faisant une comparaison avec les quantités de charbon entrant, on note un manque à gagner de 7,1t. Probablement, ce déficit pourrait être comblé par les circuits de distribution que nous n'avions pas pu couvrir et aussi par des quantités non négligeables de charbon produits par les dolotières.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'étude comparative de carbonisation, la meule Casamançaise et le four Argentin ne présentent pas de différence manifeste du point de vue des rendements pondéraux de production du charbon. Ils sont respectivement de l'ordre de 28% et de 31%.

Les différents travaux qui ont été menés nous ont permis de confirmer l'importance de certains paramètres sur les aspects quantitatifs et qualitatifs de la production du charbon.

En particulier nous citons:

-L'état sanitaire, les dimensions et le taux d'humidité des rondins à enfourner.

- La conduite de la carbonisation.

- L'influence de la température finale de carbonisation et de la composition chimique de la matière première de départ sur les propriétés physico-chimiques du charbon de bois.

Le four, bien que présentant un bon rendement thermique en raison de la raison de la réfraction des briques, présente l'inconvénient de ne pas résister longtemps. Par contre, son coût de production du prix du kg de charbon (17,5 FCFA) est bas par rapport à celui de la meule (20,5 FCFA). A la lumière de toutes ces analyses et conclusions qui ont été tirées, des propositions ont été faites:

- Pour ce qui est du marché de charbon de bois, il conviendrait d'organiser les charbonniers en coopératives et de réglementer la vente de leur produit. Cette situation permettra

un meilleur contrôle de la gestion de l'environnement. Ainsi, par la fixation de quotas de productions, cela pourrait permettre une insertion progressive des quantités issues des zones d'aménagement (Kompienga...) à travers le marché de Ouagadougou. En outre, la réduction des quantités de charbon produites par les charbonniers pourrait assurer une accélération de la régénération naturelle des ressources ligneuses autour de la ville de Ouagadougou.

- Concernant les systèmes de carbonisation, le four Argentin pourrait être vulgarisé au niveau des coopératives de charbonniers après que les études aient augmenté sa durée d'utilisation. Pour l'heure, la meule Casamançaise pourrait être envisagée pour la conversion du bois de défriche des vastes superficies déboisées.

Dans tous les cas un accent particulier devra être mis sur la formation des charbonniers car le savoir faire est un élément très important dans la conduite du processus de carbonisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) D. Briane et J. Deat : Guide technique de la carbonisation
- (2) W. EMRICH : Handbook of charcoal making
- (3) D. Briane et A. Haberman : Essais comparatifs de Six systèmes de carbonisation Artisanale, ABF 1982
- (4) F.A.O. : La carbonisation du bois par fours transportables et Installations fixes MAI 1955
- (5) F.A.O. : Techniques simples de carbonisation
- (6) C.T.F.T. : Forêts tropicales et énergie
- (7) REVUE : Bois de feu Informations N° 3
- (8) P. COURTY : Abrégé de carbonisation Artisanale
- (9) Standard methods for the examination of water and waste water 15ème édition 1980
- (10) Special énérgy programme
KENYA : Charcool Production and research activities
Within the S.E.P.K
- (11) YAGO.D : Memoire de fin d'études, " Production et commercialisation du charbon de bois à OUAGADOUGOU"
- (12) M.C.A.P/S.D (1985) Rapport d'enquête sur les circuits de commercialisation du bois de chauffe et du charbon de bois consommé par les ménages dans la ville de OUAGADOUGOU

- (13) YAMEOGO M. : Mémoire de fin d'études "plantation forestières de wayen
-Exploitation
-Commercialisation.
- (14) M. BAILLY : Thermodynamique thermique
Production et transfert de la chaleur écoulement
- (15) MEVY. J.PH : Rapport de fin de stage "Carbonisation traditionnelle
et consommation du charbon de bois à OUAGADOUGOU
Aspects techniques et Socio-économiques"
- (16) Vita (volunteers in technical assistance)
Document Service : les conversions thermo-chimiques du bois
- (17) EDWARD.G. KARCH : Charbon de bois : production et utilisation à
petite échelle
- (18) informations sur la meule Casamançaise . DAKAR Septembre 1981
République du SENEGAL Ministère du développement RURAL
- (19) Special energy programme
KENYA : Background. current activities. Out look for the future
- (20) Franz Zinner: recherche sur la résistance des matériaux de construction
pour les foyers améliorés en banco.
- (21) Revue Bois de feu informations N° 19
- (22) Bureau international du travail
GENEVE Fev. 1986 : Etude sur l'utilisation des bois de défriche
des barrages de KOMPIENGA et BAGRE au BURKINA-FASO

ANNEXE 1.5 Calcul de l'intervalle de confiance du prix de vente du Kg de charbon au détaillant.

En supposant que la population des prix du Kg de charbon suit une loi normale de distribution, soient:

$\bar{X} = 123$ F CFA correspondant au prix du Kg de charbon au détaillant.

$\sigma = 4,72$ l'écart type de la moyenne de l'échantillon.

$\sigma_{\bar{X}} = 15,67$ l'écart type de l'échantillon

$N = 11$ la taille de la population

étant donné que la variable aléatoire $\frac{X - \bar{X}}{\sigma_{\bar{X}}}$ suit une loi de student-Fisher, aux niveaux de la probabilité $\alpha = 5\%$, nous avons l'inégalité suivante :

$$p - (t; \alpha) \cdot \sigma_{\bar{X}} \leq p \leq p + (t; \alpha) \cdot \sigma_{\bar{X}}$$

$\nu = N - 1 = 10$ correspond au degré de liberté.

Application numérique:

$$123 - 4,72 \times 2,228 \leq p \leq 123 + 4,72 \times 2,228$$

$$112 \leq p \leq 134.$$

Ainsi, nous pouvons affirmer que nous avons 95% de chance pour que le prix du Kg de charbon au détaillant soit compris entre 112 et 134 F CFA.

ANNEXE 2.1

=====

RESULTATS DES ESSAIS N° 1 et N° 6 OPERES A LA MEULE CASAMANCAISE

	ESSAI N°1	ESSAI N°6
Volume enfourné (STR)	40	"
Quantité de tisons enfournée (Kg)	"	1 716
Quantité de matière brute totale (Kg)		3 289
Taux d'Humidité (%)		7
Quantité de matière anhydre (Kg)		3 179
Quantité de charbon marchand (Kg)	685	938
Rendement pondéral sur matière brute (4%)	6	29
Rendement pondéral sur matière anhydre (%)		30
Densité apparente (Kg/m3)	274	323
Volume total (m3)	2,5	2,9
Rendement de production de tisons (%)	2	3

ANNEXE 2.4
— Calcul des rendements pondéraux

En considérant le tableau N°1, on constate que les espèces identifiées, l'Anogeissus leiocarpus et l'Acacia gourmaensis sont les essences qui ont été prédominantes au cours des trois sivities de test.

Du point de vue de l'état sanitaire des différents charges, celui-ci est acceptable en dehors du cas de l'essai N°3 qui présente beaucoup plus de bois pourris (16,4% de cas d'attaques).

Par ailleurs, notons que les essais N°3,3 et 5, on a respectivement 31%, 36% et 61% de rondins qui ont été enfournés sans écorces. Ainsi, par rapport au dernier test (essai N° 5), l'on devrait s'attendre à un plus fort taux de production de poussier, soutenu également par le faible pourcentage des rondins de la plus petite classe de diamètre (diamètre < 10cm)

Sur l'ensemble des tests qui ont été menés, notons le caractère homogène des pourcentages des rondins de diamètre < 10cm (en moyenne 19% pour un écart type de 2%. Par contre, ceux des classes de diamètres intermédiaires et Supérieur sont assez hétérogènes et leur moyennes sont respectivement de l'ordre de 33% et 48% pour des déviations standards respectifs de 13 et 15%

TABLEAU 2: POURCENTAGE DES CLASSES DE DIAMETRE SUIVANT LES

ESPECES

Essence	ESSAI N° 3				ESSAI N° 4				ESSAI N° 5			
	0<10	10<20	20<30	Total	0<10	10<20	20<30	Total	0<10	10<20	20<30	Total
Acacia												
Leucocarpus (%)	7,4	18,3	2,7	28	2	14,5	19,3	15,8	2,5	-	13,2	15,7
Acacia Gourmaensis %	1,8	14,3	1,9	18	3,6	5,4	4,9	13,9	2,2	-	-	2,2
Grewia bicolor (%)	1,5	0,7	-	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Pterocarpus erinaceus (%)	-	2,2	-	2,2	-	2	-	2	-	-	-	-
Entada africana (%)	-	4,1	-	4,1	1,8	-	-	1,8	3,2	-	-	3,2
Sclerocaria birrea (%)	0,9	0,4	-	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-
Balanites Egyptiaca %	0,4	-	-	0,4	-	-	4,5	4,5	-	-	-	-
Lanneo acida %	-	1,8	-	1,8	-	-	-	-	-	1,6	-	1,6
Acacia général (%)	5,2	3,4	-	8,6	4	9,5	-	13,5	3,3	2,9	-	6,2
Dutyrospermum (%)	-	-	-	-	1,9	-	-	1,9	-	-	-	-
Piliostigma sp (%)	-	-	-	-	0,7	-	-	0,7	-	-	-	-
Diospyros mespiliformis (%)	-	-	-	-	3,2	-	-	3,2	3,3	-	-	3,3
Tamarindus indica (%)	-	-	-	-	2,5	-	-	2,5	-	4,8	-	4,8
Espèce non identifiée (E N I) de bon état sanitaire (%)	4,6	2,1	8,3	15	2,4	-	24,7	27,1	3,5	9,2	43,3	56
E N I de mauvais état sanitaire (%)	-	2,9	13,5	16,4	-	-	9,3	9,3	-	-	5,1	5,1
Combretum glutinosum %	-	0,8	1	1,8	-	2,4	13,5	5,9	2	-	-	-
TOTAL (%)	22	51	27	100	16	30	55	102	20	19	62	101

- Analyse des rendements pondéraux

Nous tenons à faire remarquer que nous avons fait face à certaines difficultés lors de la conduite des essais n°3, 4 et 5. C'est la raison pour laquelle les différentes moyennes calculées ne tiennent compte que des deux premiers tests qui se sont déroulés sans heurts. Ainsi, en rapport avec le tableau n°2, on pourrait faire un certain nombre d'analyses.

En effet, l'essai n°3 a été le premier test dont nous avons l'entière responsabilité. Ainsi, par souci d'optimiser le rendement pondéral de production nous avons voulu éviter la présence de combustions vives à travers le four, en interposant immédiatement des écrans au niveau des événements concernés. Cette situation a conduit à prolonger par deux fois la durée du cycle de carbonisation (~~et tableau 4~~) favorisant ainsi une combustion inutile du charbon déjà produit. Cela dénote la médiocrité du rendement pondéral (16 %), couplée à une hausse du taux de poussier réalisé (12 %). En retour, la permanence de calories dans le four a favorisé un très faible taux de tisons (1 %).

Ainsi, notre savoir faire s'étant amélioré, nous sommes passés à la mise en oeuvre de l'essai n°4 qui est parvenu à son terme dans les conditions normales. Cependant, après que le charbon ait été stocké la reprise d'oxygène a occasionné une réinflammation de celui-ci au cours de la nuit. La conséquence de cette situation a été la faiblesse du rendement pondéral (16 %) et évidemment une hausse du taux de poussier, les cendres étant comprises (14 %). C'est pour ainsi dire qu'il est d'une extrême importance d'assurer une bonne aération du charbon fraîchement défourné et de prévoir une réserve suffisante d'eau en vue de parer à toute éventuelle réinflammation.

Quant au dernier test (essai n°5), sa conduite a été interrompue du fait de l'effondrement du four après 3 heures de marche environ d'où la très forte proportion de tisons récupérée (20 %). C'est alors que nous avons fait recourt à des références bibliographiques en vue de sélectionner un matériau qui puisse conférer au four une durée de vie raisonnable (2 à 10 ans selon la littérature).

Observations : Précisons qu'en dehors de l'essai n°4 dont la durée du cycle a été prolongée de 72 heures, les essais n°1, 3 et 4 ont été menés dans les limites de temps requis. Cependant, nous avons utilisé dans chacun des 3 cas, 2 - 4 m³ d'eau en vue d'assurer le refroidissement du charbon fraîchement défourné. C'est dire que les briques industrielles cuites confèrent au four une très grande inertie thermique. Par contre, les briques idéales doivent éviter les pertes de chaleur excessives dues notamment au vent et cependant transmettre une chaleur suffisante en vue d'assurer un refroidissement rapide (5).

TABLEAU N°6 SITUATION DE LA CHARGE CARBONISATION

-0-

ESSAIS	Essai n° 1	Essai n° 2	Essai n° 3	Essai n° 4	Essai n° 5	Essai n° 6	Essai n° 7
VOLUME (STR)	12	13	12	14	12		
QUANTITE DE MATIERE BRUTE (KG)	3600	3900	3950	4153	3823		
HUMIDITE DU BOIS SUR MATIERE brute (%)	-	-	16	18	17	17	1
MATIERE BRUTE ANHYDREE (Kg)	-	-	3310	3408	3173	-	-
QUANTITE de Charbon MARCHAND produite (Kg)	848	1021	636	675	806	-	-
QUANTITE DE POUSSIER (KG)	240	159	406	473	360		
QUANTITE DE TISSONS (KG)	17	135	40	38	690		
RENDEMENT (r) DE PRODUCTION DU CHARBON MARCHAND (sur MATIERE BRUTE (%))	24	26	16	16	21	25	1
R PRODUCTION CHARBON MARCHAND (sur matière anhydre) (%)	-	-	19	20	25	21	3
R POUSSIER (%)	-	-	12	14	11	12	1
R CHARBON TOTAL (/matière anhydre) %	-	-	31	34	33	34	2
R CHARBON MARCHAND / STR (KG/STR)	71	79	53	48	67	56	8
R TISSONS	0,5	3	1	1	22 %	1	-
DENSITE APPARENTE (KG/m3)	293	300	318	422	403	381	45
VOLUME TOTAL DU CHARBON MARCHAND	2,9	3,4	2	1,6	2	2	-

Nous présentons ci-dessus l'essentiel des détails techniques relatifs au mode de construction courant du four hémisphérique. Par la suite nous ferons cas des conditions dans lesquelles nous avons conçu nos briques et des transformations que nous avons opérées sur la construction du dernier four.

1) Choix et préparation du site

Les conditions sont presque similaires à celles de la meule sauf que dans ce cas-ci l'on recherche un terrain de portance convenable.

2) Construction

- 1 - A l'aide d'un piquet, matérialiser le centre du four
- 2 - Se munir d'une ficelle rattachée au piquet central et matérialiser deux cercles dont l'un circonscrit dans l'autre. Dans notre cas le diamètre du cercle intérieur était de 3,2 m.
- 3 - L'inter-zone ainsi créée a une largeur de 35 cm, conférant ainsi au cercle périphérique un diamètre de 3,4 m.
- 4 - On procède à l'excavation de cette zone, créant ainsi une tranchée de 40 cm de profondeur environ.
- 5 - Veiller à ce que le fond de la tranchée soit au niveau en tout point.
- 6 - Humidifier le fond de la tranchée.
- 7 - Procéder à un épendage de sable ou de gravier d'une épaisseur d'environ 5 cm. L'objectif visé est de faciliter le drainage des eaux d'infiltration.
- 8 - Déposer un premier lit de briques (10 x 10 x 5 cm) en les orientant de façon à ce que leur plus grande arête soit parallèle à la direction de la ficelle reliée au piquet central.
- 9 - Le diamètre intérieur du four ayant été repéré par un noeud sur la ficelle, il est important de poursuivre l'agencement des briques tout en vérifiant la constance du rayon.

.../

- 10 - Procéder à un revêtement au mortier en vue de colmater les joints
- 11 - Déposer une double rangée de briques en les orientant perpendiculairement à celles de la couche précédente
- 12 - Le montage se poursuit avec alternance de couches simples puis doubles jusqu'à ce que les briques de la dernière couche affleurent légèrement de la tranchée.
- 13 - L'orientation de la porte est choisie conformément à la direction des vents dominant.
- 14 - Les briques affleurant, l'on procède au marquage de la porte et de la première couche d'évents.
- 15 - Repérer une côte d'environ 55 cm pour la porte et procéder à la délimitation des événements tous les 1 m à partir d'une des limites de la porte. Ces événements (environ 10) ont une section égale à celle de deux briques superposées.
- 16 - Poursuivre la construction du mur tout en gardant l'ordre de succession initiale et en vérifiant souvent sa montée à l'aide d'un fil à plomb et d'un niveau à eau.
- 17 - A 60 cm au dessus du niveau du sol, arrêter la construction. Le mur ainsi constitué correspond au sous-bassement du four et il est très important que sa surface soit rigoureusement plane. Une règle surmontée d'un niveau à eau permet de s'en assurer. C'est la "canisole de force".

La seconde phase de la construction est relative à la confection de la coupole.

- 18 - Installer la jauge de rayon à partir du tuyau ayant supplanté au piquet central.
- 19 - Créer une légère dénivellée entre l'appui central de la jauge et le contour de la "canisole de force". L'on devrait s'apercevoir de cette disproportion à l'aide du niveau à eau.
- 20 - Ajuster la jauge au rayon du four.
- 21 - On construit la coupole à l'épaisseur d'une largeur de brique. Cependant, les briques délimitant la porte restent doublées afin que celle-ci puisse encaisser les coups accidentés dès au chargement.
Il est très important de veiller à ce qu'il y ait une bonne cohésion latérale entre les briques en utilisant le moins de mortier possible.
- 22 - Au tiers de la distance entre la base de la coupole et son sommet, laisser à nouveau une série de 10 événements et ce de façon quinconcée par rapport aux précédentes. Leurs dimensions équivalent toujours à celle de deux briques superposées.

- 23 - Au trois quarts de la hauteur du four, prévoir enfin 10 évents à la verticale de ceux de la "canisole de force" et de section égale à celle d'une brique.
- 24 - Par suite, achever la construction du four et procéder au crépissage par le revêtement d'une fine couche d'argile diluée.

3) Confection des briques

Elle nécessite un agrégat spécial constitué d'un mélange de sable et d'argile à 65 / 35. Une brique idéale doit être assez poreuse, résistante aux variations brusques de température, et isolante (5).

Dans notre cas, nous avons adopté la méthode artisanale de dosage qui consiste à opérer un mélange d'argile et de glumes de céréales.

Le mélange ainsi constitué, nous avons procédé à la confection de deux types de briques :

- 2.000 briques du type 40 x 15 x 10 cm
- 1.000 briques de 22 x 8 x 22 cm

Les briques ont été séchées à l'air et lorsqu'elles étaient à moitié sèches, nous y avons prélevé environ 5 % de demi-briques en vue de pourvoir à une construction à structure véritablement imbriquée.

4 - Transformations opérées dans la construction du four à base de matériaux locaux

- La "canisole de force" a été entièrement faite de couches simples de briques à usage d'habitation.

- Nous avons gardé la jauge et rayon constante jusqu'au deux tiers de la hauteur du four. En effet, le poids des briques était tel qu'elles ne pouvaient se maintenir en position quasiment verticale. Nous avons dû résoudre ce problème technique en rallongeant la jauge d'un demi centiètre chaque fois que nous passions d'une couche à l'autre.

Notons cependant que nous avons conçu notre four avec des briques non cuites et que nous avons voulu lui assurer une cuisson d'ensemble beaucoup plus homogène à travers trois jours successifs de préchauffage intense.

ANNEXE 2.6

CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA MOYENNE DE LA POPULATION DES TESTS AU FOUR ARGENTIN N°2 ()

Soient $\mu = 31$

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{N}} = 1,6$$

$$S = 3,24$$

Au niveau de probabilité = 5 % nous avons l'inégalité suivante.

$$U - (t_{\alpha}; \hat{V}) S_{\bar{x}} \leq \mu \leq U + (t_{\alpha}; \hat{V}) S_{\bar{x}}$$

$\hat{V} = N - 1 = 3$ degré de liberté.

Application numérique

$$31 - 3,182 \times 1,6 \leq U \leq 31 + 3,182 \times 1,6$$

$$26 \leq U \leq 35$$

L'appréciation que l'on peut faire de cet encadrement est que nous avons 95 % de chances que le rendement pondéral au four argentin soit compris entre 26 et 36 % .

- Comparaison des moyennes des deux séries de tests

Les variances $\hat{\sigma}_1^2$ et $\hat{\sigma}_2^2$ étant égales ($\hat{\sigma}_1^2 = \hat{\sigma}_2^2 = 3$), nous procédons directement à la comparaison des moyennes μ_1 et μ_2 .

Soient l'hypothèse nulle $H_0 : \mu_1 = \mu_2$

Au cas où elle est vérifiée alors :

$$t = \frac{\bar{U}_1 - \bar{U}_2}{S_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}} \text{ suit la loi de } t \text{ à } (n_1 + n_2 - 2) \text{ degré}$$

de liberté (ddl).

Ainsi, il y a 95 % de chances pour que $-t_{0,975} < t < t_{0,975}$

et aussi il y a 99 % de chances pour que $-t_{0,995} < t < t_{0,995}$

$$\text{avec } \hat{S}_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \sqrt{\frac{(\sum x_1^2 + \sum x_2^2) (n_1 + n_2)}{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}}$$

Application numérique

$$X_1^2 = 31^2 + 26^2 = 1.637$$

$$X_2^2 = 35^2 + 32^2 = 2.249$$

$$U_1 = 29$$

$$U_2 = 34$$

$$S_{U_1 - U_2} = 1940$$

$$t = 25 \cdot 10^{-4}$$

$$ddl = 8 \text{ d'où } t_{0,975} = 2,31 \text{ et } t_{0,995} = 3,36$$



Conclusion : Il n'y a pas de différences significatives entre les moyennes U_1 et U_2 de production du charbon au bois de défriche et avec celui d'Ecalyptus.

ANNEXE 2.7 - COMPARAISON DES MOYENNES DE PRODUCTION DU CHARBON AU FOUR ET A LA MEULE

- Les variances à la meule ($s_1^2 = 31,7$) et au four ($s_2^2 = 10,5$) étant différentes, procédons à la comparaison des deux moyennes.

soit $\bar{x}_1 = 28\%$ la moyenne du rendement pondéral à la meule

$\bar{x}_2 = 21\%$ la moyenne du rendement pondéral au four

Les effectifs des deux échantillons étant égaux :

$$n_1 = n_2 = n = 4$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2 + s_2^2}{n(n-1)}}$$

Application numérique

$$s_1^2 = 31,7$$

$$s_2^2 = 10,5$$

$$t = \frac{28 - 21}{\sqrt{\frac{31,7 + 10,5}{4(4-1)}}} = 0,18$$

$$\sqrt{\frac{42,2}{12}}$$

Du degré de liberté $n-1 = 3$ $t_{0,975} = 3,18$ et $t_{0,995} = 5,84$

$$\frac{-3,18 \quad -5,84 \quad t = 0,18 \quad 3,18 \quad 5,84}{\dots}$$

Conclusion : Il n'y a pas de différence significative entre les rendements pondéraux de production du charbon de bois au four argentin et à la meule casamançaise.

51	/9	agents	agents
52	/7	atteind	atteint
	/15	éprovettes	éprovettes
	/2	citées	citées
53	1.6.2.		
	3/2	étude	étude
	1.6.2.3.3/6	confronté	confrontés
54	/30	pression	pression
	/33	croissantre	croissante
	/33	cxette	cette
55	/"	tremperature	température
57	/24	<u>Andropogon psendapricus</u>	<u>Andropogon pseudapricus</u>
58	2.2/5	pratique	pratiques
	/7	du	de
	/12	systématique	systématique
59	/28	établi	étabit
	/34	schémas	schéma
60	2.5.1./1	continue	contenue
	/6	sufisante	suffisante
	2.5.2./0	Déshydratation	Déshydratation
	/5	Schémas	schéma
61	2.5.3/2	unitile	inutile
	2.5.4/2	déliate	délicate
	/3	réinflamme	réenflamme
	/3	entroposage	entreposage
63	2.6.1/16	sixième	troisième
64	2.6.2/3	aussi produit	ainsi produit
	/18	carb onisation	carbonisation
	/24	ventillé	ventilé
65	/6	caratère	caractère
	/8	un structure	une structure
	/23	aérétion	aération
68	2.6.3/5	est supérieur	est supérieure
	/15	de chabon	du charbon
	/16	pas confirmé	pas confirmée
69	/7	indépendant	indépendante
	/6/9	cendre	cendres
70	/2	physico-chimique	physico-chimiques
	/4	<u>D'Encalyptus</u>	<u>D'Eucalyptus</u>
71	2.6.4/3	retus	retenus
72	/12	xylophaye	xylophage
74	/32/35/38	désydratation	déshydratation
75	/12	cette charge était	cette charge (cas de l'essai N° 3) était
76	/2	(cf ANN 2.2)	(cf ANNEXE 2.2)
	/5/9	essais	essai
78	/16	essais	essai
	/31	vue	vu

.../...

93	/9	Conditione	Conditionne
	/21	Indépendamment	Indépendamment
	/20	plutôt	plutôt
95	/14	en	ou
	3/7	réaction	réaction
	5	sait	s'est
96	3.1/0.	préliminaire	préliminaire
	3.1/1	répandu	répandu
	3.1.16	annexe 2.2.	annexe 2.4
98	3.5.2.0	déshydratation	déshydratation
	1/	continue	continue
	/6	carbonation	carbonisation
	/12	synthèse	synthèse
96	3.6.3/4	apparent	apparente
	/10	demeure	demeure
99	3.6.4/10	homogée	homogène
	/25	écorce	écorce
104	/9	essais	essai
	/14	conversion	conversion
106	3.7/16	résude	réside
107	/1	inconvénuants	inconvéniants
110	/4	dilation	dilatation
	/0	condition	conditions
112	/29	change	charge
115	4.2/3	par	pour
112	5.1/1	différents	différents
	/7	performances	performances
114	a)/26	arrive	arrive
125	b)/9	contribue	contribue
100	12	11%	11 unités
	17	7,5 t	24,1t
	17	2 700 t	3 300 t
	19	3 366 m3	11 000 m3
lère page de la			
conclusion!			
	5	au déboisement	aux déboisements
	7	approvisionnement	approvisionnement
	9	structure	structure
	12	approvisionnement	approvisionnement
	14	spontanées sont aussi	spontanés sont aussi
	16	charbonniers	charbonniers
Annexe 1.5!			
	5	$\bar{x} = \bar{x} = 1,72$	$\bar{x} = 1,72$
	9	$\bar{x} = x$	$\bar{x} = x / \sqrt{N}$
	12		
		(t; 0)	(t; 0)

Erreur de pagination : La page 42 correspond à la page 41. Cette erreur de pagination se répercute sur la suite du mémoire.

ERRATA : REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) D. BRIANE -- Guide technique de la carbonisation
J. DOAT (1985) La fabrication du charbon de bois - 179 p.
- (2) W. Emrich (1985) - Hand book of charcoal making - 278 p.
- (3) D. BRIANE -
A. HABERMAN (juin - décembre 1984) - Essais comparatifs de six systèmes de carbonisation artisanale - 187 p.
- (4) F.A.O. (mai 1955) - La carbonisation du bois par fours transportables et installations fixes - 160 p.
- (5) F.A.O. (Rome 1983) - Techniques simples de carbonisation - 158 p.
- (6) C.T.F.T. - Forêts tropicales et énergie
- (7) Revue - bois de feu information n°3
- (8) P. COURTY (avril 1985) - Abrégé de carbonisation artisanale - 79 p.
- (9) Standard methods for the examination of water and waste water
15e édition 1980
- (10) Spécial Energie Programme - Charcoal production and research activities - Kenya - Within the SEPK - 79 p.
- (11) YAGO D. (1984) : Mémoire de fin d'études - Production et commercialisation du charbon de bois à Ouagadougou - 50 p.
- (12) M.C.A.P/S.D (1985) - Rapport d'enquête sur les circuits de commercialisation du bois de chauffe et du charbon de bois consommé par les ménages dans la ville de Ouagadougou
- (13) YAMEOGO M. (1985) - Mémoire de fin d'Etudes - plantations forestières de Wayen :
- exploitation
- commercialisation, 145 p
- (14) M. BAILLY (1971) - Thermodynamique technique
La production et transfert de la chaleur
écoulements - 464 p.
- (15) MEVY J. PH. (1985) - Rapport de fin de stage - carbonisation traditionnelle et consommation du charbon de bois à Ouagadougou : aspects techniques et socio-économiques, 60 p
- (16) X. DEGLISE : VITA documentation service - les conversions thermo-chimiques du bois (38 p)
- (17) EDWARD G. KARCH (1983) - charbon de bois : production et utilisation à petite échelle - 110 p.
- (18) Informations sur la meule Casamançaise : Dakar septembre 1981
République du Sénégal Ministère du Développement Rural

 N N E X E S

ANNEXE 1.2 - APPROVISIONNEMENT DE LA VILLE DE OUAGADOUGOU
EN CHARBON DE BOIS

Date.....

Heure.....

Axe.....

Poste.....

Moyen de transport.....

Provenance.....

- Principaux clients
- familles
 - revendeurs
 - restaurants
 - Artisans (préciser)
 - autres

	NOMBRE DE			POIDS		
	SACS					
GRANDS						
MOYENS						
PETITS						

Fréquence de passage par mois.....

ANNEXE 1.3

							FONDEURS	
		Poids du charbon pesé		Poids du charbon restant		Repas préparé	Poids du bronze ou d'alluminium à fondre	Nombre de pièces produites
N°	Date	RB	Fon- deur	RB	Fon- deur	BR	Bronze	

Observations :

ANNEXE 1.4 - ENQUETE CONSOMMATION DE CHARBON DE BOIS
A OJAGADOU

N°.....

Date..... Secteur.....

Enquêteur

1) Quelle activité exercer vous ?

- restaurateur
- fondeur
- artisan
- autres (précisez)

2) Achetez-vous le charbon de bois ?

- au détail
- par sac
- a) au détail
 - quelles quantités par semaine ?.....
 - a quel prix ?.....
- b) par sac :

Taille	Prix	Poids (kg)
Petit		
Moyen		
Grand		

. Pendant combien de jours utilisez-vous un sac ?.....

3) A quoi utilisez-vous le charbon de bois ?.....
.....

4) Où achetez-vous le charbon de bois ?.....

5) Le ravitaillement est-il régulier oui non
suffisant pour tous les besoins ? oui non

6) Quelles sont vos exigences du point de vue de la qualité du charbon.....

CALCUL DE L'INTERVALLE DE CONFIANCE DE LA MOYENNE DE LA POPULATION DES TESTS OPERES A LA MEULE CASAIYANCAISE

Soient $\mu = 28 \%$ la moyenne des tests

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = 3,15 \text{ l'écart-type de la moyenne de la population}$$

avec $S = 6,5$ l'écart-type de l'échantillon

$n = 4$ la taille de la population

Au niveau de probabilité $\alpha = 5 \%$ nous avons l'inégalité suivante :

$$U - (T_{\alpha/2}; \nu) S_{\bar{x}} \leq \mu \leq U + (t_{\alpha/2}; \nu) S_{\bar{x}}$$

$\nu = n-1$ correspond au degré de liberté

Application numérique

$$\nu = 3$$

$$28 - 3,182 \times 3,15 \leq \mu \leq 28 + 3,182 \times 3,15$$

$$18 \leq \mu \leq 38$$

Conclusion : Il y a 95 % de chance pour que le rendement de production du charbon à la meule soit compris entre 18 et 38 %.