

République du Bénin



Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

Direction Générale des Forêts et Ressources Naturelles

Projet Bois de Feu Phase II

Rapport sur les Technologies de production du bois-énergie



Dr. Bernadette GLEHOUENOU-DOSSOU
Consultante indépendante

En collaboration avec
Mr. Raphaël AKOSSOU et Ing. Krystal M. R. DOSSOU

Version finale, juin 2007

Table des matières

Avant propos.....	4
Remerciements	6
Sigles et acronymes.....	7
1. Introduction.....	8
2. Rappel des objectifs de l'étude.....	9
3. Approches et démarche méthodologique	9
3.1. Approches	9
3.1.1. Approche participative et interactive :.....	9
3.1.2. Approche systémique et intégrée	9
3.1.3. Approche Genre.....	10
3.1.4. Approche Durabilité	10
3.2. Collecte des données.....	10
3.2.1. Documentation.....	10
3.2.2. Enquêtes et choix des localités.....	11
3.2.3. Réalisation de photographies	11
3.3 Analyse des données et illustrations	13
3.3.1. Méthode de traitement des données	13
3.3.2. Méthode de détermination de la densité des échantillons de charbon.....	13
3.3.3. Méthode d'estimation du rendement de la carbonisation.....	14
4. Résultats de l'étude.....	15
4.1. Quelques généralités et considérations	15
4.1.1. Brève opérationnalisation de quelques terminologies.....	15
4.1.2. Problématique du bois énergie dans les pays sous développés et au Bénin	15
4.1.2. Problématique du bois énergie et technologies de production de bois énergie	17
4.1.3. Description des problèmes relatifs à la biomasse énergie.....	17
i. Au niveau de l'exploitation des ressources forestières.....	17
ii. Au niveau de la consommation.....	18
4.2. Répertoire et description des technologies de production de bois-énergie	19
4.2.1. Technologies de production de bois de feu.....	19
i. Importance de la production de bois de feu.....	19
ii. Zones de production/prélèvement	19
iii. Rendement des formations naturelles et des plantations	23
iv. Caractéristiques physico-chimiques, des espèces coupées.....	24
v. Techniques et méthodes de prélèvement du bois.....	25
vi. Outils utilisés dans la production du bois énergie.....	26
vii. Typologie des producteurs et caractérisation de la filière	26
viii. Rendement en produits finis	27
4.2.2 Technologies de production du charbon de bois.....	33
i. Importance de la production de charbon et caractérisation des acteurs	33
ii. Zones de coupe de la matière première et zones de production du charbon de bois.....	33
iii. outils utilisés.....	34
iv. Méthodes de carbonisation.....	34
v. Etapes de la production du charbon.....	35
vi. Spécificités du processus.....	35
vii. Description du processus d'utilisation des fours et adoption des fours	39
viii. Densité de charbon selon les espèces et rendement de la carbonisation.....	40
ix. Rendement de la carbonisation.....	41
x. Conditionnement des produits finis et aperçu de la commercialisation.....	42

xi. Acteurs selon le genre	43
xii. Discussions.....	43
4.2.3. Technologies de production des déchets végétaux : cas de copeaux et sciure de bois	48
i. Présentation de la scierie de l'ONAB et sa production en bois énergie	48
ii. Processus de production de sciures, de copeaux et de chute de bois à la scierie de l'ONAB.....	49
iii. Etapes de production de bois de feu, de la sciure et de copeaux de bois à Saclo	50
4.3. Evaluation des différentes technologies selon les types de bois-énergie	57
4.3.1. Résumé de l'inventaire des technologies	57
4.3.2. Evaluation des technologies de production du charbon de bois	59
4.4. Evaluation des technologies actuelles de production du charbon de bois	61
4.4.1. Indicateurs sélectionnés.....	61
4.4.2. Classement et rétention des meilleures technologies de production de charbon de bois	61
4.4.3. Caractéristiques et technique de mise en œuvre de la meule casamançaise	64
i. Construction.....	64
ii. Carbonisation de la meule.....	66
4.4.4. Caractéristiques et technique de mise en œuvre des fours métalliques.....	68
i. Description.....	68
ii. Contraintes.....	68
iii. Mise en oeuvre.....	68
iv. Cas du four métallique de type Mark	70
4.5. Recommandations et propositions d'améliorations des technologies.....	73
4.5.1. Améliorations de la production de bois de feu.....	73
4.5.2. Améliorations de la carbonisation.....	74
4.5.3. Autres suggestions relatives à la politique énergétique	76
4.5.4. Stratégie de vulgarisation des meilleures technologies.....	76
5. Conclusion.....	78
Annexes	80
A1 : TDR de l'étude	81
A2 : Questionnaires d'enquête.....	84
A2.1. Questionnaire pour producteurs de bois.....	84
A2.2. Questionnaire pour les charbonniers.....	88
A3 : Pouvoir calorifique de quelques espèces usuelles utilisées au Bénin.....	92
A4 : Méthode de calcul du coefficient K de conversion du bois en charbon.....	93
A4.1. Calcul sans l'amélioration des techniques de carbonisation et de combustion	93
A4.2. Calcul avec l'amélioration des techniques de carbonisation et de combustion	93
A5 : Liste des espèces utilisées comme bois énergie et leur qualité	94

Avant propos

La contribution du bois-énergie est d'une importance capitale pour le développement socio-économique des centres urbains du Bénin. En effet, ces villes, aux grands besoins en énergie, sont extrêmement sensibles aux grands problèmes de l'offre de l'énergie. Elles sont, entre autres, confrontées à une importante consommation de la biomasse énergie (69% de la consommation totale d'énergie en 2004) par rapport aux autres formes d'énergie. L'impact premier de la dépendance de cette forme d'énergie (bois énergie) est la dégradation des forêts et autres formations forestières telles que les plantations domaniales, privées et autres dans la satisfaction des besoins des centres urbains. Cet impact est caractérisé de crise urbaine à impact rural.

Par ailleurs, des répercussions sur la régulation des phénomènes climatiques locaux et sous-régionaux ont été déjà constatées.

Afin de garantir la durabilité des forêts, le Projet Bois de Feu phase II (PBF-II) a identifié que la vétusté des technologies de production du bois énergie constitue un goulot d'étranglement. En effet, tant qu'elles ne sont pas améliorées, des pertes et gaspillages de ressource ligneuse continueront voire augmenteront du fait des faibles rendements de production. Ceci justifie la présente étude qui doit faire le point des technologies de production actuelles de bois énergie et suggérer la démarche appropriée pour une diffusion des meilleures technologies.

L'équipe de travail est constituée de :

Dr. Bernadette DOSSOU-GLEHOUENOU, PhD en Sciences forestières, spécialiste en Développement Rural Intégré et dendro-énergétiste, elle est spécialisée dans la problématique et la politique du bois-énergie. Elle est Professeure/chercheuse au Département d'Aménagement et de Gestion de l'Environnement à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi. Elle est la consultante principale. Elle détient à son actif la réalisation de plusieurs documents élaborés dans le cadre de la politique énergétique au Bénin, de la maîtrise de l'énergie domestique, de la foresterie sociale et de la gestion de l'environnement (bebe_dossou@yahoo.fr).

Mr Raphaël AKOSSOU, Ingénieur des Eaux et forêts et chasse, spécialiste de l'aménagement et gestion des ressources forestières. Il est actuellement Directeur technique de l'Office National du Bois.

Ing. Krystel M. R. DOSSOU, agronome, socioéconomiste (économie des ressources naturelles). Il est le chargé de programme « Energie & environnement » à l'OFEDI. Il coordonne au Bénin le Programme de renforcement de capacités destiné à la société civile pour l'adaptation aux changements climatiques (CLACC) et cumule une série d'expériences dans les domaines de l'énergie et des changements climatiques. Entre autres, il a conduit l'étude nationale relative à

l'identification des options prioritaires d'adaptation aux changements climatiques dans le secteur énergie dans le cadre de l'élaboration du PANA (krystod7@yahoo.fr).

La réalisation de cette étude a nécessité la mise en œuvre de processus dont le plus complexe et le plus long est la collecte d'informations à plusieurs reprises dans les localités choisies sur l'ensemble du territoire national. Le souci de réaliser un travail satisfaisant a exigé cette couverture nationale.

Au nombre des difficultés rencontrées, nous pouvons citer, entre autres, le manque de collaboration entre enquêteurs et enquêtés réticents dans la fourniture des informations. Ces derniers craignent des poursuites de l'administration forestière, ce qui nous a obligés à procéder à plusieurs collectes de données pour disposer d'informations complémentaires ; ceci a rallongé davantage la durée de nos prestations.

Remerciements

La consultante principale remercie toutes les personnes (et leur structure respective) ayant facilité l'accès aux informations de base dans le cadre de cette étude et toutes celles qui ont apporté des informations utiles lors des entretiens personnels ou de groupe.

Nos remerciements spéciaux vont à l'endroit :

- Du Directeur du PBF2, le Colonel Aristide Adjadémè, ses collaborateurs, Messieurs Sègnon et Kanhonou, et les chefs d'antennes qui n'ont ménagé aucun effort pour faciliter la collecte de données ;
- Du Directeur Général de l'ONAB qui a permis de disposer d'informations sur la scierie de Saclo ;
- De Ing. Hector Kpangon pour la réalisation du dépouillement et le traitement statistique des données ;
- De Madame Fousséna Imorou pour des compléments d'informations et photos de technologies de production de bois énergie réalisées dans le département de la Donga ;
- Des Ingénieurs agronomes qui ont réalisé les enquêtes sur le terrain.

Sigles et acronymes

CLACC	Capacity strengthening for civil society in LDCs for Adaptation to Climate Change / Programme de renforcement de capacités destiné à la société civile dans les pays les moins avancés pour l'adaptation aux changements climatiques
DGE	Direction Générale de l'Environnement
DGFRN	Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles
DSRP	Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté
EPAC	Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
GTZ	Gesellschaft Für Technische Zusammenarbeit
LDC	Least Developed Countries
kg	kilogramme
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche
MEHU	Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme
MEPN	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MMEH	Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique
NLTPS/ENPLT	National Long Term Perspective Studies/Etudes Nationales de Perspectives à Long Terme
OFEDI	Organisation des Femmes pour la gestion de l'Energie, de l'Environnement et la promotion du Développement Intégré
ONAB	Office National du Bois
ONG	Organisation Non Gouvernementale
PANA	Programme d'Action National aux fins de l'Adaptation aux Changements climatiques
PBF II	Projet Bois de Feu, deuxième phase
RPTES	Review Policies of Traditional Energies Sector

1. Introduction

Le bois est la principale source d'énergie domestique au Bénin comme dans la plupart des pays en voie de développement. Les combustibles ligneux fournissent près de 80 à 90% de l'énergie domestique. Cette forte dépendance vis-à-vis du bois est due au faible niveau économique et technologique du pays. Elle engendre des déboisements intensifs des formations forestières. Sachant que le Bénin n'est pas un pays forestier et que nous sommes condamnés, compte tenu de notre niveau de développement, à utiliser encore pendant longtemps les combustibles ligneux comme principales sources d'énergie, il urge d'adopter des méthodes et outils de production pouvant permettre d'économiser la matière ligneuse. Ceci nous permettra d'exploiter judicieusement les ressources forestières et d'éviter le désastre écologique.

On sait également que l'une des missions de PBF II est l'approvisionnement en bois-énergie de huit grands centres urbains à savoir Cotonou, Porto-Novo, Abomey, Bohicon, Parakou, Malanville, Djougou, Natitingou. Il nécessite un prélèvement important de la biomasse provenant des îlots forestiers, des savanes, des jachères et des plantations domaniales ou privées. Il est donc important de recenser puis d'évaluer les différentes technologies et outils de production du bois de feu, du charbon de bois, de copeaux et sciure de bois afin de proposer des améliorations et retenir les plus performants et les plus accessibles ; ces technologies retenues doivent favoriser notamment l'économie de bois et permettre d'épargner les arbres afin qu'ils restent encore sur pied et fournissent d'autres ressources (fruits, ombres, médicaments, etc.) et assumer d'autres grandes fonctions (écologiques, économiques et sociales). Les meilleures technologies retenues seront vulgarisées et appropriées par les acteurs afin d'éviter les prélèvements intensifs notés dans les localités ravitaillant les grandes villes du Bénin en combustibles ligneux.

2. Rappel des objectifs de l'étude

L'objectif général de l'étude est d'inventorier et d'évaluer les technologies actuelles de production de bois énergie afin d'en dégager les plus performantes. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- Caractériser les différents types de bois-énergie ou combustibles ligneux et identifier leurs lieux de production ;
- Répertorier et illustrer les technologies de production de bois énergie prélevé ou fabriqué dans les plantations domaniales et privées, dans les forêts naturelles, dans les scieries, etc. ;
- Evaluer les technologies de production du bois-énergie ;
- Formuler une stratégie de vulgarisation des meilleures technologies.

3. Approches et démarche méthodologique

3.1. Approches

La réalisation de cette étude a nécessité l'application de plusieurs approches qui sous-tendent les différentes actions, méthodes et les étapes pour répertorier, décrire, évaluer et classer les technologies de production de bois-énergie ; il s'agit de l'approche participative et interactive, de l'approche systémique et intégrée, de l'approche de durabilité et l'approche genre.

3.1.1. Approche participative et interactive :

La gestion concertée et durable des ressources forestières ne sera effective qu'avec la participation volontaire, consciente et effective de chacun des acteurs impliqués dans ladite gestion. A ce sujet, les consultants ont rencontré un échantillon d'acteurs provenant du PBF II, de la DGFRN, de l'ONAB, des structures connexes puis des exploitants de bois de feu pour collecter des informations, des expériences, des points de vue sur les stratégies pour une bonne gestion des ressources naturelles en général et du bois énergie en particulier. Aussi, les acteurs rencontrés se sont exprimés, puis ont décrit les technologies utilisées. Ils ont participé aux séances de mesures diverses et se sont approprié les décisions retenues ensemble et sont prêts à honorer leurs engagements pour une gestion concertée, efficace et durable des ressources forestières. La stratégie de gestion concertée des ressources forestières repose sur la communication, le dialogue, la démonstration, la négociation et parfois le plaidoyer.

3.1.2. Approche systémique et intégrée

L'approche systémique et intégrée a aussi sous tendu la présente étude car elle a permis de comprendre les systèmes de production et les interactions entre les différents éléments des sous systèmes comme l'état actuel des écosystèmes forestiers, le niveau de formation des producteurs, les technologies actuelles de production de bois et charbon de bois; il s'agit de rassembler et d'organiser les connaissances à tous les niveaux en vue d'une plus grande efficacité de l'éco-gestion des ressources forestières, notamment le bois-énergie.

3.1.3. Approche Genre

L'approche genre a permis de centrer prioritairement sur les relations entre les femmes et les hommes au niveau des acteurs produisant le bois-énergie. Cette approche a aidé à révéler puis à tenir compte des disparités sociales entre hommes et femmes dans la production du bois-énergie. La prise en compte des relations de genre constitue un facteur de réussite des initiatives comme la vulgarisation des meilleures technologies de production du bois énergie.

3.1.4. Approche Durabilité

Cette approche promeut un développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de la possibilité de satisfaire leurs propres besoins. C'est un développement économique, basé sur des ressources renouvelables, qui respecte les processus écologiques fondamentaux, la biodiversité et les systèmes entretenant la vie. Le concept de développement durable, aide à intégrer à la fois la satisfaction des besoins en bois-énergie des communautés rurales et urbaines, l'équité sociale, la préservation de l'environnement local, national et la solidarité vis-à-vis des générations futures.

3.2 Collecte des données

Les informations sont recueillies à travers la documentation, les entrevues semi structurées, les enquêtes, les observations directes sur le terrain.

3.2.1. Documentation

Les consultants ont réalisé dans un premier temps l'analyse des informations existantes dans la littérature scientifique afin de mieux disposer des informations utiles sur les technologies de production de bois-énergie. Ils ont parcouru les bibliothèques spécialisées : DGFRN, ONAB, OFEDI, FSA, EPAC, FAO, Lycée agricole Médji. Des recherches sur Internet ont complété les informations, ce qui a permis

de maîtriser l'état de la question sur les technologies de production de bois-énergie au Bénin, dans la sous région et dans le monde. Ces données ont été complétées par la littérature grise.

3.2.2. Enquêtes et choix des localités

Des discussions individuelles, des focus groups et des enquêtes sont conduits avec un échantillon des producteurs de bois-énergie (charbonniers et producteurs de bois de feu). Les enquêteurs sont préalablement formés. L'enquête s'est essentiellement déroulée en 2 phases. Au cours de la première phase, les enquêteurs ont séjourné une dizaine de jours durant dans les localités sélectionnées afin de collecter des informations. Après cette première phase de collecte d'informations, des compléments d'informations ont nécessité un deuxième tour sur le terrain afin d'affiner les observations faites. Le tableau 1 résume les localités investies.

3.2.3. Réalisation de photographies

Des photos numériques sont prises et traitées afin d'illustrer les technologies de production de bois de feu, de charbon de bois, de copeaux et sciure de bois. Les outils utilisés par les producteurs de bois de feu, les charbonniers et les menuisiers qui produisent la sciure et copeaux de bois sont photographiés; de même, les différentes étapes de production de chaque combustible sont illustrées.

Tableau 1 : Localités sélectionnées pour la collecte d'informations

N°	Nom de la localité	Critères du choix de la localité	Activités conduites dans la localité
1	Cotonou, Parakou, Porto-Novo	- Grand centre de consommation de bois énergie - Présence des centres de documentation - présence de petites scieries	- Documentation et recherche sur l'Internet - Rencontre avec les responsables des institutions - Enquêtes dans les scieries avec les menuisiers - Observations directes
2	Houéyogbé	localité ravitaillant Lokossa en bois-énergie	- Enquête sur technologie de production du bois par les paysans - Observations directes
3	Saclo Bohicon	Présence de la plus grande scierie au Bénin fournissant bois de feu, sciure et copeaux à plusieurs villes	- enquête sur des technologies de production du bois énergie (bois et sciure) dans la grande scierie de Saclo et dans les plantations domaniales d'Agrimey ; gestion de la sciure déversée à Saclo - Observations directes
4	Toui	Existence d'une forêt classée et aménagée	Enquête avec les populations riveraines d'une FC aménagée : présence des groupes professionnels d'exploitation et de gestion contrôlée
5	Pobè, Kétou	Zone d'îlots forestiers et de savane ravitaillant Porto Novo	- Enquête sur technologie de production du bois de feu par les paysans - Observations directes
6	Djidja	Existence de plantations domaniales Zone ravitaillant Abomey, Bohicon, Cotonou	- Recensement, évaluation des technologies de production de bois dans les plantations privées - Suivi de la carbonisation
7	Hlagba - Dénou	- Zone de production de bois de feu et charbon à partir de formations naturelles ; - Existence de plantations privées	- Enquête auprès des charbonniers et producteurs de bois de feu - Observations directes - focus group - Suivi de la carbonisation
8	Bassila	Exploitation des formations naturelles ravitaillant Djougou, Natitingou, Cotonou	- Enquête auprès des charbonniers dans les formations naturelles - Suivi de la carbonisation
9	Bensékou	Zone ravitaillant Kandi et riveraine de la forêt de la Sota	Enquête auprès des charbonniers et producteurs de bois de feu dans la forêt classée non aménagée
10	Bétérou	Zone ravitaillant Parakou et située à côté de forêt de Wari Maro et celle de Ouémé Supérieur	Enquête auprès des charbonniers et producteurs de bois de feu dans les forêts classées en cours d'aménagement

Les localités dans lesquelles la deuxième phase de l'enquête s'est déroulée sont surtout les zones de production de charbon. Ceci a permis de suivre plusieurs séances de carbonisation depuis la coupe du bois jusqu'au défournement. Il s'agit de Kétou, Djidja, Bassila, Hlagba, Setto, Odo-Akaba, Tourou.

3.3 Analyse des données et illustrations

3.3.1. Méthode de traitement des données

Les données quantitatives sont traitées avec le tableur EXCEL et analysées avec SPSS de manière descriptive.

L'analyse multicritère (AMC) simplifiée a été utilisée afin d'évaluer les technologies suivant des critères définis sur une même échelle stratifiée de 1 à 10. Cette méthode est assortie de jugements d'experts discutés au sein de l'équipe de rédaction du rapport.

La finalité de l'AMC est la priorisation des différentes technologies de production du bois-énergie. L'AMC est un outil facilitant la prise de décision et non une technique d'optimisation. Dans le contexte de cette étude, elle présente beaucoup d'intérêt dans la classification des technologies utilisées pour produire du bois-énergie.

Mentionnons que les données qualitatives ont fait l'objet d'analyse de contenu. Il s'agit surtout des informations provenant des responsables des institutions, des producteurs de bois-énergie.

3.3.2. Méthode de détermination de la densité des échantillons de charbon

Des échantillons de charbon ont été prélevés et numérotés sur chaque lieu de carbonisation. La présente méthode détermine la densité du charbon selon les espèces à partir de la masse de l'échantillon et de son volume. Ainsi, une balance de grande sensibilité a été utilisée afin que les pesées soient fiables. Les mesures sont effectuées trois fois sur chaque catégorie d'échantillon. La détermination des volumes de charbon a été possible grâce à l'exploitation du système d'immersion dans un volume d'eau remplissant un récipient.

$D = \frac{\text{Masse du charbon}}{\text{Volume du charbon}} \text{ (exprimée en g/cm}^3\text{)}$
--

3.3.3. Méthode d'estimation du rendement de la carbonisation

L'estimation du rendement a été possible lors des enquêtes par le suivi du processus de carbonisation. Elle a consisté à quantifier les intrants (charge de bois) et extrants (charbon obtenu) par des pesées et approximations. La détermination du rendement n'a pas été systématique pour toutes les unités de transformation enquêtées.

Elle permet de déterminer l'efficacité du processus suivi. Ainsi la formule ci-après a permis d'évaluer les rendements de carbonisation, puis de parvenir à des moyennes départementales.

$$R = \frac{\text{Masse de charbon obtenu}}{\text{Masse de bois chargé}} \times 100$$

4. Résultats de l'étude

4.1. Quelques généralités et considérations

Après la définition des concepts clés à savoir : bois-énergie et technologie, cette partie de l'étude s'articulera brièvement autour de quelques généralités relatives à ces deux termes.

4.1.1. Brève opérationnalisation de quelques terminologies

On entend simplement par bois-énergie, l'ensemble des combustibles ligneux tel que le bois de feu, le charbon de bois et les déchets végétaux densifiés ou non les copeaux et sciure de bois.

De plus, il convient aussi et surtout de clarifier le terme technologie de production du bois énergie dans la suite de cette étude. Il s'agit de l'ensemble des méthodes, techniques et procédés qui permettent d'obtenir du charbon de bois, du bois de feu et des déchets végétaux. La technologie de production du bois énergie se définit comme toutes les mesures et connaissances qui visent à produire un type de bois énergie. Nous pouvons déduire de ces définitions qu'une technologie de production du bois énergie est caractérisée par plusieurs éléments à savoir :

- L'application d'une méthode ou d'une technique,
- L'utilisation d'un ou de plusieurs outils,
- Et surtout le savoir-faire (ou un procédé).

4.1.2. Problématique du bois énergie dans les pays sous développés et au Bénin

L'abondance de la littérature sur le sujet montre la pertinence des problèmes liés au bois énergie.

D'après les Statistiques de la FAO, on estime que soixante pour cent du bois coupé dans les forêts du monde entier sont utilisés comme combustible - soit directement soit après conversion en charbon de bois. La proportion de bois carbonisés n'est qu'approximativement évaluée, mais elle est probablement aux environs de 25 pour cent du total de bois de feu, soit quelque 400 millions de mètres cubes par an pour l'ensemble du globe. En effet, la crise de bois de feu, qualifiée de « dragon à mille têtes » par Postel-Vinay (1982) est un cercle vicieux qui évolue différemment selon les pays et les régions.

Déjà en 1981, La FAO (citée par DOSSOU, 1992) estimait la situation alarmante dans le Tiers-monde avec plus de 100 millions de personnes qui ne pouvaient pas satisfaire leurs besoins énergétiques minimaux. Plusieurs raisons expliquent cette crise énergétique en Afrique. Les principales peuvent être citées comme :

- La démographie dans les pays en développement : La population qui était de 3,7 milliards de têtes en 1985 augmenterait jusqu'à 7 milliards en 2025. Il en découle *ipso facto* une augmentation des besoins en énergie. Or, le dépassement d'un seuil critique de 25 à 35 habitants par kilomètre carré dans une zone aride ou sèche, entraîne la rupture de l'équilibre

agro sylvicole. Or au sud du Bénin, la densité est de l'ordre de 157 habitants par kilomètre carré, ce qui est déjà compromettant.

- La pauvreté : d'après Clément et Strasfogel (1986) elle est conjuguée à l'ignorance des masses pour engendrer la dépendance du bois en relation inverse avec le produit national brut. Plusieurs autres auteurs attribuent la dépendance du bois à la pauvreté (Bertrand 1984, Dossou et Dossou 2005, Dossou *et al.* 2007 et bien d'autres).

A ces raisons, il faut ajouter les habitudes culinaires traditionnelles séculaires très répandues et qui utilisent les foyers à « trois pierres ». Malheureusement, ces technologies traditionnelles sont caractérisées par un faible pourcentage de chaleur utilisée (PCU) du fait de la déperdition de plus de 90% de l'énergie fournie par la source énergétique, le plus souvent le bois.

Par ailleurs, la pratique des feux de brousse, le surpâturage et la transhumance non règlementée et les insuffisances des politiques forestières sont autant de facteurs anthropiques qui aggravent l'ampleur de la crise du bois de feu induites par des facteurs économiques et naturels.

Quant aux conséquences de la crise du bois de feu, elles sont multiples. Leur ampleur dépend du degré de vulnérabilité et de la capacité d'adaptation des communautés aux différentes menaces.

4.1.2. Problématique du bois énergie et technologies de production de bois énergie

Au plan national, d'après Dossou, 1992, le faible rendement du processus de carbonisation du bois est inquiétant. Il apparaît comme l'une des raisons de la vulnérabilité énergétique et socioéconomique des communautés. A titre illustratif, la fabrication du charbon de bois dans les conditions actuelles entraîne d'énormes pertes de bois. Ceci est d'autant plus préjudiciable que ce combustible, très commode, est très demandé en milieu urbain. L'amélioration des conditions de la carbonisation et de la qualité des produits issus du processus est nécessaire.

Les divers rapports du PNUD et de la Banque Mondiale indiquent que le Bénin pourrait satisfaire quantitativement ses besoins énergétiques à 86% par le bois et les déchets végétaux. Cette potentialité globale positive masque les cas réels de pénurie grave notés dans les zones à forte densité de population. Face aux besoins sans cesse croissants des centres urbains, la véritable préoccupation est la satisfaction de la demande de bois énergie. Pour cela, Doat (1981) proposait déjà l'amélioration des technologies de carbonisation afin d'accroître le rendement. Malheureusement aucune des propositions de Doat n'a été mise en application au Bénin.

Toutefois, la Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles (DGFRN) et la Direction Générale de l'Energie ont mis en œuvre plusieurs projets (faisabilité d'une entreprise de charbon au Bénin, plantation de bois de feu, restauration de la biomasse énergie, projet RPTES, etc.). Ces projets témoignent de la préoccupation de l'Etat béninois d'augmenter l'offre de bois. Néanmoins, la mise en œuvre de ces projets alourdit les dettes extérieures sans pour autant s'appesantir sur l'amélioration des technologies pour la plupart artisanales de production de bois énergie au Bénin à l'exception des systèmes mécanisés de façonnage et de semi transformation du bois de teck à Sacleo.

Dans la perspective de l'augmentation de l'offre de bois énergie, le recensement des technologies de production apparaît comme une étape nécessaire et justifie la présente étude.

4.1.3. Description des problèmes relatifs à la biomasse énergie

D'après la Direction Générale de l'Energie (2004), plusieurs problèmes entravent une bonne gestion des énergies traditionnelles.

i. Au niveau de l'exploitation des ressources forestières

Le niveau d'organisation du secteur de la biomasse-énergie reste faible. Il n'existe pas une planification de l'exploitation forestière sauf dans les forêts en cours d'aménagement. La Direction Générale des Forêts et des Ressources Naturelles est chargée du contrôle de l'exploitation forestière. Toutefois, les moyens dont elle dispose sont insuffisants pour assurer efficacement cette responsabilité (insuffisance de personnel technique, faible occupation du terrain, insuffisances des ressources financières allouées etc.)

Faute d'inventaires réguliers, les spécialistes du secteur n'ont qu'une connaissance approximative de l'évolution du couvert forestier dont on ne connaît pas vraiment les superficies par type de formation, encore moins les volumes de bois en place et les niveaux d'exploitation soutenable.

La taxation des produits forestiers reste aussi faible en comparaison avec celle appliquée dans d'autres pays de la sous région. Ceci non seulement ne contribue pas à une gestion durable des ressources mais affecte également la capacité de l'Administration à avoir un peu plus de moyens financiers à partir des ressources générées par ses propres activités. Le niveau bas de la fiscalité contribue au maintien du prix relativement bas du bois de feu et du charbon sur les marchés de vente.

L'Etat a mis en place des projets de plantation de bois de feu dans le but de créer une offre additionnelle de bois de feu et parvenir à faire baisser la pression sur les ressources naturelles ; le développement de telles activités est surtout déterminé par la rentabilité de la production sylvicole à but énergétique dans un contexte où le bois provenant des forêts naturelles est disponible à des prix plus bas que celui du bois des plantations qui présente un coût de production plus élevé.

ii. **Au niveau de la consommation**

Les habitudes culinaires contribuent à limiter la substitution du bois énergie par les énergies modernes. La réalité est qu'au Bénin comme ailleurs en Afrique, les ménages préfèrent, malgré tout, préparer avec du bois de feu ou du charbon de bois certains repas, notamment les repas nécessitant une longue cuisson et un brassage vigoureux comme la pâte de céréales ou de cossettes d'igname. De plus, le faible pouvoir d'achat d'une bonne partie de la population par rapport aux dépenses à faire pour acquérir les réchauds à pétrole ou à gaz butane est un autre facteur limitant notamment en milieu urbain.

A tous ces facteurs, il faut surtout ajouter le problème des rendements des équipements de consommation les plus utilisés au Bénin. Ce sont en général les foyers traditionnels métalliques en milieu urbain et ceux fabriqués surtout avec la terre en milieu rural. Les rendements calorifiques de ces foyers sont très faibles (de l'ordre de 10 à 15% pour les foyers à bois et de l'ordre de 20 à 25% pour les foyers à charbon selon le rapport PNUD/BM n°5222-BEN, Juin 1985). L'introduction dans ces deux milieux des foyers améliorés reste marginale dans notre pays. Les programmes de promotion des foyers améliorés n'ont pas encore réussi à faire évoluer rapidement l'adoption massive des foyers performants.

4.2. Répertoire et description des technologies de production de bois-énergie

Il s'agit d'inventorier les technologies de production du bois tant au niveau artisanal, que semi artisanal.

4.2.1. Technologies de production de bois de feu

La production de bois de feu est une activité génératrice de revenus dans certaines localités du Bénin qui, à la limite, sont des spécialistes de cette activité. Dans la suite de ce rapport, les grandes zones de production de bois de feu sont présentées, de même que les méthodes, les outils employés, les rendements, puis les espèces de ligneux usuellement utilisées.

i. Importance de la production de bois de feu

Le bois de feu revêt une importance au sein des exploitations agricoles d'après nos enquêtes. En effet, il est produit dans 77% des exploitations en vue de sa commercialisation finale dans les zones urbaines. La production de bois de feu connaît une grande importance durant la saison sèche puisqu'elle occupe 76% des enquêtés. Toutefois, elle occupe 12% de producteurs comme activité principale.

ii. Zones de production/prélèvement

Il existe au Bénin des zones plus ou moins spécialisées dans la production de bois de feu qui ravitaillent les centres urbains grands consommateurs de bois pour divers usages. Le tableau ci-dessous est un résultat des investigations faites. Il fait part des grandes zones de production de bois de feu suivant les départements et des centres urbains ravitaillés.

Tableau 2: Les zones de grande production de bois avec les centres urbains ravitaillés

N	Département	Zones de grande production de bois et charbon	Villes ravitaillées
1	Zou-Collines	Détohou, Dridji, Setto, Zinkanmè, Savè, Dassa Ouèssè, Banamè, Covè, Hounkpogon, Atchéregbé, Hlagba, Bantè	Abomey, Bohicon, Cotonou, Porto-novo
2	Ouémé-Plateau	Kétou, Dakplakanmé, Klaklagon, Sakété, Ayétoro, Ita-Djèbou, Pobè, Bonou, Sèmè, Djèregbé,	Porto-novo
3	Atlantique	Zè, Dodjibata, Agbata, Ouidah, Dowiantomè, Pahou, Tori, Allada, Sèmè, Ayou	Cotonou
4	Donga	Bassila, Patargo-Onklou-Kérou, Bakou (I et II) Wèwè (I et II)-Pélibina-Péléssoulou-Bougou, Naguèilé, Copargo-Nalohou (I et II), Kpabégou-Béléfougou, Corokoundé, Bariénou, Toko-toko, Fo-yo-Bori, Affon	Djougou, Parakou, Natitingou, Cotonou
5	Atacora	Perma, Pam-pam, Sinagnissiré, Tchoumi-tchoumi, Takouta, Kota, Cotopounga, Poya, Toucoutouna, Péporiakou, Pépinkou Dangoumanigui, Takissari, Kouarfa, Kouba	
6	Mono-Couffo	Athiémé, Sè, Houèyogbé, Sèbo, Sohounmè, Lokohoué, Adjikpamè, Godohou, Atomè et Lonkly	Cotonou, Azovè, Lokossa, Dogbo
7	Borgou-Alibori	Boko, Banguio, Tamarou, Tourou, Papanè, Tchaourou Odo-Akaba	Parakou
		Sanro ; Kongou, Tissaarou, Kassakou ; Bordarou, Soualou ; Koutakroukou, Gogbèdo, Gala ; Kpèdè ; Kofoussa ; Toui ; Thia	Kandi
		Bodjékali, Garou, Goubafari, Guéné, Wadata, Bangoun, Gougoun, Fianfounfoun	Malanville

Source : Enquête de terrain, décembre 2006 et janvier 2007

Il ressort de l'analyse du tableau 2 que dans le département du Zou les grandes zones productrices de bois sont les villages de Detohou, Dridji et de Zinkanmè. Ces localités ravitaillent essentiellement les villes d'Abomey et de Bohicon où se développent beaucoup d'activités économiques consommatrices de bois-énergie telles que la restauration, la préparation du « Lio » (akassa recuit), le « afitin » (moutarde), le gari, la distillation du sodabi, etc.

Dans les départements de l'Atacora et de la Donga, parmi toutes les localités parcourues, il ressort que Bassila, Bakou II et Pam-pam offrent les plus grandes productions de bois de feu. La production de bois de feu est une activité exercée aussi bien par les femmes que les hommes.

Dans les départements du Mono et du Couffo en général, il n'existe ni d'aires protégées ni de domaines classés par l'Etat. Sur l'ensemble de ces départements, les formations forestières naturelles ont très tôt cédé place à une mosaïque de cultures et de jachères suite aux actions anthropiques.

Dans le Mono, ce sont surtout les plantations à palmier à huile qui prédominent. Cependant on remarque surtout dans les communes de Houéyogbé et de Sè quelques jachères éparses plus ou moins jeunes à dominance *Mallotus oppositifolius* parsemées par endroits de petites plantations d'*Acacia auriculiformis* et de *Tectona grandis*. Par contre dans la commune d'Athiémé, la pratique de plantations privées est peu appropriée par les populations qui exercent une forte pression sur les quelques regroupements de *Mitragyna inermis* des bas-fonds et de *Lonchocarpus sericeus* des terres fermes.

A Grand-Popo, ce sont les palétuviers (*Rhizophora racemosa*) des zones lagunaires qui sont la cible de prélèvement de bois naturel par les femmes salicultrices. La situation demeure encore peu reluisante dans les communes de Lo kossa et de Bopa où le manque de bois énergie se pose encore avec acuité.

Dans le Couffo, les zones de production cotonnière où subsistent encore quelques îlots de savane arborée et arbustive dominés par des espèces de la zone de transition soudano-guinéenne comme *Anogeisus leiocarpus*, *Combretum* sp, *Vitellaria paradoxa*, *Lonchocarpus sericeus*, *Piliostigma thonningii*, *Acacia caffra*, *Pterocarpus erinaceus*, *Prosopis africana*, etc. Ces formations constituent la principale source d'approvisionnement du bois énergie de certaines villes (Klouékanmè, Aplahoué, Lalo).

Dans les départements du Borgou/Alibori, trois centres urbains (Parakou, Kandi et Malanville) sont ravitaillés par les localités qui disposent encore de savanes. La spécificité de ces départements est que la production de bois est priorisée par rapport à la production de charbon.

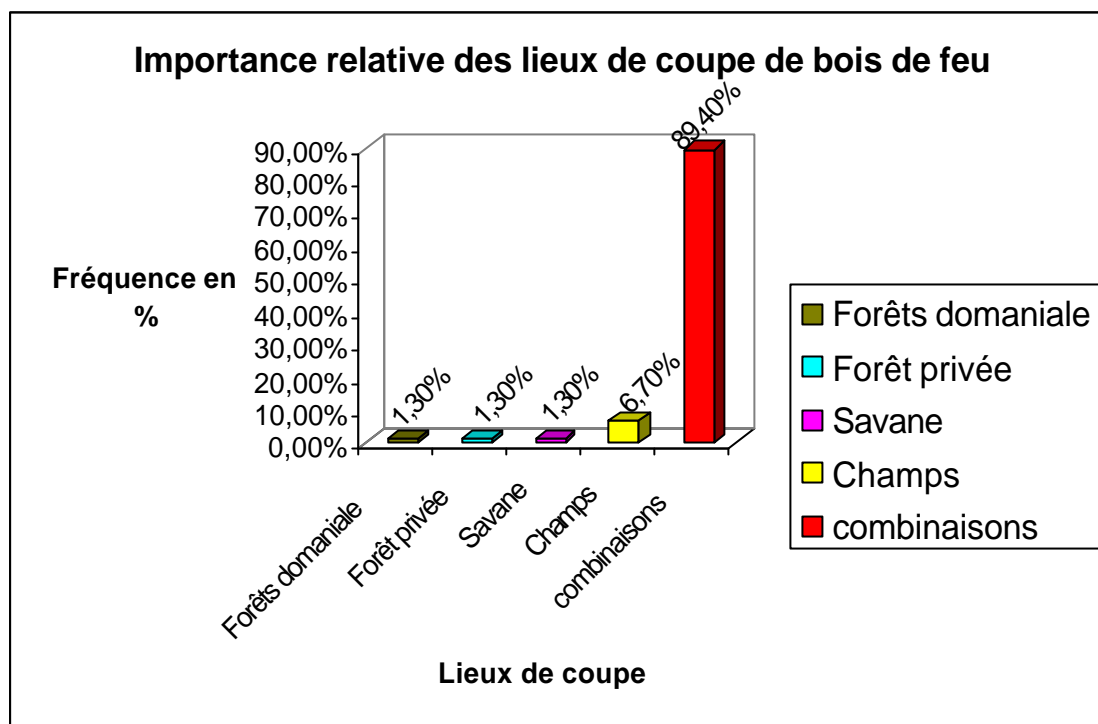
- **Lieux de coupe et de prélèvement du bois**

Les lieux de coupe du bois varient d'un département ou d'une localité à une autre. Au niveau national l'analyse des données révèle à travers le graphe ci-dessous que la grande majorité soit 89,4% des producteurs de bois prélèvent le bois de feu en plusieurs endroits à la fois à savoir : forêt domaniale, forêt privée, savane, champs. Cependant, les champs constituent un lieu privilégié pour la récolte du bois après un défrichement. Car dans la plupart des localités du Bénin, les forêts sont en disparition du fait des actions anthropiques. Une analyse croisée des variables localité et lieu de coupe du bois fait ressortir des spécificités.

Les lieux de coupe dans les départements du Mono et Couffo et de l'Atlantique sont essentiellement les champs. En revanche, dans les autres départements, en dehors des champs, les forêts domaniales et privées et les savanes sont aussi des lieux de prélèvement de bois. En effet, le plateau Adja et le département de l'Atlantique sont l'objet d'une pression démographique très forte ayant des répercussions négatives sur leurs formations forestières.

Somme toute, la figure 1 indique les préférences des enquêtés dans le choix des lieux de coupe.

Figure 1 : Importance relative des lieux de coupe de bois de feu



iii. Rendement des formations naturelles et des plantations

Le projet pilote sur la surveillance de la couverture végétale tropicale estime que les formations naturelles couvrent 78306,25 km² (1980). Le Projet de gestion de ressources naturelles a estimé sur la base d'un rendement de 10m³/ha/an de bois énergie que les potentialités des formations naturelles seraient de 78.306.250m³ de bois de feu et de charbon de bois en 1980. Mais ces données ont été surestimées et se trouvent aujourd'hui périmées. Dossou (1992) souligne que ce rendement est trop élevé, puis estime qu'il ne peut pas dépasser 6m³/ha/an. Cette observation ramène la contribution des formations naturelles à 46.983.750 m³/an. Signalons que ce rendement n'est valable que si lesdites formations demeurent telles et si l'on opte pour un rendement soutenu et durable.

Quant aux plantations, l'aménagement des anciennes teckeraies de Djigbé, Agrimey et Toffo gérées par l'ONAB montre que les 6529 hectares de teck ont une possibilité totale de 88.000m³/an. Selon les techniques actuelles d'exploitation, ce potentiel fournit 57% des possibilités en bois de feu.

iv. Caractéristiques physico-chimiques, des espèces coupées

Le bois énergie présente des caractéristiques qui l'identifient. Il s'agit des propriétés mécaniques, physiques, chimiques, anatomiques et calorifiques (Dossou, 2004).

- Caractéristiques mécaniques et physiques

Ce sont les caractéristiques très importantes relatives à la nature du bois sur le plan mécanique ; Il s'agit des comportements du bois sous l'effet de la chaleur, des chocs, etc. Certains bois se rétractent ou se tordent en séchant. D'autres sont aisément fendables ou non compte tenu de leur agencement (l'agencement des fibres). Ainsi chez *Anogeissus leiocarpus* ou les *Combretum*, les fibres étant entrecroisées, le bois n'est pas facilement fendable. En revanche, le bois des Légumineuses se fend bien car les fibres sont juxtaposées et laissent bien passer la hache.

- Caractéristiques chimiques

La composition chimique détermine le pouvoir calorifique du bois et sa densité. En général, le bois est composé de lignine, cellulose, matières volatiles, minéraux tels que le soufre et la silice, etc. On y retrouve aussi selon l'espèce, des tannins, des poches à essence (*Eucalyptus*, *Anacardium*, etc.) Au cours de la consommation du bois, la présence de silice dans le bois libère des étincelles tandis que la présence de soufre dégage une odeur suave accompagnée d'un écoulement de liquide jaune à l'extrémité du bois qui brûle. La détermination des constituants du bois se réfère à la teneur du bois en :

- Carbone fixe,
- Matières volatiles,
- Cendres,
- Humidité (teneur en eau)
- Présence des inclusions (tannins, latex, essence, silice, soufre, etc.).

- Caractéristiques calorifiques

Les caractéristiques calorifiques constituent un indicateur de bon ou mauvais du bois énergie. On détermine le pouvoir calorifique du bois énergie avec la bombe calorimétrique. L'opération consiste à brûler dans la bombe remplie d'oxygène, le combustible liquide, solide ou gazeux.

Le pouvoir calorifique du bois varie entre 3000 et 5500 calories par gramme suivant la composition chimique du bois et son taux d'humidité. Plus le bois est sec, mieux vaut son pouvoir calorifique. Ainsi, le pouvoir calorifique du charbon de bois oscille entre 7000 et 8000 calories par gramme (voir en annexe le pouvoir calorifique de quelques espèces utilisées comme bois énergie au Bénin). Notons que le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est l'énergie dégagée par le combustible anhydre c'est-à-dire à 0%

d'humidité tandis que le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est l'énergie dégagée par le combustible à un certain taux d'humidité, c'est l'indicateur réel.

v. Techniques et méthodes de prélèvement du bois

L'analyse des données révèle que plusieurs méthodes sont utilisées pour produire le bois dans les différents départements du Bénin. Il s'agit de :

- *la collecte du bois après passage de feu de brousse*

Cette première technique qui consiste à exploiter les arbres morts sur pied dans les champs, les savanes et îlots de forêts apparaît comme une opération de nettoyage. Ce ramassage est souvent facilité par le passage périodique de feu qui rend l'accès plus aisé. Cette méthode est mise en pratique par 7,5% des exploitants. Par ailleurs certaines espèces, sous l'effet du passage du feu, perdent leur pouvoir de régénération, le cambium (assise libéro ligneuse) étant détruit ; la conséquence bénéfique pour les exploitants est l'augmentation de la disponibilité de bois mort.

Certains exploitants de bois de feu mettent le feu à une brousse surtout pendant la saison pluvieuse. De cette façon, le feu est mieux maîtrisé et ne brûle pas jusqu'à carboniser le bois qui s'y trouve. Ainsi, après le passage du feu, la brousse est assez clairsemée pour permettre de récolter du bois légèrement brûlé.

- *La récolte du bois après le défrichage d'un champ*

Cette méthode, pratiquée par près de 60% des enquêtés, consiste à défricher des savanes et des jachères d'au moins deux ans. Une fois le défrichage fait, l'ensemble de la biomasse, arbustes et arbres abattus est laissé sur le champ pendant une à deux semaines au moins en vue d'un séchage. Ensuite, le transport vers les ménages est souvent assuré par les femmes et les enfants. Le plus souvent, le bois de petit diamètre est aussi ramassé et conditionné.

Cette deuxième technique, une autre forme de nettoyage est le débarras des bois issus du défrichage des parcelles en vue d'installer des champs.

- *la coupe du bois vert*

La troisième façon de faire, préférée de 20 % des exploitants, est la coupe de bois vert et son éventuel séchage. En effet, le bois est coupé sur les arbres vivants directement et mis sous forme de tas et exposé au bord de la voie ou regroupé dans le champ en attendant que les collecteurs ou des propriétaires de véhicules bâchés ne viennent les ramasser. Cette pratique est destructive. Elle compromet le potentiel ligneux et met en danger le principe de durabilité des ressources naturelles. Ce sont surtout les charbonniers qui coupent le bois vert et donc l'arbre sur pied.

Somme toute, Les producteurs de bois (77,4%) adoptent plusieurs méthodes à la fois selon les conditions. Le ramassage du bois après défrichage d'un champ est aussi une méthode souvent rencontrée (12%) surtout dans les zones où les formations forestières sont rares.

Une analyse croisée entre les variables département et méthodes de production de bois indique que toutes les autres méthodes sont communes dans tous les départements.

Par ailleurs, les producteurs qui s'auto approvisionnent utilisent généralement les deux premières techniques à savoir: la collecte du bois mort après passage du feu de brousse et la récolte du bois après le défrichage d'un champ. Ces derniers n'ont recours à la coupe de bois vert qu'à défaut des deux premières.

vi. Outils utilisés dans la production du bois énergie

La production de bois énergie est caractérisée par l'emploi de d'outils rudimentaires pour la plupart. Environ 94% exploitants confirment utiliser des outils rudimentaires à savoir les haches et les coupe-coupe, les machettes. L'utilisation de la tronçonneuse est quasi-absente dans les départements du Mono et du Couffo en raison du fait que toutes les forêts originelles ont pratiquement disparu et du fait de la quasi-inexistence des plantations privées. Dans l'Atlantique, la situation est moins prononcée du fait de l'existence de plantations privées et de quelques forêts aménagées. Les exploitants sollicitent les services d'un manipulateur de tronçonneuse. Elle est utilisée dans plus de 32% des exploitations. Ce recours est souvent fait par les grands producteurs de bois qui abattent des arbres de grand diamètre. La tronçonneuse est rarement utilisée dans les petites exploitations non seulement du fait de son coût de location prohibitif mais aussi du fait que les arbres de grands diamètres se font de plus en plus rares. Il faut signaler que 77% des enquêtés ont confirmé qu'ils utilisent un ensemble d'outils à la fois. Il s'agit essentiellement des outils rudimentaires répandus (coupe-coupe, hache et machette).

vii. Typologie des producteurs et caractérisation de la filière

Divers acteurs sont impliqués dans la filière bois énergie. Ceux cités ici sont au niveau de la production ; ils sont des agents économiques, parfois peu organisés, adoptant pour la plupart des technologies de production artisanale.

- Les producteurs agricoles et exploitants

Les différentes informations collectées montrent que ce type d'acteurs regroupe les paysans exploitants et les femmes ménagères. Les exploitants rencontrés dans le cadre de cette étude sont des deux sexes. Ils vendent le plus souvent du bois provenant du défrichage des forêts en vue d'installer des champs de cultures. Ainsi, le déboisement et la collecte de bois de feu sont deux phénomènes étroitement liés

mais le rapport est plus complexe qu'il ne paraît. La satisfaction des besoins en bois de feu n'est qu'un cas mineur du déboisement (Clément et Strasfogel (1986).

Au sein des producteurs de bois, le nombre de femmes retrouvé est plus important (51%) que celui des hommes. Il s'agit d'un groupe cible dont les divers besoins doivent être pris en compte pour des formations sur l'amélioration de l'efficacité énergétique en général en vue de mettre en œuvre des mesures d'atténuation des gaz à effet de serre, de créer un gain de temps pour les activités domestiques des femmes. En effet, beaucoup de femmes s'investissent dans la production de bois de feu et d'autres produits forestiers non ligneux afin d'en tirer quelques revenus substantiels (Dossou, 2003). Ceci se justifie par leur statut au sein des ménages. Elles sont pour la plupart des femmes chefs de ménage (veuves, divorcées, femmes dont le mari a émigré ou est invalide).

Toutefois, la production de bois de feu représente en général une activité secondaire (88%) que principale (12%). En réalité, les femmes et les hommes impliqués dans la production de bois énergie sont d'abord des agriculteurs pratiquant de façon saisonnière cette activité. Cette activité, qui était jadis saisonnière notamment en saison sèche, a commencé à s'intensifier à cause de la forte demande et pression des commerçants des villes. Les revenus de cette exploitation compensent bien souvent les pertes dues aux mauvaises récoltes agricoles (Dossou, 1995).

- L'Office National du Bois (ONAB)

L'ONAB est une structure de l'Etat à caractère industriel et commercial ayant hérité de l'ex-SNAFOR des plantations de teck. Bien que la production de bois de feu ne soit pas le premier objectif de l'Office, il en fournit cependant à la population grâce à la valorisation des déchets d'exploitation du teck issu de la scierie de Saclo.

viii. Rendement en produits finis

Le tableau ci après montre les dimensions moyennes des fagots de bois de feu répertorié au cours des enquêtes. Les valeurs extrêmes (minima et maxima) y sont présentées dans la mesure du possible par département.

Tableau 3 : Rendement de production de bois suivant les départements

Départements	Dimensions moyennes du bois produit en fagot L ; D ; M ¹		
	Longueur des fagots (cm)	Diamètre (cm)	Masse (kg)
Mono/couffo	75-120	15-25	5
Ouémé/plateau	50-125	15-46	27
Atlantique	70-86	4-15	4- 12
Zou/collines	50-210	2-30	4-30
Borgou/Alibori	97-170	10	10-40
Atacora/Donga	95-205	25-40	10-60

Source : Enquêtes de terrain, décembre 2006

Les fagots de bois confectionnés selon la qualité présentent des formes, tailles et masses différents. Les fagots communément commercialisés dans les grands centres urbains (Cotonou, Porto-Novo, Parakou, etc) et provenant des jachères pèsent 4 à 6,5 kilogrammes, tandis que ceux issus des plantations, savanes boisées sont plus lourds et gros (10 à 60 kilogrammes).

En revanche, l'ONAB conditionne le bois par stère, ce qui ne permet pas aux ménages ordinaires ayant de modestes besoins de s'approvisionner. Or ces dernières constituent aussi une couche à satisfaire. Par conséquent, il faut concevoir et produire des divers types de fagots afin de permettre à une grande frange des populations urbaines et périurbaines de s'approvisionner.

Enfin, au cours de la collecte des données, quelques photographies prises illustrent la production de bois de feu.

¹ L= Longueur moyenne du bois produit en cm
D= Diamètre moyen du bois produit en cm
M= masse moyenne des fagots de bois produit en kg



Photo 1 : Fagots de bois exposés a 100f l'unité à Pam-pam

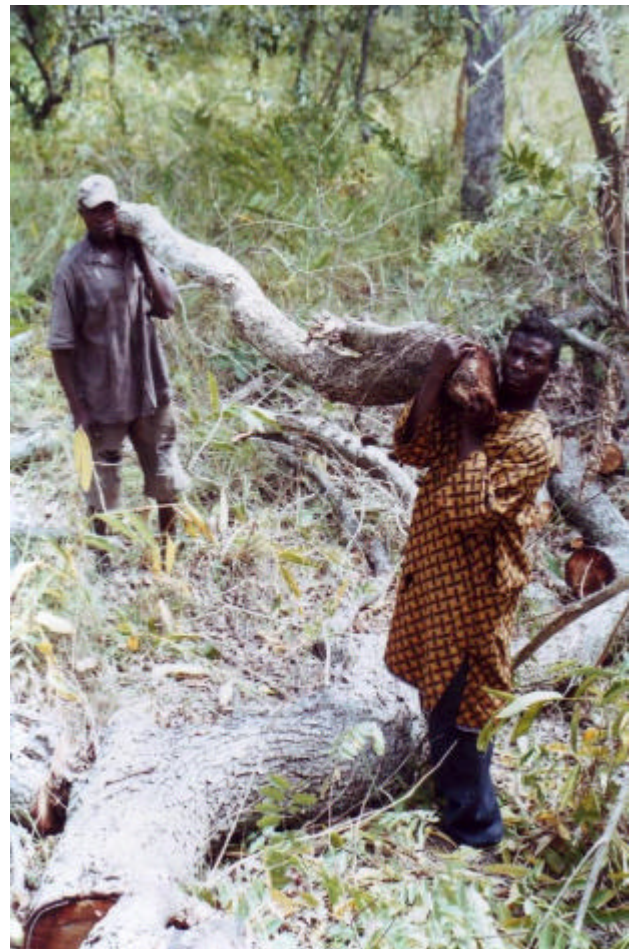


Photo 2 : Coupe de bois de feu dans par deux exploitants à Djidja



Photo 3: Transport de grumes à Agrimey



Photo 4: Jeunes agriculteurs ayant constitué une petite meule (1m3) et montrant leur outils de travail à Aplahoué



Photos 5, 6, 7: Quelques outils de coupe du bois observés dans une exploitation à Djigbey (scies, hache)



Photos 9, 10: Outils artisanaux rudimentaires utilisés par les agriculteurs de Djowé (hache, pioche, coupe-coupe, houe)



Photo 11: Corvée du bois énergie prélevé après défrichage par un agriculteur vendeur de fagots provenant de son Champ à Hindé vers Sè



Photo 12 : Fagots de bois stockés à Djrègbé



Photos 13, 14: Pied de karité abattu pour produire du bois-énergie à Pam pam



Photo 15 : Commercialisation au bord de la route de fagots de bois à Toui

4.2.2 Technologies de production du charbon de bois

Cette partie décrit les processus de carbonisation observés et présente l'importance de la production du charbon de bois.

i. Importance de la production de charbon et caractérisation des acteurs

Au Bénin et dans les pays en développement, le charbon est un excellent combustible fournissant de grandes quantités d'énergie aux exploitations de transformation agroalimentaires industrielles, semi artisanales et artisanales localisées dans les centres urbains. Cependant, la première utilisation connue du charbon de bois est principalement la cuisson des aliments dans les ménages urbains et ruraux, maquis et restaurants. Le charbon de bois est consommé par 25 à 30% des ménages.

La carbonisation occupe près de 33% des enquêtés comme activité principale tandis qu'elle mobilise 67% comme activité secondaire au cours de l'année. Ces derniers s'adonnent principalement à l'agriculture, l'élevage et le commerce. Environ 12% des charbonniers produisent du charbon de bois pour leurs propres besoins au sein de leur ménage.

Cette activité se pratique surtout en saison sèche ; ceci est confirmé par 69% des exploitants contre 14% en saison pluvieuse. Cependant, certains charbonniers (16%) la réalisent en tout temps, quelle que soit la saison. Les revenus tirés de la commercialisation de charbon permettent de subvenir aux besoins des ménages à savoir : santé, alimentation, tontine, scolarisation des enfants et achat d'équipements, etc.

ii. Zones de coupe de la matière première et zones de production du charbon de bois

Les jachères (d'au moins cinq ans) et les savanes boisées ou arbustives se révèlent comme les premiers lieux de coupe de bois fréquentés par les producteurs de charbon (soit respectivement 25% et 12%), suivi des forêts domaniales (plus de 6%) et des champs (plus de 4%). La majorité des enquêtés (53%) puisent, à la fois, leur matière première de plusieurs sources à savoir :

- forêt domaniale
- forêt privée
- savane
- jachère
- champs

Le bois est souvent transformé dans la localité où il est coupé ou même à proximité des lieux de coupe. Les espèces coupées pour la production de charbon sont pratiquement les mêmes que pour la production de bois de feu (*Anogeissus leiocarpus*, *Pterocarpus erinaceus*, *Prosopis africana*, *Tectona grandis*, etc.)

Force est de constater que le bois utilisé pour la carbonisation provient parfois des formations naturelles classées sous aménagement, c'est le cas de Toui-Kilibo, des Monts Kouffé, de Wari maro, et de Bassila,

etc. L'on doit également insister sur les retombées positives pour les charbonniers de l'aménagement des pistes et bitumage de routes et autres travaux de construction ou même d'électrification par l'abattage d'arbres qui constituent ponctuellement d'importantes sources de bois exploitées pour la production de charbon de bois.

Par ailleurs, la recherche de bois aux fins de la carbonisation conduit les communautés notamment les producteurs charbonniers à prélever de bois vert dans presque toutes les localités rurales du Bénin. A Bassila par exemple, des conventions locales de gestion des ressources naturelles interdisent la pratique de la coupe de bois vert.

iii. outils utilisés

En ce qui concerne les outils utilisés pour la carbonisation, ils sont d'abord ceux qui permettent le prélèvement du bois tel que décrit précédemment à savoir :

- la hache, le coupe-coupe, la tronçonneuse et la scie pour l'abattage des arbres et le tronçonnage des troncs ;
- la houe pour creuser la terre ;
- des bassines, des pelles, des brouettes (accessoires), des sacs de jute pour le transport.

Il faut signaler que les tronçonneuses sont louées lorsqu'il y a nécessité de vite couper de gros troncs d'arbres. Les exploitants les plus aisés portent des bottes et des gants au cours de la carbonisation surtout au moment du défournement.

iv. Méthodes de carbonisation

- Caractéristiques communes des méthodes

Il existe plusieurs technologies de carbonisation observées. Cependant, toutes ces méthodes ont quelques points en commun :

- dans l'ensemble, le mode opératoire global d'un village à l'autre est à peu près le même.
- de plus, tous les producteurs fabriquent le charbon de façon artisanale très rudimentaire avec des rendements assez faibles (10 à 20%).

Mais toutes les méthodes s'appuient sur un même procédé qui est la carbonisation partielle c'est-à-dire que la chaleur nécessaire à la déshydratation du bois chargé résulte de la combustion d'une partie de la charge de bois à carboniser.

La carbonisation par combustion partielle telle que mise en œuvre au Bénin, dans les différentes localités parcourues dans le contexte de cette étude, fait appel à un faible niveau d'équipement peu performants, puis à un savoir-faire technologique qui se matérialise par la construction de meules, de fosses ou fours. Ces dernières technologies citées sont conçues en divers matériaux que sont : la terre, la maçonnerie et le métal avec une dominance de la terre de barre rouge ou terre battue ou argileuse.

En addition, il est nécessaire de veiller à la circulation de l'air et des gaz dans l'enceinte contenant la charge de bois d'après nos observations. Il se réalise en deux modes de tirage : direct et indirect à travers des trous à air ou événements.

v. Etapes de la production du charbon

D'une manière globale, l'analyse des étapes constitutives du processus peut se résumer comme ci-après :

1. le repérage des lieux de coupe de bois : il s'agit d'identifier où prélever la matière première pour la carbonisation ;
2. l'abattage et le débitage / tronçonnage des arbres, permet de réduire les grosses grumes et branches en morceaux de bois de taille choisie
3. le transport : il s'agit à cette étape de transporter le bois au lieu de carbonisation. Dans la plupart des exploitations explorées, le plus souvent, le site de carbonisation est situé sur des champs ou non loin du lieu d'abattage ;
4. le séchage : il permet de réduire la teneur en eau du bois ;
5. la réalisation de la charbonnière et la disposition de la charge ; cette étape présente une multitude de variantes d'une localité à l'autre et fonction du niveau de technologie et du savoir-faire des producteurs ; les acteurs choisissent soit des fosses ou des meules ;
6. la couverture de la charge et la mise à feu : elle consiste à recouvrir la charbonnière avec des feuilles vertes ou de la terre mouillée ;
7. la mise à feu de la charbonnière ;
8. la surveillance : le producteur suit la progression du processus et intervient, si besoin est, en fermant les événements et en surveillant la couleur de la fumée dégagée ;
9. le refroidissement ;
10. le défournement et
11. conditionnement et le transport vers les centres de consommation du bois-énergie.

vi. Spécificités du processus

Les étapes que nous avons identifiées aux points 4 et 5 présentent quelques spécificités d'un village à un autre et d'un opérateur à un autre.

- Le séchage

Son utilité se traduit par l'élimination (évaporation) de l'eau contenue dans le bois. En effet, le bois est fondamentalement formé de trois constituants à savoir : la cellulose, la lignine, l'eau. et certaines

substances qui sont intimement liées entre elles pour former la matière que nous appelons bois. L'eau est contenue dans le bois sous forme de molécules à la surface du complexe cellulose/lignine. Le bois "sec à l'air" contient encore 12-18% d'eau absorbée. Le bois fraîchement coupé ou "vert" contient en outre de l'eau sous forme liquide, ce qui donne un taux d'humidité totale de 40 à 100%, exprimée en pourcentage du poids de bois.

L'évaporation de l'eau exige une grande quantité d'énergie. Les producteurs utilisent alors le vent et le rayonnement solaire pour sécher le bois par exposition autant que possible avant la carbonisation ; ainsi, ils améliorent considérablement la rentabilité du processus. Le parfait séchage du bois n'est pas maîtrisé par tous les producteurs enquêtés même si elle demeure pour tous une étape importante garantissant l'obtention de bon charbon. En effet, l'eau restant dans le bois à carboniser devra être évaporée dans la charbonnière ou le four, et l'énergie nécessaire devra être fournie par la combustion d'une partie du bois lui-même, qui autrement aurait été convertie en charbon.

- la réalisation de la charbonnière

La charbonnière est définie ici comme toute technologie matérielle destinée à recevoir une charge de bois et au sein de laquelle la transformation du bois est réalisée en charbon. Chaque charbonnière est caractérisée par :

- un ensemble de matériaux constitutifs ;
- un rendement de carbonisation ;
- un savoir faire spécifique à chaque producteur fonction de facteurs qui l'influencent ce dernier.

Dans toutes les localités parcourues, on ne distingue pas fondamentalement plusieurs formes de charbonnière. Seules les meules aériennes artisanales et les fours ont été observés. Toutefois, il est important de signaler que quelques producteurs de charbon ont tendance dans la réalisation des meules au cours de la phase de nettoyage du sol à décaper le sol voire creuser un plancher d'une profondeur maximale de 40 centimètres en vue de la disposition de la charge (départements du Mono et Couffo), Djigbé (Zou).

Quant aux fours, des prototypes « de Casamance » n'ont été observés que dans la Donga (notamment à Bassila et alentours) où quelques femmes font encore usage de forme améliorée. En effet l'ONAB (ex-SNAFOR) en avait développé des formes, métalliques transportables qui ont été abandonnés par la suite à Tchettou (Dossou, 1995). Un seul four métallique déjà hors d'usage est noté à Niaouli.

En dehors de ces technologies, les autres formes de technologies de carbonisation (fosses et divers fours), ne sont pas tellement connues ou pratiquées au Bénin.

- La disposition de la charge

Les bûches en forme de rondin, quartier ou même de branche de diamètre variable et de longueur plus ou moins rendus identiques par l'opérateur, sont disposés horizontalement sur deux à trois traverses posées dans la zone décapée au lieu nettoyé. La disposition est faite de sorte que les rondins de grand diamètre soient posés au centre de ceux de diamètre petit pour que l'ensemble de la charge soit stable et bien entassé afin de réduire significativement les espaces libres.

Il est à préciser que dans certaines localités (Mono, Couffo, Alibori, Borgou) où le bois vert est utilisé dans la constitution de la charge, les producteurs veillent à y intercaler entre les bûches vertes, des combustibles secs comme des branches sèches de palmier, une couche de coques de noix de palmistes concassées ou même des déchets végétaux en bas de la meule.

- Savoir-faire des charbonniers

Le savoir-faire du charbonnier constitue un facteur important dans le processus depuis le choix des essences à carboniser jusqu'au défournement. Au cours de nos investigations, il a été constaté qu'aucun exploitant charbonnier ne suit une formation formelle avant de se lancer. Il s'agit d'un ensemble de connaissances empiriques détenu par chacun des charbonniers. Ces connaissances peuvent être résumées en quelques points essentiels.

Une fois, le feu allumé, les charbonniers surveillent constamment le dispositif jusqu'à ce que la carbonisation soit achevée. La meule est mise à feu grâce à diverses méthodes (braises ardentes, brindille allumée, torche, etc.) par un trou. Une fois que le feu a pris (après 15 à 20 minutes), ce trou est bouché, puis des événements sont ouverts tous les 3 ou 4 mètres sur le pourtour à la base. Il se dégage au début de la carbonisation de la fumée blanchâtre indiquant le dégagement de la vapeur d'eau provenant du bois humide chargé : c'est la phase endothermique.

Les producteurs tâtent le pourtour de la meule recouverte pour déceler les parties non allumées. Au fur et à mesure que la carbonisation progresse, la meule s'affaisse peu à peu, et il peut apparaître des crevasses, qui devront être immédiatement obturées avec de l'herbe et de la terre.

Si les charbonniers travaillent sur le site de fabrication de charbon et qu'une autre meule est prête, les fumérons ou incuits sont utilisés pour démarrer la combustion dans une nouvelle charbonnière. La carbonisation est terminée lorsque la fumée commence à diminuer et devient bleuâtre. A partir de ce moment c'est le charbon lui-même qui brûle, d'où la nécessité de fermer hermétiquement la meule. C'est la phase exothermique (270 – 500 degrés C).

Après s'être refroidie, la meule est ouverte à l'aide de bâtons, houes, râtaux, en commençant par la base. L'ouverture doit être refermée après qu'une partie du charbon a été enlevée, et cette manière de procéder est poursuivie jusqu'à ce que l'opération soit achevée.

Le charbon sorti de la meule doit être couvert de terre ou de sable pour éviter sa consommation complète. Cette astuce évite une perte de qualité lorsqu'on l'éteint avec de l'eau. Seul le charbon refroidi en morceaux doit être ensaché ou mis en tas. Les sacs sont fermés avec une ficelle.

- Caractéristiques des meules

La meule peut avoir une forme hémisphérique aplatie avec environ 2 à 3 mètres de diamètre à la base et atteint une hauteur de poitrine d'homme (soit environ 1,50 m). La forme de base la plus courante est celle rectangulaire. Elle est plus observée que la forme conique car la charge est dans ce cas plus facile à disposer.

Les dimensions moyennes estimées sont consignées dans le tableau ci après.

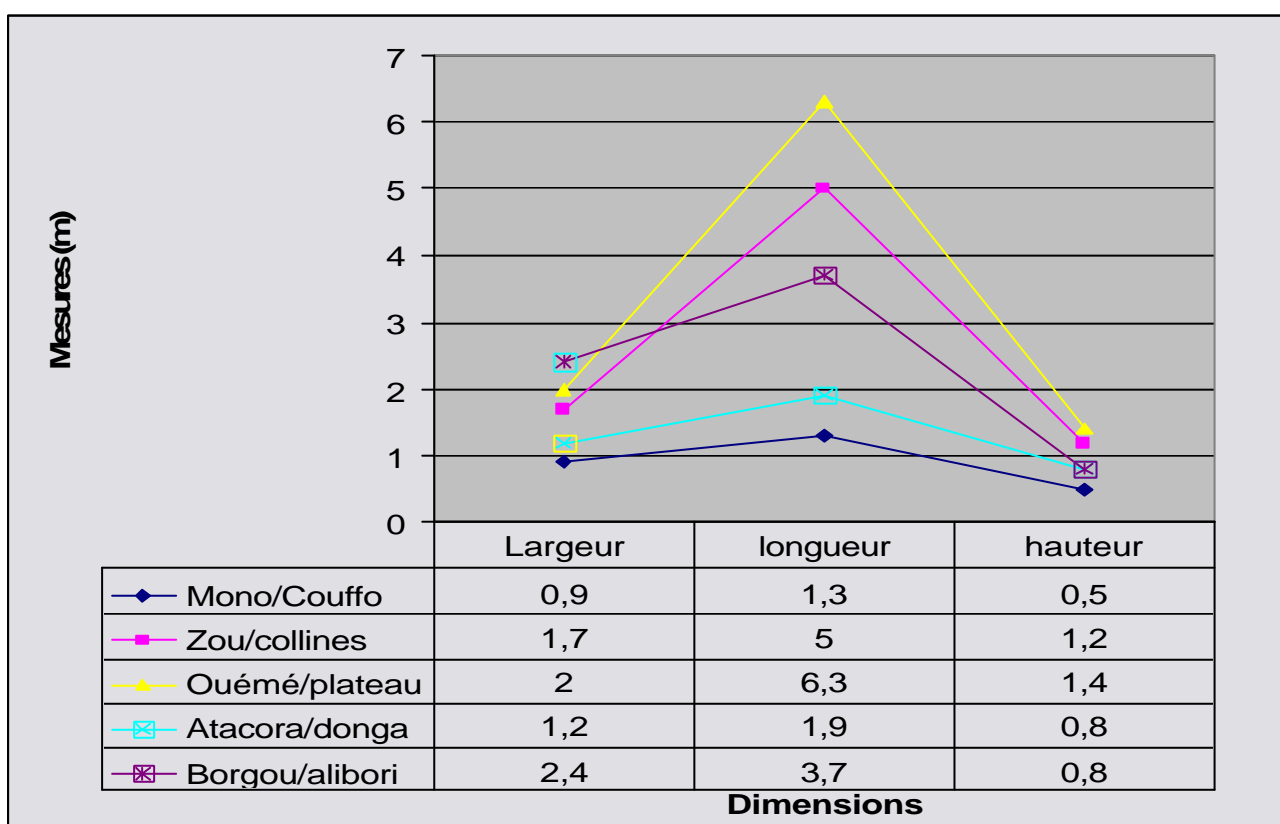


Figure 2 : Caractéristiques moyennes des meules rectangulaires observées par département

L'analyse de cette figure met en exergue que dans les départements de l'Ouémé et du Plateau, le volume moyen de la meule destiné à la production de charbon est le plus élevé (soit plus de 17,64 m³) rencontrés à Kétou et à Pobè.

En revanche, dans les départements du Mono et du Couffo, le volume moyen estimé de la meule est de 0,63 m³.

Le nombre d'évents aménagés est très variable en fonction de la taille de la charbonnière et de la ventilation naturelle (1 à 10). Les charbonniers peuvent y réaliser jusqu'à une dizaine d'entrées d'air

présentant 10 cm de diamètre et permettant à la fumée de s'échapper. Signalons que toutes les ouvertures sont bouchées avec de la terre battue ou du sable mouillé lorsque la carbonisation est achevée, et on laisse alors la meule se refroidir.

Outre les meules, d'autres technologies tels que les fours sont utilisés pour la carbonisation.

vii. Description du processus d'utilisation des fours et adoption des fours

Les fours aériens constituent une forme de charbonnière observée surtout dans la Donga (Bassila notamment) et les départements du Zou et des Collines (Kpakpassa) ; ils sont de forme conique avec un diamètre à la base variant de 3 à 6 mètres et une hauteur comprise entre 2 et 3,5 mètres. Une porte sur une face et un orifice localisé sur la partie supérieure sont aménagés. Ces fours ont été introduits dans les années 1980 avec l'installation des scieries dans le but de valoriser les déchets (débris de madriers). Ces premiers fours sont actuellement abandonnés pour la plupart.

Dans la Donga, ce type de charbonnière a été ensuite reconstruit au niveau des unités d'aménagement des forêts classées de Bassila et de Pénessoulou avec l'appui du Projet de Restauration des Ressources Forestières afin de valoriser le bois.

Quelques charbonniers et des femmes construisent eux-mêmes dans leur unité de production ces fours mais le nombre d'acteurs adoptant ces fours demeure faible dans la région.

Encadré 1 : Estimation du rendement de la carbonisation utilisant un four amélioré

*Une expérimentation de la fabrication de charbon à Bassila environ 3,5 tonnes de bois mort et sec (transporté par un camion). Après carbonisation au four, l'on obtient 15 sacs de charbon de bois (l'unité pesant environ 45 à 50kg) avec un sac de poudre de charbon soit environ 0,80 tonnes
Le rendement estimé se détermine comme suit :
 $R = 0,80 / 3,5 \times 100 \sim 22,85\%$*

Malgré le rendement relativement élevé de ces fours, il subsiste des contraintes liées à l'adoption de cette technologie de carbonisation :

- La construction des fours nécessite des ressources financières pour la construction,
- La technologie nécessite une importante force de travail pour le fendage du bois et le montage de la charge.

viii. Densité de charbon selon les espèces et rendement de la carbonisation

La densité du charbon est l'une des caractéristiques les plus recherchée des utilisateurs. Plus le charbon est dense, lourd, moins il se consume et est donc économiquement intéressant pour le consommateur. Cette caractéristique dépend du taux de lignine que contient le bois. De plus, la densité dépend de l'âge de l'espèce. On remarque que si on laisse bien mûrir (40 à 50 ans) les espèces qui donnent de charbon léger comme le Teck, elles donnent du charbon de qualité acceptable par les consommateurs.

Les consommateurs réclament souvent le charbon de *Kakê (Prosopis africana)*, *Hlihon (Anogeissus leiolepis)*, *Kosso (Pterocarpus erinaceus)*, etc.

Le tableau ci-dessous informe sur la densité moyenne calculée selon les espèces et les localités. Les données sont calculées à partir des masses des échantillons prélevés et des volumes de ces échantillons tels que précédemment décrits dans la méthodologie.

Tableau 4 : Densité du charbon selon les espèces

Nom scientifique	Nom français	Nom en fon	Localité	Densité en g /cm ³
<i>Vittelaria paradoxa</i>	Karité	Owouko,	Aplahoué	0,65
<i>Tectona grandis</i>	Teck	Teki	Zè	0,26
<i>Prosopis africana</i> ,		Kakê	Kétou	0,5
<i>Anogeissus leiolepis</i>	Bouleau d'Afrique	hlihon	Parakou	0,42
<i>Afzelia africana</i>		kpakpa	Djidja	0,65
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Palissandre du Sénégal	Kosso	Kétou	0,44
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acacia	Acacia	Athiémé	0,20
<i>Prosopis africana</i> ,		Kakê	Djidja	0,78
<i>Vittelaria paradoxa</i> ;	Karité	Owouko	Djougou	0,63
<i>Pterocarpus erinaceus</i>	Palissandre du Sénégal	kosso	Djidja	0,47
<i>Lonchocarpus sericeus</i>	Fruit Harpon	Lomba	Setto	0,21
<i>Vittelaria paradoxa</i>	Karité	Owouko	Bassila	0,48

On remarque que les bois qui fournissent les charbons les plus lourds , denses sont ; *Prosopis* (0,78), *Karité* (0,65), *Afzelia* (0,65). D'autres bois par contre donnent du charbon léger comme le teck non âgé, *Lonchocarpus* dont la densité avoisine 0,20.

Notons que la densité du charbon dépend à la fois du degré de maturité du bois, de son état sanitaire (attaque par les champignons et insectes xylophages) de sa composition chimiques (taux de lignine).

ix. Rendement de la carbonisation

Le souci d'obtenir des produits de qualité à un rendement élevé dicte la nécessité de carboniser les bois répondant à des critères donnés. D'après Dossou (1995) le bois léger ne donne que du charbon tendre. Il s'agit par exemple du bois de *Parkia biglobosa*, *Lonchocarpus sericeus*, *Albizzia sp.* *Tectona grandis*. En revanche, pour obtenir du bon charbon, il faut que le bois soit bien mûr, dense et lignifié. Les producteurs indiquent que le charbon obtenu de ce type de bois est lourd et moins friable. Les essences telles que *Prosopis africana*, *Diospyros mespilliformis* contiennent de la silice et produisent du bon charbon qui éclate en se consumant, ce qui est désagréable et risquant pour les utilisateurs.

La carbonisation des bois trop verts, humides ou trop secs est déconseillée. L'utilisation de l'une ou l'autre des qualités de bois entraîne une chute manifeste des rendements. De plus, carboniser du bois humide ou trop vert constitue d'une part une prolongation inutile de la durée de la carbonisation et d'autre part une perte d'énergie.

Le rendement a été déterminé surtout pour les meules à base rectangulaire usuelles. Elle permet de déterminer l'efficacité du processus suivis.









Tableau 5 : Estimation du rendement de la carbonisation

Département	Mono-Couffo	Zou-Collines	Atacora-Donga	Ouémé-plateau	Borgou-Alibori
Rendement pondéral moyen estimé (%): minimum et maximum	10-14	11-20	10-23	9-13	8-10

Source : Enquêtes, décembre 2006 et janvier 2007

Les procédés de carbonisation les plus intéressants du point de vue rendement sont observés dans la Donga et les Collines tandis que les plus faibles sont constatés dans les départements du Borgou et de l'Alibori. Toutefois, il existe quelques principes élémentaires à observer afin de conduire un bon processus de carbonisation.

Encadré 2 : Quelques règles à suivre pour bien conduire la carbonisation

-  *Eviter de carboniser du bois vert ayant une teneur en eau supérieur à 30%*
-  *Sélectionner les bois mûrs appropriés*
-  *Effectuer un rangement bien serré et homogène*
-  *Placer les plus gros bois toujours plus près du feu et les petits plus loin*
-  *Prévoir des événements pour une bonne admission de l'air et sortie de la fumée*
-  *Choisir ou confectionner une charbonnière rentable*
-  *Surveiller la carbonisation par la couleur de la fumée : fumée blanchâtre indique que le bois dégage de l'eau ; fumée bleue ou transparente indique la combustion du charbon ; il faut donc fermer les entrées de l'air*
-  *Vérifier l'étanchéité de l'enceinte de la carbonisation lors du refroidissement*

D'après la littérature, le rendement de la carbonisation n'est qu'indicatif car il dépend d'un multitude de facteurs dont :

- Le type de charbonnière
- La nature du bois carbonisé (physique, chimique, calorifique)
- L'état de maturité du bois utilisé
- L'état de santé pathologique du bois utilisé
- Les conditions atmosphériques lors de la carbonisation
- Le savoir faire du charbonnier

Notons que certains de ces facteurs comme ceux atmosphériques sont difficilement maîtrisables.

x. Conditionnement des produits finis et aperçu de la commercialisation

Le charbon refroidi est discuté par les autres acteurs de la filière à savoir principalement : les collecteurs venus des centres urbains, les revendeurs locaux.

Mais avant, le charbon est emballé dans des sacs de jute pesant environ 45 à 50kg parfois plus ou moins (15-17 kg) suivant la densité du bois ayant servi à la carbonisation et la technologie de

carbonisation utilisée. Les sacs sont emballés grâce aux manœuvres. Ces sacs sont ensuite transportés jusqu'au bord des grands axes routiers ou sur des marchés. En revanche, les collecteurs disposant de véhicules, chargent directement les sacs sur les sites de production.

xi. Acteurs selon le genre

Contrairement à la filière bois de feu où l'on retrouve plus de femmes que d'hommes, la fabrication de charbon de bois est essentiellement assurée par le genre masculin (environ 77% des charbonniers sont des hommes). La dominance des hommes à ce niveau de la filière de production s'explique par les exigences du processus en main d'œuvre et en efforts physiques.

Par contre, dans la Donga, les femmes occupent une place importante dans la production du charbon de bois ; elles y sont majoritaires. Autrefois, la quasi-totalité des producteurs de charbon était des femmes ; c'est progressivement que le nombre des hommes s'est accru.

xii. Discussions

L'adoption de la charbonnière en meule est préférée à la fosse lorsque le sol est rocailleux, induré ou superficiel, ou que la nappe phréatique est trop proche de la surface; à l'inverse la charbonnière en fosse est idéale lorsque le sol est bien drainé, profond, limoneux. La meule est également plus pratique dans les zones agricoles où les ressources ligneuses peuvent être disséminées, et où il est souhaitable de faire le charbon de bois près d'un village ou autre installation permanente. Un emplacement de charbonnière en meule peut être réutilisé indéfiniment tandis que les fosses sont plutôt utilisées pour un petit nombre de fournées, et on en recrée d'autres plus loin pour suivre la progression des coupes. Par ailleurs, si la nappe est proche de la surface du sol ou que celui-ci est mal drainé, la charbonnière en fosse est peu pratique. La pratique répétée de la carbonisation sur un site représente une gêne pour l'agriculture ou le pâturage. Enfin, le bois à carboniser en meule peut être récolté petit à petit au fil des mois, empilé en place, et laissé à sécher complètement avant d'être couvert et carbonisé. Cela s'accorde bien avec le mode de vie du petit paysan qui peut ainsi ramasser des déchets de bois, des branches, des rondins, et les empiler soigneusement en meule. Après quelques mois, en fonction de la saison, du prix du charbon de bois, etc., il couvre la meule de feuilles vertes et terre mouillée et fait son charbon. Il se procure ainsi des revenus d'appoint.

Quelques clichés sélectionnés ci-après permettent d'illustrer la production du charbon de bois dans différentes localités.



Photo 16 : Réalisation de la base d'une petite meule aérienne à Tourou



Photo17 : Transport du bois et disposition de la charge à Bakou II



Photo 18 : Bois disposé, prêt à être recouvert et mis en feu



Photo 19: Construction de la charge d'une grande meule à Ayétoro



Photo 20: Recouvrement de la charge par des feuilles vertes



Photo 21 : Chargement en bois dans un four à Bassila



Photo 22 : Dégagement de fumée blanchâtre par les événements d'une meule aérienne à Klaklagon



Photo 23: Défournement donnant du charbon nu prêt à ensacher à Djijadja



Photo 24 : Fours aériens aménagés à Bassila



Photo 25 : Exposition de sacs de charbon de bois à Hlagba



Photo 26 : Conditionnement / Ensachage du charbon de bois

4.2.3. Technologies de production des déchets végétaux : cas de copeaux et sciure de bois

Les déchets végétaux complètent pour une bonne part les combustibles ligneux (bois et charbon de bois) ; ainsi, on note l'usage des copeaux et sciure de bois, des coques fibreuses de coco (mésocarpes), les coques dures de palmistes (endocarpes), les tourteaux fibreux de palme, les coques de noix de karité, etc.

La technologie de production de ces déchets est fort simple à l'exception des copeaux et sciure dont la technologie est décrite plus loin en détail.

La plupart de ces déchets sont utilisés en vrac sauf le cas des copeaux et sciure de bois que les femmes tassent de manière artisanale dans un foyer culinaire.

Les déchets proviennent de deux types de producteurs :

- Le secteur privé composé des scieries privées, des menuiseries, des exploitants privés, des femmes et groupements des femmes ;
- la scierie de l'ONAB situé à Saclo.

i. Présentation de la scierie de l'ONAB et sa production en bois énergie

La vocation de cette scierie est de transformer les produits issus des éclaircies sous futaies réalisées dans les vieilles teckeraies de Djigbé de Toffo et d'Agrikey. La capacité nominale de cette scierie est de 40.000 m³ de matière première (bois de teck) par an.

La quantité effective de bois qu'une équipe de travailleurs peut scier est d'environ 35.000m³. Ainsi la scierie produit 57% de sous-produits de sciages qui sont constitués essentiellement de sciures, de copeaux, de dosses qui ne peuvent pas être récupérés qui sont utilisés comme bois de feu. Le rendement de la scierie est de 43% en planches. Le taux de production de copeaux et sciure de bois est d'environ 15%. Ces sciures et copeaux sont concédés aux populations riveraines de la scierie. Leur gestion n'était pas structurée.

Aucune information n'était donc disponible ce qui ne permet pas de quantifier la part que ces produits représentent dans les revenus des ménages. A partir des années 1990, l'arrondissement de Saclo a formalisé la gestion des sciures et copeaux produits par la scierie et mis à sa disposition.

Deux comités de 7 membres chacun ont été créés. Chaque comité a une période de gestion qui s'étend sur six (06) mois.

Les sciures sont donc vendues aux clients de même que les copeaux et les chutes de bois. Les 40% des recettes sont versés à l'arrondissement de Saclo et les 60% restants constituent le salaire des membres du comité. Le prix de vente d'un sac de sciure est de 200 francs pour les locaux et de 500 francs à ceux qui veulent en faire un commerce (clients venus de Cotonou et Porto-novo).

Les dosses et les chutes de sciages et celles de la menuiserie sont mis en fagots de bois et commercialisés par l'ONAB. La scierie produit entre 10 000 et 20 000 fagots de bois par semaine (y compris les fagots de grands modèles (GM) et de petits modèles (PM)).

En dehors des sciures, des copeaux et des fagots de bois produits à la scierie de Saclo (Bohicon), l'ONAB met également à la disposition des populations riveraines des plantations domaniales, des rémanents issus des coupes d'éclaircie et de régénération naturelle.

Ces rémanents sont aussi confectionnés en fagots de bois, en stères et parfois carbonisés pour produire du charbon de bois.

L'ONAB ne perçoit aucune redevance financière sur la commercialisation de rémanents issus des coupes de régénération naturelle par les populations.

ii. Processus de production de sciures, de copeaux et de chute de bois à la scierie de l'ONAB

La transformation des produits forestiers (grumes de teck ou d'autres essences forestières) exploités des teckeraies sous tutelle de l'ONAB entraîne la production de sciure, de copeaux et de chute de bois. Le processus de production de ces sous-produits est indiqué dans le tableau suivant qui résume la nature des déchets végétaux et leur production.

Tableau 6: Type de déchets végétaux, leur rendement et producteurs

Type de déchets végétaux	Matière première	Outils utilisés pour leur production	Rendement en volume	Personnes /Structure productrice
Copeaux et sciure	Bois de teck provenant des plantations	- fraises (couteaux) - Twin Bar (scie à ruban à 2 lames)	15%	Scierie de Saclo/ ONAB
Déchets issus des dosses et délignures transformés en fagots de bois	Bois de teck provenant des plantations domaniales	- Quatro (scie à ruban à 4 lames) -Dédoubluse (scie à ruban à 1 lame) - Grande scie (scie à ruban à 1 lame) - Grande déligneuse (scie circulaire à 6-7 lames) - raboteuse	42 %	Scierie de Saclo/ ONAB
Copeaux et sciure	Toutes sortes de bois d'oeuvre	- scie - Hache - Coupe-coupe - Raboteuse	5 à 10 %	- sculpteurs -ébénistes -Scieries privées menuiseries
Coques ou bourres e coco	Noix entière de coco	- coupe-coupe - petite hache	30 à 40%	- Jeunes hommes - jeunes femmes -exploitants de cocoteraies
Tourteaux de palme	Noix de palme	- Pilon de mortiers - pieds d'hommes pour écraser les noix cuites -broyeuses dans les usines	15 à 20% selon la variété	- femmes individuelles Groupements de femmes - huileries
Coques de palmistes	Noix de palmiste	- Pierres pour casser la noix - concasseuses	10 à 15% selon la variété	- femmes individuelles - Groupements de femmes - huileries
Coque de noix de karité	Fruits de karité	-pilons et mortiers - concasseuse	10 à 20%	- femmes individuelles - Groupement de femmes

Source : Enquêtes, décembre 2006 – janvier 2007

iii. Etapes de production de bois de feu, de la sciure et de copeaux de bois à Saclo

Au parc à grumes, les grumes sont façonnées en billes avec production de sciures et de chutes de bois. Les billes façonnées sont envoyées au Canter. Les deux (2) fraises (couteaux) du canter les coupent et produisent uniquement de copeaux.

Les produits sommairement transformés par le Canter passent au Twin Bar (scie à ruban munie de deux lames) pour être transformés en planches. Les planches sont recouvertes de sciures. On note également la production de chute de bois destinée à la confection de fagots de bois de feu.

Le processus se poursuit avec la quadro (scie à ruban munie de quatre lames). Les planches issues de cette transformation sont envoyées sur la chaîne de triage. A ce niveau il y a encore production de sciures.

La dédoubleuse (scie à ruban munie d'une seule lame) récupère les dosses de la TWIN BAR pour les transformer en petites planches avec production de sciures et de petits éléments non récupérables et destinés au bois de feu (mis en fagots)

A la grande scie (scie à ruban à une lame), les billes façonnées sont transformées en planches, avec production de sciures et récupération de dosses.

Les planches issues de la grande scie sont traitées à la grande délignouse (scie circulaire munie de 6 à 7 lames) pour produire des lamelles et des frises avec une grande quantité de sciures.

Les lamelles et les frises sont envoyés à la menuiserie pour être transformés en frises et parquets bruts. Ce traitement produit également une grande quantité de sciures et de chutes pour le bois de feu.

Les frises et parquets sont envoyés au séchoir et ensuite à la raboteuse qui produit également des copeaux et de sciure. Le tableau suivant récapitule les différents acteurs et les méthodes qu'elles emploient pour produire le bois énergie. Il renseigne aussi sur les rendements.

Tableau 7: Rendement de la production du bois et copeaux et sciure selon acteurs et méthodes

Acteurs	Méthodes	Outils	Rendement
Paysans	- ramassage de bois mort - coupe de bois vert - bois issu de défrichage - autres	- coupe-coupe - machette - hache - tronçonneuse	90 -95%
Exploitants de bois de feu issu de plantation de bois de feu dans le Sud-Bénin	Coupe du bois vert et disposé en stère	- Scies diverses, - haches, - coupe coupe	95%
Scierie de Saclo	Déchets issus de la scierie des grumes	- fraises (couteaux) - Twin Bar (scie à ruban à 2 lames) - Quatro (scie à ruban à 4 lames) -Dédoubluse (scie à ruban à 1 lame) - Grande scie (scie à ruban à 1 lame) - Grande déligneuse (scie circulaire à 6-7 lames) - raboteuse	15% en copeaux et sciure 42% en bois de feu
Scieries privées et menuiseries	Scierie des madriers et rabottage du bois	- scies diverses - raboteuse	5 à 7%

Source : Enquêtes, décembre 2006 – janvier 2007

Les images ci-après montrent des étapes de production des déchets végétaux et quelques outils utilisés.



Photo 27 : Façonnage les grumes à Saclo



Photo 28 : Transport des grumes à la scierie de Saclo



Photo 29: Déversement de la sciure à Saclo



Photo 30 : Machines produisant des planches et de la sciure à Saclo



Photo 31 : Stockage de fagots de bois à Saclo



Photo 32 : Exploitation du dépotoir de sciure à Saclo par les riverains



Photos 33, 34 : Sciure de bois prélevée dans une menuiserie à Porto-Novo



Photo 35: Ensachage de la sciure par les riverains de Saclo



Photo 36: Conditionnement des déchets végétaux en fagots à Saclo



Photo 37: Commercialisation des fagots de bois



Photo 38 : Quelques outils des menuisiers produisant sciure et copeaux de bois (ciseaux, scie, rabot)

4.3. Evaluation des différentes technologies selon les types de bois-énergie

La technologie ayant déjà été définie dans l'introduction de ce rapport, l'évaluation des technologies de production du bois énergie, s'appesantira dans un premier temps sur l'inventaire des technologies.

4.3.1. Résumé de l'inventaire des technologies

Dans le cadre de la présente étude, il n'a pas été possible de réaliser un recensement exhaustif des méthodes, techniques et procédés conduisant à la production du bois énergie. Néanmoins, le tableau suivant met en exergue les différentes technologies rencontrées par type de bois énergie.

Tableau 7: Récapitulatif des technologies par type de bois-énergie

N°	Éléments technologiques ?	Bois	Charbon de bois	Déchets végétaux
1	Méthodes/ techniques	Ramassage de bois mort Coupe de bois vert Bois issu de défrichement Tuerie d'arbres par feu de brousse	Technique de combustion partielle	Découpage Sciage Rabotage Entaille Emondage Ecorçage
2	Outils	Coupe coupe Hache machette Scie tronçonneuse	Houe, pelle, brouette, râteau, coupe coupe, hache, tronçonneuse, scie, bassine, arrosoir, sac de jute	Houe Scie Coupe coupe Scies diverses Machines
3	Savoir-faire (connaissances acquises, procédés empiriques)	Il n'y a pas de procédé de transformation à part la coupe	Sélection des espèces à carboniser, Séchage du bois, Choix et construction de charbonnière, Méthode de rangement du bois, Aménagement des événements et suivi du tirage de l'air et surveillance de la couleur de la fumée, Méthode de défournement	Il y a peu de connaissances en tant que tel pour la production des déchets
4	Infrastructures technologues	-	Meules, Fours, Fosses	Scieries Menuiseries Ebénisteries

Source : Enquêtes, décembre 2006 – janvier 2007

4.3.2. Evaluation des technologies de production du charbon de bois

Il convient de rappeler les choix en termes de préférence pour les technologies de carbonisation. La meule artisanale est de loin l'infrastructure technologique la plus répandue, suivie de la fosse et enfin du four

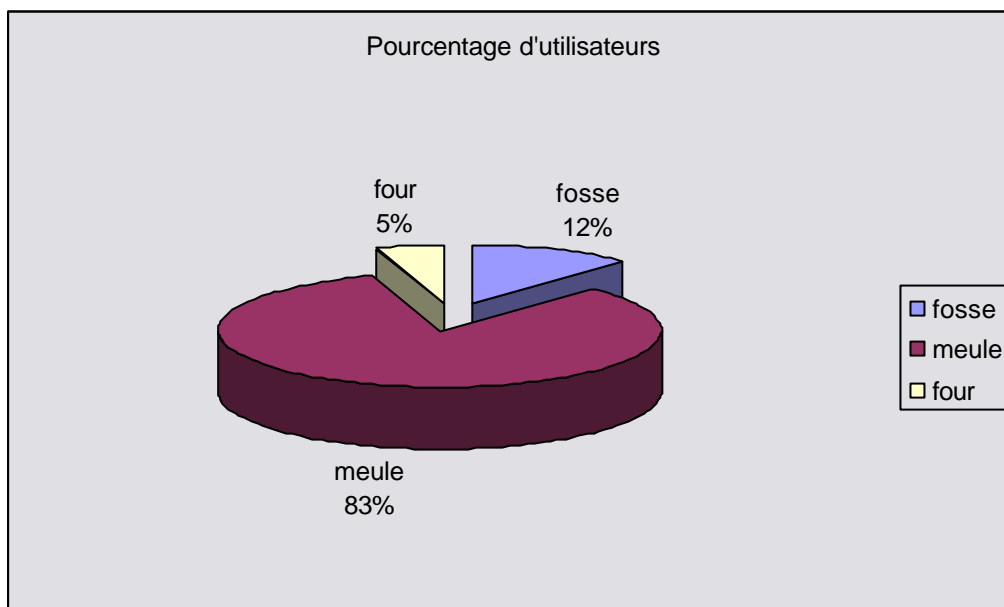


Figure 3 : Choix des différentes infrastructures technologiques dans la carbonisation

Le tableau ci-après consigne l'analyse des technologies de production de charbon de bois.

Tableau 8: Récapitulatif des technologies de production de charbon de bois

N	Technologie?	Avantages / description	Insuffisances / Inconvénients	Amélioration / mesure (s) corrective	
1	Combustion partielle de bois	Pas besoin d'apport extérieur d'énergie Disponibilité presque permanente de brindilles et d'incuits	Une partie de charge est brûlée et diminue le rendement de la technologie en charbon	Apport d'une source d'énergie externe pour séchage de la charge de bois	
2	Sélection des espèces à carboniser	Obtention de bois de qualité désiré	Mélange d'espèces à carboniser entraînant la diminution du rendement, Choix d'espèces disponibles souvent non approprié (<i>Vitex, Lonchocarpus, Parkia, etc</i>)	Plantation d'espèces appropriées Sélection d'essences plus adaptées de bois donnant du bon charbon	
3	Séchage du bois à carboniser	Raccourcissement de la durée de carbonisation, Amélioration du rendement	Le bois vert très humide est long à carboniser	Séchage d'une semaine au moins du bois vert (30% d'humidité) avant la carbonisation	
4	Choix et construction de charbonnière	Four en terre	Utilisation de la cheminée permet une propagation homogène et un tirage des gaz, Bon rendement, Utilisable plusieurs fois	Détérioration des parois, Pouvoir d'investissement élevé, Entretien, colmatages obligatoires,	Réaliser en matériaux définitifs (briques, briques cuites, etc)
		Meule	Confection à proximité des lieux de coupe, ce qui évite le transport pénible du bois, Construction facile et ne nécessite pas de un pouvoir d'investissement	Difficulté d'obtenir et maintenir une étanchéité effective et une bonne circulation,, Impossibilité de récupérer les sous produits de la carbonisation : goudron, liquides pyroligneux (acétone, méthylacétone, acide acétique...), etc	Conception du système de tuyaux et de base métallique pour la récupération des sous produits liquides
		fosse	Confection à proximité des lieux de coupe, ce qui évite le transport pénible du bois, Construction facile et ne nécessite pas de un pouvoir d'investissement	Mauvaise circulation de l'air dans les fosses entraînant beaucoup d'incuits et faible rendement	Conception du système de tuyaux et de base métallique pour la récupération des sous produits liquides
5	Méthode de chargement	Une bonne disposition de la charge augmente la quantité de bois et donc du charbon	Mauvais chargement des rondins occasionne la mauvaise circulation de l'air et mauvais rendement	Rangement serré de la charge	
6	Aménagement des événements et suivi du tirage de l'air	Bonne circulation de l'air dans l'enceinte de la charbonnière, Suivi de la couleur de la fumée	Mauvaise gestion des événements entraînent des incuits ou une combustion d'une partie du charbon produit	Formation des charbonniers sur la circulation de l'air et autres points importants ; échanges d'expériences	

Source : Enquêtes, décembre 2006 – janvier 2007

4.4. Evaluation des technologies actuelles de production du charbon de bois

4.4.1. Indicateurs sélectionnés

Les critères d'appréciation des technologies sont :

- Efficacité dans l'économie du bois énergie (C1) : L'économie du bois énergie est une mesure qui garantit une utilisation rationnelle et durable du bois énergie. Elle nécessite une technologie appropriée peu exigeante dans la satisfaction des besoins des utilisateurs de cette dernière. Ce critère fait également appel à l'efficacité d'énergétique.
- Disponibilité et accessibilité (C2) : Ce critère permet de mesurer la présence de la technologie, le niveau de diffusion et s'il existe la possibilité de l'employer facilement.
- Facilité d'application de la technologie (C3) : Elle permet d'apprécier si la technologie est facile à mettre en œuvre par un tiers.
- Rendement en produits finis (C4) : Cet indicateur met en lumière la performance de la technologie.
- Impacts néfastes sur l'environnement (C5) : Ce critère est de pair avec le premier et permet d'apprécier la propreté de la technologie en terme , par exemple , de rejet de gaz à effet de serre dans l'environnement et de destruction de l'environnement immédiat entourant le lieu de la mise en œuvre de la technologie.

Sur cette base, on identifiera les technologies performantes.

4.4.2. Classement et rétention des meilleures technologies de production de charbon de bois

Cette évaluation fait appel à des jugements d'experts sur la base des connaissances acquises dans le secteur énergie, la vulgarisation des technologies paysannes relatives à la promotion de l'énergie et enfin à l'évaluation concertée départementale de la vulnérabilité énergétique aux changements climatiques au Bénin.

Le tableau suivant montre les divers scores accordés aux technologies évaluées. Il est nécessaire d'indiquer que les présents résultats ont été obtenus par consensus parfois aux prix de longues discussions entre collaborateurs.

Tableau 9: Evaluation des infrastructures technologiques dans le processus de la carbonisation

N°	Infrastructures technologiques	Critères					Note moyenne	Rang
		C1 : Efficacité dans l'économie du bois énergie	C2 : Disponibilité et accessibilité	C3 : Facilité d'application de la technologie	C4 : Rendement en produits finis	C5 : Impacts néfastes sur l'environnement		
1	Fosse artisanale	2	8	8	2	4	4,8	6
2	Meule artisanale	3	9	9	2	4	5,4	5
3	Four artisanal	4	7	8	6	6	6,2	2
4	Fosse améliorée*	5	3	7	5	7	5,4	4
5	Meule casamançaise*	7	4	8	6	8	6,6	1
6	Four en briques cuites**	7	1	2	7	6	4,6	7
7	Four métallique cylindrique**	6	2	6	6	8	5,6	3

* Technologie peu diffusée au Bénin

** Technologie non encore bien connue au Bénin

Il ressort de ce tableau que les technologies à promouvoir par ordre sont :

1. Meule casamançaise
2. Four artisanal
3. Four métallique cylindrique
4. Fosse améliorée
5. Meule artisanale
6. Fosse artisanale
7. Four en briques cuites

On retient de cette hiérarchisation que la meule casamançaise est la première technologie qui se dégage ; cela se justifie par sa facilité de construction, son existence dans certaines localités, et son bon rendement, ce qui permet de préserver les ressources forestières et donc la qualité de l'environnement.

Les fours en briques cuites et fours métalliques ne sont pas si accessibles car le coût de l'investissement est assez considérable qui n'est pas à la portée de tous les acteurs surtout en milieu rural où est produit le bois-énergie. Cependant, mentionnons que l'un des avantages du four en briques est la possibilité de carboniser les bois secs de petites dimensions comme les chutes des scieries et menuiseries. Les avantages du four métallique cylindrique, en dehors de son bon rendement sont :

- L'utilisation de cheminée permet un bon fonctionnement et une propagation homogène de la carbonisation.
- La mise en œuvre est facilement réalisable par deux hommes, grâce à l'assemblage des viroles et couvercle.
- Le four peut être déplacé
- La conduite aisée ne demande pas un très grand savoir-faire.

Il est donc recommandé la diffusion de la meule casamançaise déjà utilisée à Bassila et dont le rendement pondéral avoisine 23%. Elle est conseillée aux charbonniers individuels ou même en association. En revanche, les fours métalliques et ceux bâtis en briques peuvent être vulgarisés à l'endroit des groupements de charbonniers compte tenu du pouvoir d'investissement relativement élevé.

4.4.3. Caractéristiques et technique de mise en œuvre de la meule casamançaise

Elle diffère de la meule traditionnelle au niveau de la construction (mis en place d'une grille de distribution d'air et d'un plancher rangement homogène) et l'évacuation des fumées (par une grande et unique cheminée).

Pratiquement, on peut réaliser des meules de Casamance de toutes dimensions (de 6 à 150 stères).

Il n'est pas conseillé toutefois de construire de grosses meules, car leur mise en œuvre est pénible et demande beaucoup trop de temps et de main-d'œuvre, et leur conduite n'est pas très aisée. Pour une meule de plus de 100 stères, le cycle global (coupe, construction, carbonisation, refroidissement) peut atteindre plusieurs mois. De même, des meules de Casamance trop petites (4 à 10 stères) ne présentent pas beaucoup d'intérêt dans la mesure où, pour ranger correctement le bois (selon le principe de construction de la meule de Casamance) dans un si faible diamètre, il est nécessaire de recouper le bois à de faibles longueurs (50 à 60cm) ce qui implique un surcroît de travail, pénible non rentable.

Des meules de volumes moyens de 15 à 40 stères sont davantage recommandés. Elles peuvent facilement et rapidement être mises en œuvre par une équipe de deux ou trois charbonniers. Elles permettent une meilleure répartition des différentes tâches dans le temps (coupe, construction, conduite, défournement) et facilitent l'organisation du travail de chantier.

La meule de Casamance permet de carboniser du gros bois (supérieur à 30 cm).

i. Construction

Approximativement les diamètres des bases (plancher) des meules de Casamance en fonction du volume de la charge sont les suivants :

Charge en stères	Diamètre de la base
6	3mètres
15	4mètres
30	6mètres
40	7mètres

- Préparation du site

A l'endroit où l'on veut construire la meule il faut dégager le terrain sur une superficie circulaire d'un rayon supérieur d'environ deux mètres à celui nécessaire à la construction.

- Montage

Des rondins de 10 à 15 cm de diamètre sont disposés radialement sur la surface nettoyée. Leur longueur varie selon l'importance de la meule à construire. Ces longerons constituent la « grille » d'admission d'air.

- Les trous d'aération sont situés tout à fait à la base de la meule. Entre les rondins, on peut installer dix à quinze tuyaux métalliques ou en argile, à intervalles réguliers, pour améliorer l'aération du four. Ils doivent alors sortir de la circonférence de la meule pour ne pas être enterrés lors du recouvrement de la meule avec feuillage et terre.
- Les trous d'aération sont placés légèrement plus haut et l'aération de la meule se fait par une chambre d'admission d'air circonférentielle.

Au-dessus des longerons, on place transversalement deux couches de petit bois (environ 5cm de diamètre) pour former le plancher de la meule. Sur ces couches, le point d'allumage est préparé au centre.

La meule est chargée avec plusieurs couches de bois depuis le centre vers l'extérieur tout en laissant un conduit central d'allumage. Les gros bois sont placés au centre, puis les moyens. Il faut veiller à entasser le bois le plus serré possible, et à combler les espaces vides. Il faut donner à la meule une forme hémisphérique. Les pentes de la meule se situent entre 35 et 45°. Un montage trop plat donne un mauvais tirage. Une pente trop élevée entraîne un glissement de la couche de terre.

On place la cheminée en amont de la meule, entre deux rondins. On habille alors la meule avec une forte couche de petit bois rangés serrés. On établit la chambre d'admission d'air circonférentielle.

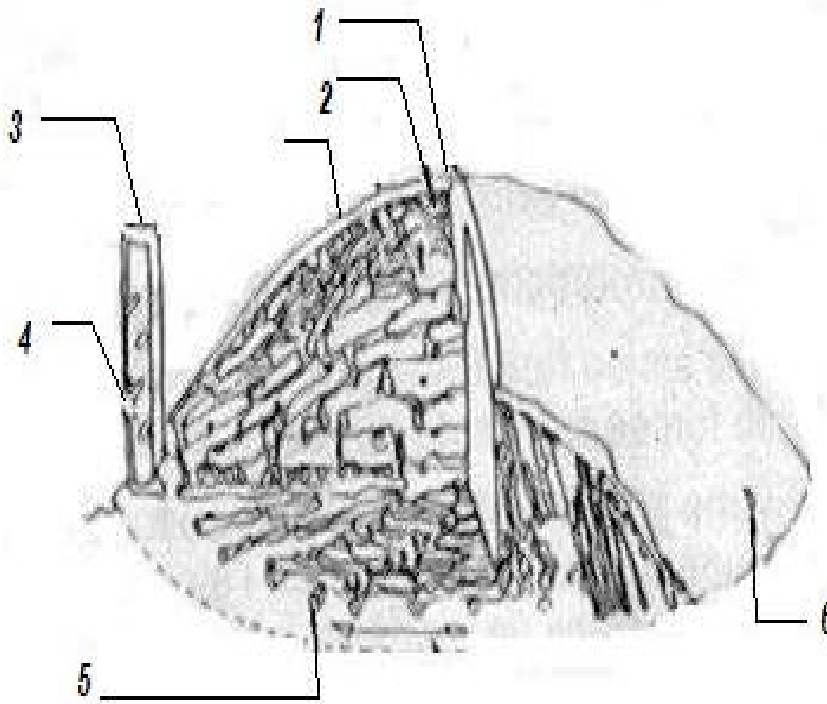
La meule est ensuite recouverte d'une couche de feuillage ou paille (environ 10cm) et de terre (environ 5cm).

Selon le procédé on vérifie que les trous d'aération sont bien dégagés, ou bien on pratique des ouvertures au niveau de la chambre circonférentielle, tous les deux à trois mètres, sauf près de la cheminée (pour ne pas gêner de tirage au départ).

- La cheminée

La cheminée est constituée de trois vieux fûts métalliques (fûts ordinaires de 200 L), assemblés en série (soudés si possible). Leurs couvercles sont détachés sur 80% de leur contour et poussés vers l'intérieur. Ils agissent comme déflecteurs de fumée et augmentent la surface de condensation

Un schéma ci-après présente une meule casamançaise



Légende :

1. Ouverture d'allumage
2. Couche d'organique (feuilles, brindilles, etc.)
3. Cheminée
4. Déflecteur de refroidissement
5. Support de la charge
6. Trou d'aération

Coupe d'une meule Casamence

ii. Carbonisation de la meule

- Allumage

L'allumage de la meule se fait par le trou central dans lequel on jette les braises. Quand le feu s'est bien développé (15 à 45 mm), on bouche le trou d'allumage avec le bois.

Sous le fond de la cheminée, un trou est creusé et on peut y faire du feu pour chauffer afin de favoriser le tirage de la fumée. Ce même trou pourra aussi servir pour placer un récipient de collecte des produits pyroligneux (eau et goudrons) résultants de la carbonisation.

- Conduite de la carbonisation

On vérifie que la meule est bien étanche (toute la fumée doit sortir par la cheminée). Il faut boucher les trous ou fentes éventuelles avec de la terre.

Pour assurer une carbonisation progressive, on fermera au début les entrées d'air situées près de la cheminée. Ainsi, le bois situé en face de la cheminée (en aval) sera carbonisé avant le reste de la meule.

Au fur et à mesure de la carbonisation dans la meule, celle-ci s'affaisse et on peut apercevoir des braises par les trous d'aération. Ces derniers seront alors fermés. Cette opération se poursuit jusqu'aux dernières entrées d'air, c'est-à-dire celles situées à côté de la cheminée.

Lors de l'affaissement de la meule, des trous peuvent apparaître. Il faut les boucher immédiatement avec du feuillage (ou paille) et de la terre, afin d'éviter que la meule ne prenne feu.

En cas de nécessité, on peut déplacer la cheminée pour achever la carbonisation sur une autre partie de la meule.

Vers la fin de la carbonisation, il faut surveiller la fumée sortant de la cheminée. Quand elle devient bleue et diminue fortement, il faut fermer la meule hermétiquement à toutes les entrées d'air et aux éventuelles fuites de fumée. La couverture de terre doit être renforcée. La cheminée est retirée et on ferme son emplacement. Pendant toute la durée de la carbonisation (environ deux jours pour une meule de 40 à 50 stères), la présence d'un charbonnier ou d'un aide est indispensable pour suivre l'évolution de la carbonisation et intervenir pour les réglages et pour boucher les trous d'effondrement.

Lorsqu'il est nécessaire de monter sur la meule il faut impérativement marcher sur des perches. Celles-ci répartissent le poids sur une surface plus grande et diminuent les risques d'accident. Il faut être très prudent en haut d'un four.

- Refroidissement et défournement

On laisse refroidir la meule pendant quelques jours.

Le défournement se fait avec un râteau en commençant par la base de la meule. Le charbon est sorti progressivement couche par couche. Aussitôt une partie du charbon est déterrée, le reste de la meule est refermé, ceci jusqu'à la fin de l'opération. La collecte doit être réalisée avec soin pour ne pas briser le charbon (ne pas marcher dessus). Il arrive de trouver du charbon non éteint, il faut alors le recouvrir avec de la terre pour l'éteindre. L'eau est déconseillée car elle diminue la qualité du charbon.

Le charbon défourné est étalé tout autour de la meule. Le défournement peut se faire en plusieurs jours. Ceci permet d'obtenir un temps de refroidissement plus long pour le charbon situé au centre.

Il est préférable de laisser le charbon en tas au moins 24 heures avant de le mettre en sac (danger de combustion spontanée).

- Collecte des sous produits

Les goudrons ou jus pyroligneux contenus dans la fumée peuvent être récupérés à la base de la cheminée dans un récipient. On obtient un produit contenant les goudrons, une couche très liquide et une couche d'huile.

Les goudrons sont utilisés pour sceller par exemple les fissures sur les tôles d'aluminium. Les deux autres fractions sont employées comme peinture de protection des bois contre l'attaque des insectes. Les bases de pieux, bouillis durant deux heures dans ce liquide, sont protégées plus efficacement contre la pourriture.

4.4.4. Caractéristiques et technique de mise en œuvre des fours métalliques

i. Description

L'ensemble de l'enceinte est composé de trois éléments principaux :

- un module circulaire (virole) constituent la base du four ;
- un second module d'un diamètre légèrement supérieur et posé sur l'élément de base dans une cornière prévue à cet effet.
- un couvercle tronconique, posé dans la cornière du second élément dont la partie supérieure est obturée par un tampon mobile.

Le four est posé sur huit boîtes-événements identiques, conçues pour recevoir une cheminée amovible. L'étanchéité est entièrement réalisée avec du sable, coulé dans les cornières des modules et élevé en talus à la base entre les événements.

ii. Contraintes

La fabrication nécessite une capacité locale de production métallique cylindrique (rouleuse, cintreuse). Le four peut se détériorer assez rapidement s'il est utilisé sans grande attention, étant donné les contraintes thermiques importantes que subissent les tôles. C'est essentiellement la virole du bas qui subit les plus hautes températures. Il est donc recommandé d'utiliser une tôle d'environ 3 mm d'épaisseur pour sa fabrication. En ce qui concerne la virole supérieure et le couvercle, une épaisseur de l'ordre de 1,5 à 2 mm est suffisante car les contraintes thermiques y sont moindres et il faut que le poids de chacun de ces éléments ne soit pas trop élevé pour qu'ils soient facilement manipulable par deux hommes.

iii. Mise en œuvre

- Assemblage et chargement du four

La section inférieure du four est roulée jusqu'à l'emplacement préparé, et mise en position de travail. En utilisant une perche en bois comme levier, on introduit en dessous les huit conduits d'air, côté ouvert

vers le bas, radialement à intervalles équidistant, ce qui se fait facilement en plaçant les quatre premiers à intervalle de 90° et les quatre autres entrent. Les conduits doivent pénétrer d'au moins 25cm à l'intérieur du four pour éviter une surcharge de la paroi.

Le collet situé sur le dessus du conduit ne doit pas être incliné vers la paroi du four, sinon il sera difficile d'y emboîter la cheminée une fois le four assemblé. Lorsque les conduites sont en place il faut vérifier que leur ouverture est bien dégagée.

- Constitution de la grille

On commence à charger le fond du four en s'assurant que les extrémités des conduits et les espaces ne sont pas obstrués par les bois. Pour cela, on fait reposer la charge sur les longerons, qui sont des rondins de diamètre moyen (10 à 15 cm) disposés radialement comme les rayons d'une roue. Cette disposition des bois joue un rôle de grille de distribution d'air.

- Dispositif d'allumage par le bois

Pour l'allumage par le bas, du bois sec et de déchets inflammables sont placés au centre.

- Chargement du bois dans le four

Par dessus ces matériaux d'allumage, on pose en croix sur les longerons des bois de petit et moyen diamètre et des fumerons (bois incomplètement carbonisés provenant d'une fournée précédente). Cette première couche est complétée par d'autres bois de petit et moyen diamètre couvrant tout le long.

- Allumage du four

Un bout de bois enflammé jusqu'au centre de la grille. Des braises peuvent aussi être versées par l'ouverture du couvercle.

Les joints entre les sections du four sont remplis de sable ou de terre et les cheminées sont mises en place. Les gaz de combustion, aspirés par le tirage, descendent de la paroi extérieure du four et s'échappent par les cheminées. L'air et les gaz brûlés circulent dans des directions opposées, le tirage est dit inversé.

- Contrôle de la carbonisation

Toutes les cheminées doivent émettre une colonne de fumée blanche épaisse 15 à 30 minutes après qu'on ait établi le tirage inversé. Il est recommandé que le four soit installé sous un abri afin d'éviter les différences de température. Pour éviter que de grandes quantités d'eau en évaporation n'éteignent les points d'allumage, on doit boucher temporairement les entrées d'air sur le côté chaud du four. Cela

attirera le feu vers le côté le moins chaud. Une fois que la température aura remonté, on rebouche les ouvertures.

Lorsque l'on utilise du bois humide, ou quand on travaille par temps de pluie, la phase de carbonisation risque de se prolonger jusqu'à 48 heures.

Au cours de la carbonisation, il faut prêter attention aux cheminées, à la quantité et à la qualité de la fumée. L'absence de fumée signifierait un bouchage de la cheminée. Il faut donc déboucher le conduit.

8 à 10 heures après l'allumage du four, les cheminées doivent être transférées sur les quatre conduits adjacents de telle sorte que les conduits d'entrée d'air deviennent des conduits de sortie d'air et vice versa. La carbonisation est terminée lorsque la couleur de la fumée de toutes les cheminées prend une teinte bleutée et devient presque limpide ; ceci se produit environ après 16 à 24 heures après allumage. La surface du four avoisine 150 à 200 degrés Celsius.

- Défournement

Le four ne doit être ouvert que si son contenu est refroidi.

Si le four reste encore chaud après un refroidissement durant 24 heures, c'est que l'étanchéité n'a pas été réalisée.

Par ailleurs, il existe plusieurs variantes de ce four et des améliorations sont encore possibles pour contrôler le niveau d'avancement de la carbonisation.

D'ailleurs, le four de type Mark en est une des variantes.

iv. Cas du four métallique de type Mark

Les fours forestiers métalliques transportables ont été inaugurés au début du siècle. Ce matériel de carbonisation du bois permet par rapport aux meules, aux fours en fosse et aux fours aériens en terre :

- de réduire la durée du cycle de carbonisation.
- de diminuer la pollution de charbon de bois par la terre et le gravier.
- d'améliorer le rendement.

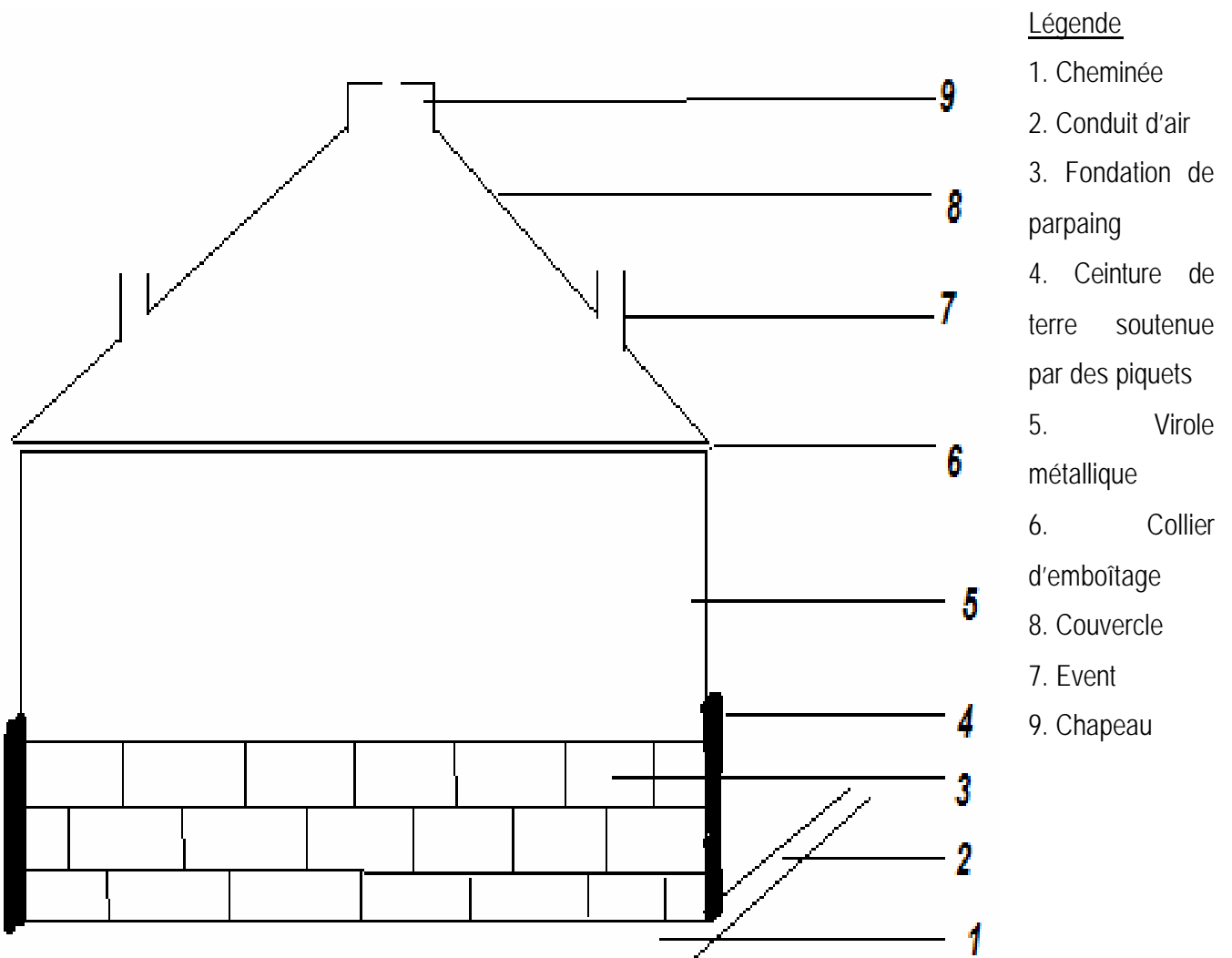
Les fours de type Mark sont des fours métalliques pouvant être roulés jusqu'au lieu de coupe de bois.

Ils ont surtout l'avantage de fonctionner en toute saison. Bien que ce matériel permette une amélioration de la production, il reste encore peu satisfaisant. Il ne permet ni la récupération des sous-produits ni celle de la chaleur dégagée.

Le rendement demeure relativement faible, 20 à 25% dans la meilleure condition (EARL, 1974 cité par KANHONOU, 2006).

Les sous-produits comme les goudrons sont entièrement brûlés et les produits volatils perdus.

- Construction du four Mark de Toffo



Coupe du four de type Mark (Adapté de Kanhonou, 2006)

Ce four est érigé en métal (fer) reposant sur des blocs de parpaings de ciment. Il consiste en une virole (section cylindre), de 2,40 m de diamètre intérieur et de 1 m de hauteur s'appuyant sur une fonction en parpaings de 0,75 m de hauteur ; une ceinture de terre soutenue par une latte de piquets entoure la fonction qui a le même diamètre intérieur que la virole.

La virole est surmontée d'un couvercle conique avec un chapeau. A la partie inférieure du four, faite de parpaings de ciment, son aménagés huit conduits dispersés radicalement. Les conduits sont ouverts ou fermés du sable par le charbonnier afin de permettre à l'air d'entrer ou aux gaz de s'échapper selon les cas.

Quatre cheminées sont fixées aux conduits de façon alternante au moment de l'inversion du tirage. Les cheminées forment chacune un angle de 40° environ avec le sol.

Au niveau du couvercle sont quatre événements munis de chapeau et peuvent être ouverts ou fermés selon les besoins. En général, toutes les essences qui ont une densité supérieure ou égale à 0,5 donne qualité de charbon de bois domestique. Selon EARL (1974 cité par KANHONOU, 2006), six (6) stères de bois pèsent environ 4 tonnes à 100% d'humidité. Ici, environ sept (7) stères de bois sont enfournés à chaque cycle de carbonisation.

Plus le morceau de bois est petit, plus vite la carbonisation se réalisera. Il a été prouvé qu'en dessous de 15 cm de diamètre, une longueur de plus ou moins 30 cm est la taille pratique d'un rondin. Le rondin peut atteindre les dimensions de 25cm et 50 cm de long dans un four aérien métallique.

La taille du bois enfourné dans le four Mark de Toffo varie 5cm à 35cm de diamètre, et de 100cm de longueur.

4.5. Recommandations et propositions d'améliorations des technologies

Une série de propositions est suggérée afin d'améliorer les technologies (techniques, savoir-faire et infrastructures technologiques) de production du bois de feu et de charbon de bois.

4.5.1. Améliorations de la production de bois de feu

Les améliorations que l'on peut apporter à ce niveau concernent des outils utilisés, les modes d'exploitation, le choix des essences et la confection des fagots.

Il est conseillé d'utiliser des outils tranchants ou bien aiguisés. Ces outils doivent être de faible épaisseur en vue de limiter les pertes lors des coupes:

- Hache bien affûtée
- Machette bien aiguisée

Il est également recommandé l'utilisation si possible des scies en arc qui donnent de bons résultats et sont disponibles sur le marché et sont moins chères. Elles permettent d'avoir de section de coupe uniforme. .

En addition, l'utilisation de ces outils doit s'accompagner de bonnes techniques de coupe des arbres. Il est proposé de laisser sécher le bois lorsqu'il est prélevé vert, puis de procéder à un bon entreposage avant d'éviter les attaques par la pluie, les termites et les insectes xylophages.

En ce qui concerne les modes d'exploitation, il est évident qu'il faut d'abord récupérer les arbres morts. Ensuite, le fonctionnement des sites sylvicoles fournirait des déchets d'exploitation qui seront transformés en bois de feu. Les informations enregistrées à la scierie de Saclo montrent qu'il y a 57% de la matière ligneuse qui est destinée au bois de feu.

Il est suggéré que le projet Bois de Feu mettent à la disposition des producteurs privés de bois énergie disposent de plantations de teck et autres mettent à la disposition des outils modernes (machines, engins) pour le débardage et l'abattage et le découpage. Ces dispositions faciliteront la transformation, le transport des produits forestiers.

Il serait donc judicieux que les opérations d'exploitation de bois d'œuvre, de bois de service et de bois de feu se déroulent en même temps pour limiter les gaspillages et optimise les rendements. Le diamètre minimum recommandé pour le bois de feu est 5 cm.

Le choix des essences destinées pour le feu doit porter sur celles dont les pouvoirs calorifiques sont élevés (voir annexe 4 et 6) comme le *Vittelaria paradoxa*, le *Pterocarpus erinaceus*, le *Prosopis africana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Zanthoxylum zanthoxyloides*, *Dialium guineense*, *Anacardium occidentale*, *Casuarina quisetifolia*, etc.

Sur le plan technique, il faut produire des fagots de petites, moyennes et grandes tailles et des stères afin de fournir aux consommateurs un large éventail d'échantillons accessibles.

4.5.2. Améliorations de la carbonisation

Compte tenu du faible rendement de la carbonisation artisanale, une attention particulière et des mesures urgentes s'imposent. En effet, la fabrication du charbon de bois dans les conditions actuelles entraîne une énorme perte. Ceci est d'autant plus préjudiciable que ce combustible, très commode est fortement demandé en milieu urbain. Ainsi, Doat, 1986 recommande pour le bois torréfié, un produit intermédiaire entre bois et charbon.

Pour améliorer le processus de carbonisation, plusieurs actions sont à combiner : il s'agit du choix des essences, de la sélection de la charbonnière, du savoir faire de la carbonisation.

- **Choix des essences**

De façon générale, toutes les essences peuvent être carbonisées pour produire un charbon utilisable. Cependant, les bois légers ne donnent que des charbons tendres. Il s'agit de *Parkia*, *Lonchocarpus*, *Albizia*, *Tectona*. Pour obtenir du bon charbon, il faut que le bois soit bien mûr, lignifié, dense. Si les opérations de carbonisation se déroulent dans de bonnes conditions, le charbon produit est lourd dense et peu friable. Il est recommandé de carboniser des espèces de densités similaires et éviter de mélanger les bois denses et ceux légers dans une même charge.

- **Teneur en eau**

La majorité des charbonniers rencontrés laissent sécher le bois avant de le carboniser ; mais ils ne savent pas à quel taux d'humidité acceptable il faut carboniser le bois et avoir un bon rendement. Comme on l'a exprimé plus haut il est fortement déconseillé de carboniser du bois vert fraîchement coupé. Il est recommandé de procéder à un séchage d'au moins 10 à 15 jours selon l'ensoleillement pour disposer des bois ayant au plus 30% en teneur d'eau.

Aussi, on préconise que l'on ne carbonise ensemble que les bois ayant pratiquement les mêmes taux d'humidité pour minimiser le taux d'incuits.

- **Dimensions du bois**

La vitesse de carbonisation est en relation avec la taille des bois. Les gros morceaux de carbonisent très lentement. Quant aux petits bois, la carbonisation est évidemment rapide mais le charbon a peu de valeur marchande. A ce propos, il est conseillé de les carboniser à part dans une charbonnière spécifique comme les fours en briques cuites pour la casamançaise. Ainsi, des déchets d'exploitation

des scieries (petits bois secs) peuvent être carbonisés mais cela nécessite un bon savoir faire du charbonnier

- **Choix de la charbonnière**

Chacune de ces enceintes a ses propriétés, ses avantages et ses inconvénients. Pour maximiser la rentabilité de la carbonisation, il faut savoir choisir la charbonnière en fonction de la disponibilité, la nature et des dimensions du bois. Le choix est aussi conditionné par le pouvoir d'investissement du charbonnier et son degré de connaissances des propriétés des charbonnières.

Ainsi, dans les zones peu boisées, il est conseillé des fours métalliques, mobiles, déplaçables de zone en zone. Mais leur construction nécessite un grand investissement

Les fosses et les meules aériennes sont faciles à aménager et sont possibles sur des sols bien drainés, non rocailloux ; ils peuvent être construits d'endroits en endroits selon la disponibilité des bois.

Les fours en briques ou en terre battue sont fixes et à usages multiples. Leur rendement est meilleur mais nécessite un investissement. Ils sont fortement conseillés.

Terminons cette section en résumant quelques principes et conseils pour la fabrication du charbon :

- Essayer de former les charbonniers avant qu'ils ne débutent leur activité ;
- Trier les bois selon leurs dimensions ;
- Eviter de carboniser du bois humide et sec à la fois ;
- Bien choisir la charbonnière adéquate selon la nature et les dimensions des bois à carboniser ;
- Si la meule est sphérique, mettre les plus gros bois au centre ;
- Pour une bonne répartition de l'air dans l'enceinte, prévoir une grille d'admission d'air ;
- Veiller au tirage inversé de l'air et de la fumée ;
- Utiliser la couleur de la fumée pour suivre la carbonisation et savoir quand fermer les événements ;
- Récupérer les poussières/débris de charbon et les transformer par densification en briquettes afin de rentabiliser davantage la carbonisation.

En dehors des améliorations évoquées précédemment au niveau des actions correctives dans la production de charbon, les technologies (techniques, savoir-faire et infrastructures technologiques), nous recommandons les mesures suivantes :

- Des actions démonstratives des bonnes pratiques dans les localités de forte production de charbon au Bénin ; il s'agira d'une série de formations stratégiques et techniques en direction des charbonniers afin de les outiller pour une meilleure conduite du processus de carbonisation et réduire les pertes de tout ordre et augmenter les rendements de production ;

- Des séances de vulgarisation en vue de susciter l'adoption des technologies performantes ;
- Exiger des charbonniers la mise en place de plantations d'essences aux caractéristiques adéquates pour la production du charbon de bois en négociation avec les communes ;
- le transfert et la diffusion de la technologie de densification des débris issus de la carbonisation et autres méthodes de valorisations des sous produits issus de la carbonisation.

4.5.3. Autres suggestions relatives à la politique énergétique

La politique énergétique du Bénin devrait consister à assurer la fourniture de l'énergie aux conditions de coût et de sécurité d'approvisionnement optimales (Direction Générale de l'Energie, 2004). A cet effet, il s'impose de redresser la situation actuelle dans le secteur de la biomasse énergie par l'exécution des mesures ci-après :

- Procéder davantage à l'aménagement et à la gestion écologiquement rationnelle des formations naturelles fournissant les plus importantes quantités de bois-énergie au Bénin ;
- Réorganiser l'exploitation forestière sur la base de schémas directeurs d'approvisionnement des centres urbains et par la création en zones rurales de marchés contrôlés de bois-énergie;
- Développer des actions de valorisation des différents types de déchets végétaux produits en zone forestière et dans les centres urbains qui sont gaspillés actuellement ;
- Encourager les activités de plantation de bois qui vise à promouvoir une offre additionnelle de bois.

4.5.4. Stratégie de vulgarisation des meilleures technologies

Il est important de mettre en place un programme de transfert de technologies afin de produire et économiser de la matière ligneuse et préserver les forêts. En clair, les interventions devront porter sur :

- la formation des producteurs de bois énergie notamment des charbonniers par des processus d'apprentissage (approche andragogique);
- l'organisation des acteurs (exploitants de bois de feu, charbonniers, etc) en filière ;
- l'amélioration de l'efficacité énergétique par la diminution de la consommation du bois-énergie au niveau des ménages et dans les exploitations agroalimentaires dont les besoins en bois énergie sont élevés, par une politique favorisant l'accès à des foyers économiques et des autocuiseurs ;
- la vulgarisation des technologies de substitution (gaz butane, pétrole lampant) au bois-énergie afin de réduire une partie des consommations du bois-énergie, puis amoindrir

la dépendance excessive des ménages par rapport au bois-énergie notamment dans les centres urbains vers lesquels est acheminé le bois-énergie.

5. Conclusion

L'amélioration des systèmes de production du bois énergie est une préoccupation qui vise la gestion durable des ressources forestières. Les enquêtes et observations directes montrent que les processus actuels de production du bois de feu et surtout du charbon ne sont pas performants. Il en résulte des gaspillages notoires des ressources ligneuses.

Cette situation est due principalement à l'utilisation d'outils rudimentaires, à la mise en pratique de méthodes archaïques et au faible accès aux infrastructures technologiques adéquates rentables d'une part et d'autre part au manque de formation et de suivi des différents acteurs de la filière de production du bois énergie. Ces derniers sont, pour la plupart, livrés à eux-mêmes dans la réalisation de leurs opérations de production et ne bénéficient d'aucun encadrement technique réel et soutenu pour le perfectionnement de leurs connaissances tant théoriques que pratiques.

Somme toute, il n'existe pas de solution miracle. La situation actuellement est techniquement difficile, structurellement désorganisée, puis écologiquement gaspilleuse

Dans ce rapport, après l'état des lieux, des améliorations sont suggérées afin que les divers processus de production du bois énergie soient plus économiques et performants et que les acteurs soient informés, puis formés. Ainsi, des renforcements de capacités sont nécessaires afin de susciter des changements de comportements et introduire des innovations adaptées aux besoins des acteurs. Pour ce faire, il convient de :

1. Favoriser un accès aux outils et innovations technologiques performants aux producteurs de bois-énergie,
2. Constituer les différents acteurs en groupements professionnels pour un début d'organisation de la filière,
3. Concevoir et mettre en œuvre des modules de formations théoriques et pratiques aux producteurs sur les améliorations et l'adoption de nouvelles technologies de production de bois énergie,
4. Réaliser le suivi des producteurs après formations,
5. Planifier des actions démonstratives afin de faciliter la diffusion des innovations énergétiques (par exemple des voyages d'études pour des échanges d'expériences peuvent être organisés).

L'ensemble de ces propositions aidera certes le Projet Bois de Feu II à fournir du bois-énergie aux grands centres urbains du Bénin et économiser la matière ligneuse ; ainsi on assistera **à la fois** à la satisfaction des besoins en bois-énergie (diminution de la demande) et la protection de l'environnement.

Références bibliographiques

- Association Bois de Feu, Mise en œuvre de techniques de carbonisation simples et améliorées : Fiche technique, 1985.
- Bertrand, A. « les nouvelles politiques de foresterie en milieu rural : règlementations foncières et forestières et gestion des ressources ligneuses naturelles dans les pays de la zone soudano-sahélienne, Nogent, 1984
- Clément, J. ; S. Strasfogel,. Disparition de la forêt: quelles solutions à la crise de bois de feu, Editions Harmattan, 1986
- Direction de l'Énergie, Politique et stratégie énergétique du Bénin, MMEH, 2003
- Direction Générale de l'Énergie, Tableau de bord de l'énergie 2004. MMEH, 2005
- Djossou, T., Contribution à l'amélioration du rendement de la production du charbon dans la commune de Kétou. Mémoire de fin de cycle du Lycée Mèdji de Sékou, 2003
- Doat, J., Problèmes de charbon de bois dans la République Populaire du Bénin, FAO, 1981
- Doat, J., « Un nouveau produit énergétique pour les pays en développement : le bois torréfié » Revue Bois et Forêts des Tropiques no 207, 1986.
- Dossou, B et al. Identification des options prioritaires d'adaptation aux changements climatiques et élaboration des fiches de projets dans les secteurs « énergie » et « zone côtière », PANA, janvier 2007
- Dossou, B., Cours sur la gestion de l'énergie, Université d'Abomey-Calavi, 2004
- Dossou, B., Problématique et politique du bois-énergie au Bénin. Thèse présentée à l'école des gradués de l'Université Laval pour l'obtention du PhD, 1992
- Dossou, B. & K. Dossou, Impacts des risques climatiques sur les services énergétiques au Bénin. OFEDI. 2005
- Dossou, B. & J-P Profizi., « Copeaux et sciure de bois au Bénin » revue Bois de feu informations, N°21, 1987, Nogent, pp 6-8
- Dossou, K, Valorisation socio-économique des Produits Forestiers Non Ligneux dans le Nord-ouest Bénin : importance du *Blighia sapida* (faux acadjou) dans les économies locales, Thèse d'Ingénieur Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques – Université d'Abomey-Calavi (Bénin), 2003
- Dossou, B, Etude sur l'exploitation, la carbonisation et la commercialisation du bois de feu dans la zone de la forêt classé de Toui Kilibo, PGRN, avril 1995
- FAO, 'La carbonisation du bois par fours transportables et installations fixes', Document d'information destiné aux Commissions Forestières Régionales, FAO/867, 1955
- FAO, Techniques simples de carbonisation, Etude FAO forêt 43 , 1983
- FAO, Archives de la FAO, www.fao.org
- KANHOHONOU, N., Programme Technologies Appropriées de production de bois-énergie. Projet bois de feu- Phase II , Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, Mars 2006
- Postel –Vinay, O., Alerte au bois dans le Tiers-monde, Revue Sciences et avenir N°422, avril 1982, pp 44-49

Annexes

Recensement et évaluation des technologies de production de bois énergie

Projet Bois de Feu phase II

Termes de référence

Contexte et justification

Au Bénin, les ressources forestières sont l'objet d'une dégradation accélérée due à divers facteurs anthropiques dont les feux de brousse, les défrichements non contrôlés, le surpâturage, l'exploitation irrationnelle, etc.

Cette situation a engendré des difficultés énormes d'approvisionnement en bois, notamment en combustibles ligneux dans le sud-Bénin.

Comme stratégie d'atténuation de ces contraintes, le gouvernement a initié et mis en œuvre avec l'appui des partenaires au développement, le Projet Plantation de Bois de Feu dans le Sud-Bénin, lequel compte à son actif, d'importants acquis.

Dans la perspective du renforcement et de l'amplification de la dynamique ainsi engendrée, le Projet Bois de Feu phase II (PBF-II) a été préparé.

D'une envergure nationale, ce projet a, à charge, plusieurs missions parmi lesquelles figure l'aménagement de plantations domaniales et privées et de forêts naturelles du domaine protégé en vue de l'approvisionnement de huit (08) centres urbains en bois énergie. Mais cet approvisionnement ne saurait être durable si les technologies de production du bois énergie ne sont pas améliorées.

En effet, pour produire du bois énergie (bois de feu et charbon de bois), diverses technologies sont utilisées et certaines possèdent un faible rendement et provoquent un gaspillage de la ressource ligneuse. Une gestion rationnelle de celle-ci impose donc la nécessité de développer des actions visant l'amélioration des technologies de production du bois énergie. Une étape importante dans cette voie passera par l'examen de la situation existante donc un recensement et une évaluation des technologies actuelles mises en œuvre en vue d'en dégager les caractéristiques propres à chacune d'elles et leurs aptitudes spécifiques à l'égard d'un certain nombre de critères comme l'économie de bois, le rendement, les difficultés de mise en œuvre, etc.

C'est pour aider à la réalisation de cette tâche que le Projet Bois de Feu phase II (PBF-II) lance la présente étude qui vise l'amélioration du système de production du bois énergie au Bénin.

Objet de l'étude

La présente prestation a pour objet, l'inventaire et l'évaluation des technologies actuelles de production de bois énergie afin d'en dégager les plus performantes par rapport à un certain nombre de critères tels que l'économie de ressource (moindre gaspillage), le rendement en produits finis, les contraintes de mise en œuvre, etc.

Résultats attendus

La présente prestation devra aider à l'obtention des résultats ci-après :

- le répertoire des technologies actuelles de production du bois énergie (méthodes, outillages et modalités de mise en œuvre) est élaboré ;
- la description des différentes étapes d'exécution de chaque technologie est effectuée et illustré par des documents photographiques appropriés ;
- l'évaluation des différentes technologies est réalisée à la lumière d'un certain nombre de critères : économie de ressource, rendement en produits finis, contraintes de mise en œuvre (en facilité d'application), etc. ;
- la classification des technologies actuelles est effectuée et la liste de celles qui se révèlent les plus performantes est établie ;
- les technologies à vulgariser et celles à améliorer sont identifiées ;
- les recommandations relatives à la stratégie de vulgarisation de certaines technologies sont proposées.

Mandat général

D'une façon générale, le consultant fournira une documentation indiquant la stratégie envisagée pour l'exécution de sa mission. Cette documentation inclura entre autres :

- La description du profil du consultant principal et des autres membres de son équipe ;
- Le chronogramme d'exécution de la mission ;
- Un protocole de recherche bien détaillé sur la base des termes de référence et incluant la méthodologie, les techniques et les outils d'analyse. Ce protocole sera soumis à l'équipe technique du PBF-II pour validation.

Mandat spécifique

Sous la supervision du Directeur du PBF-II, le prestataire devra s'acquitter des tâches spécifiques ci-après :

- Procéder à une enquête en vue d'identifier les technologies actuelles de production du bois énergie utilisées au Bénin ;
- Elaborer le répertoire des technologies actuelles de production du bois énergie (méthodes, outillages et modalités de mise en œuvre) ;
- Effectuer la description des différentes étapes d'exécution de chaque technologie et l'illustrer à l'aide de documents photographiques appropriés ;
- Réaliser l'évaluation des différentes technologies à la lumière d'un certain nombre de critères : économie de ressource ligneuse, rendement en produits finis, contraintes de mise en œuvre (ou facilité d'application), etc. ;
- Procéder à la classification des technologies actuelles et établir la liste de celles qui se révèlent les plus performantes ;
- Identifier les technologies à vulgariser et celles à améliorer ;
- Formuler les recommandations relatives à la stratégie de vulgarisation de certaines technologies.

Profil de l'équipe de consultation

L'équipe de consultation sera composée de :

- un (01) Ingénieur Forestier (niveau BAC + 5 ans) et spécialisé en technologie du bois et justifiant une expérience pratique d'au moins dix (10) ans dans le domaine de l'évaluation des technologies de production du bois énergie ;
- un (01) agro-socio-économiste (niveau BAC+5 ans), justifiant une expérience pratique d'au moins dix (10) ans en matière d'évaluation des technologies paysannes.

Durée de la prestation

Le prestataire dispose d'un mois pour fournir les résultats de ses travaux.

Rapports

A la fin des travaux, le prestataire déposera cinq (05) exemplaires du rapport provisoire de la consultation. Après amendement et validation par l'équipe technique du projet, le rapport définitif sera fourni en dix (10) exemplaires accompagnés du CD contenant le fichier.

A2 : Questionnaires d'enquête

A2.1. Questionnaire pour producteurs de bois

- 1 Nom enquêteur.....
- 2 Date
- 3 Nom de la localité
- 4 Commune Département
- 5 Sexe de l'enquêté 1 = masculin ; 2 = féminin
- 6 Ethnie : 1=fon/goun ; 2=nagot/yoruba ; 3=mina/adja ; 4=bariba ; 5=Dendi ; 6=Ditamari
- 7 Centres urbains ravitaillés / les produits de la localité
- 8 Age de l'enquêté
- 9 Quelle importance la production de bois revêt pour vous ?
-
- 10 a production du bois est elle pour vous une activité
- 1 = activité Principale..... % de temps consacré
- 2 = activité secondaire..... % de temps consacré
- 11 Que faites vous en dehors de la production du bois
- 1 = agriculture
- 2 = commerce
- 3 = élevage
- 4 = autre
- 12 Produisez vous le bois pour votre propre compte
- 1 = oui ; 2 = non
- 13 Si non, pour qui le produisez vous
- 1 = fonctionnaire pas sur place
- 2 = commerçants pas sur place
- 3 = autres
- 14 Quelle est votre rémunération
- 15 Où coupez vous le bois
- 1 = Forêt domaniale
 - 2 = Forêt privée
 - 3 = Forêt communautaire
 - 4 = Savane
 - 5 = Jachère, précisez âge
 - 6 = Champs

o 7 = Autres précisez

16 En quelles saisons la production du bois de feu est forte

1 = Saison sèche ; pourquoi

2 = Saison pluvieuse ; pourquoi

17 Quelles sont les espèces coupées comme bois énergie dans localité

1 = Souvent coupées.....

2 = Espèces appréciées/les consommateurs et dites pourquoi

3 = Espèces encore bien disponibles.....

4 = Espèces rares.....

5 = Espèces interdites (raison)

18 Quel est l'état actuel des zones de coupes

1 = Bien boisé

2 Peu boisé

3 Très déboisé

19 Quelles sont vos méthodes de coupe/production de bois

1 Bois vert

2 Tuerie par le feu

3 Chablis (bois mort)

4 Défrichage

5 Plusieurs méthodes à la fois

6 Autres

20 Quels sont les outils que vous utilisez souvent

1 Tronçonneuse

2 Scie (précisez)

3 Haches

4 Coupe-coupe

5 Pioches

6 Autres (précisez)

- 21 Décrivez comment vous produisez du bois de feu (les différentes étapes)

- 22 Où stockez vous le bois produit ?
 1 = champ ; 2 = maison = autres
- Décrivez le système de conditionnement

- 23 La coupe du bois engendre-t-il des conflits ?
 1 = oui ; 2 = non
- 24 Si oui quels sont les auteurs de ces conflits
 1- entre vous et autres producteurs de bois
 2- entre vous et propriétaires terriens
 3- autres (précisez)
- 25 Quel est le rapport entre l'arbre abattu et les fagots produits (mesures à réaliser par l'enquêteur : volume de l'arbre, volume de bois produit)

- 26 quelles sont les dimensions des fagots produits
- longueur
 - Diamètre
 - Diamètre moyen du bois
 - Poids moyen des fagots produits
 - Prix de vente selon poids et nature.....
- 27 quelle quantité de bois de feu produisez vous par semaine
-
- 28 prix de vente du bois au niveau du producteur
- 29 prix de vente du bois niveau de la ville
- 30 Que faites vous pour toujours disposez de la matière ligne

- 31 Où et comment conditionnez vous le bois produit ?.....
-
- 32 comment êtes-vous devenu producteur de bois de feu

A2.2. Questionnaire pour les charbonniers

1. Nom enquêteur.....
- 2 Date
- 3 Nom de la localité
- 4 Commune Département
- 5 Sexe de l'enquêté 1 = masculin ; 2 = féminin
- 6 Ethnie : 1=fon/goun ; 2=nagot/yoruba ;3=mina/adja ; 4=bariba ; 5=Dendi ; 6=Ditamari
- 7 Centres urbains ravitaillés / les produits de la localité
- 8 Age de l'enquêté
- 9 Quelle importance la production du charbon revêt pour vous ?

.....

- 10 La production du bois est elle pour vous une activité
 - 1 = activité Principale..... % de temps consacré
 - 2 = activité secondaire..... % de temps consacré
- 11 Que faites vous en dehors de la production de charbon
 1. Agriculture
 2. Commerce
 3. Elevage
 4. Autres
- 12 Produisez vous le charbon pour votre propre compte
 1. oui
 2. non
- 13 si non pour qui le produisez vous ?
 - 1 = un fonctionnaire à la ville
 - 2 = commerçant
 - 3 = transporteurs
 - 4 = Autres
- 14 Où coupez vous le bois transformé en charbon
 - 1 = Forêt domaniale
 - 2= Forêt privée
 - 3 Forêt communautaire
 - 4 Savane
 - 4 Jachère, précisez âge
 - 5 Champs

- 6 Autres précisez
- 15 Quelles difficultés avez-vous actuellement dans la recherche de bois pour le charbon.....
- 16 Comment vous contourner cette difficulté
.....
- 17 En quelles saisons la production du charbon est forte
1. Saison sèche pourquoi
 2. Saison pluvieuse pourquoi
- 18 Quelles sont les espèces coupées pour faire le charbon dans localité
- 1 Souvent coupées.....
.....
 - 2 Espèces donnant bon charbon apprécié/les consommateurs et dites pourquoi
.....
.....
 - 3 Espèces encore bien disponibles.....
.....
 - 4 Espèces rares.....
.....
- 19 Quel est l'état actuel des zones de coupes
- 1 =Bien boisé
 - 2 Peu boisé
 - 3 Très déboisé
- 20 Quelles sont vos méthodes de coupe/production de bois
- 1 Bois vert
 - 2 Tuerie par le feu
 - 3 Chablis (bois mort)
 - 4 Défrichage
 - 5 Plusieurs méthodes à la fois
 - 6 Autres
- 21 Quels sont les outils que vous utilisez souvent
- 1 Tronçonneurs
 - 2 Scie (précisez)
 - 3 Haches
 - 4 Coupe-coupe

- 5 Pioches
- 6 Autres (précisez)

22 Décrivez comment vous produisez du charbon (les différentes étapes)

.....
.....
.....

23 La coupe du bois pour la carbonisation engendre-t-il des conflits ?

- 1. = oui ; 2 = non

24 Si non, quels sont les acteurs de ces conflits

- 1. entre vous et autres producteurs de bois
- 2. entre vous et propriétaires terriens
- 3. autres (précisez)

25 Quel est le rapport entre l'arbre abattu et la quantité de charbon produit (mesures à réaliser par l'enquêteur : volume de l'arbre, volume et poids du charbon produit)

.....
.....

26 Quels sont les types de meules, fosses ou fours utilisés (observez et décrivez à part, prendre photos et mesurer les dimensions : longueur, largeur, profondeur, autres dimensions pour les autres formes)

.....
.....

27 Quel est le rendement de la carbonisation (à mesurer par l'enquêteur : Peser tous les bois de la charge ; mesurer les dimensions des bois à carboniser ; diamètre, longueur, observer leur disposition selon type de meules fours, fosses, prendre photo de chaque étape)

- noter durée de carbonisation selon taille des bois, type de meule
- noter nombre d'évents (trous à air) nature du recouvrement du four (terre, herbe, feuilles vertes)
- observez couleur de la fumée, temps de fermeture des événements, moment de défournement (usage de l'eau ou pas, quels outils sont utilisés)
- noter densité du charbon produit (prendre et emballer 3 échantillons de charbon) pour déterminer densité)

28 Quel est le poids d'un sac.....

29 Quel est le poids/volume des déchets, poussière de charbon

- 30 quel est son prix au lieu de production
- 31 quel est son prix dans le centre urbain
- 32 Quel est le prix de transport.....
- 33 Où conditionnez vous le charbon produit
- 1 = champ
 - 2 = maison
 - 3 Autres
- 34 Décrivez le système de conditionnement, de transport
- 35 Comment êtes vous vos devenu charbonnier
- 1 après une formation
 - 2 a vu faire un parent, un ami , formation sur le tas
 - 3 autres précisez
- 36 Que faire selon vous pour économiser la matière ligneuse
- 1 = Usage des outils adéquats énumérez les
 -
 - 2 = Amélioration des méthodes de production ; en quoi faisant
 -
 -
 - 3 Choix des espèces appropriées
 - 4 Bonne conduite des opérations
 - 5 Formations préalables
 - 6 Recyclages périodiques
 - 7 Autres , précisez

Autres Commentaires

A3 : Pouvoir calorifique de quelques espèces usuelles utilisées au Bénin

N	Type de bois énergie	Espèce	Nom Fon	Pouvoir calorifique (calories/gramme)
1	Essences	<i>Casuarina equisetifolia</i>	filao	4337
2		<i>Cassia sieberiana</i>	adouwé	4118
3		<i>Anogeissus leicarpus</i>	hlihon	4075
4		<i>Terminalia glaucescens</i>	sotinvè	4190
5		<i>Pterocarpus erinaceus</i>	koso	4215
6		<i>Albizia zygia</i>	agla	4120
7		<i>Prosopis aficana</i>	kakè	4124
8		<i>Vittelaria paradoxum</i>	Ouko, kotoblè	4050
9		<i>Tectona grandis</i>	tèki	4408
10	Déchets végétaux et résidus agricoles	Sciure de <i>Tectona grandis</i>	idem	3900
11		Sciure de <i>Khaya grandifolia</i>	zounza	4506
12		Sciure de bois mélangés	–	4576
13		Tourteaux de palme	Delian	5795
14		Coques de palmiste	dekinkan	6291
15		Noix de palme non cassées	dekin	6768

Source : Tiré de Dossou (1992)

A4 : Méthode de calcul du coefficient K de conversion du bois en charbon

A4.1. Calcul sans l'amélioration des techniques de carbonisation et de combustion

Départ :	Bois	Charbon
Transformation :	100kg	100 kg de bois carbonisation avec un rendement de 15%
Quantité fournie :	100kg	15 kg
P. C. S. :	4.500 kcal/kg	7.000kcal/kg
P. C. U. :	10%	20%
Quantité d'énergie utile :	4.500 kcal x 100 x 0,1 ; = 45.000kcal	7.000 kcal x 15 x 0,2 21.000 kcal
	$K1 = \frac{45.000}{21.000} = 2,14$	

A4.2. Calcul avec l'amélioration des techniques de carbonisation et de combustion

Départ :	Bois	Charbon
Transformation :	100kg	100 kg de bois carbonisation avec un rendement de 30%
Quantité fournie :	100kg	30 kg
P. C. S.:	4.500 kcal/kg	7.000kcal/kg
P. C. U. :	18%	30%
Quantité d'énergie utile :	4.500 kcal x 100 x 0,18 ; = 81.000kcal	7.000 kcal x 30 x 0,3 63.000 kcal
	$K1 = \frac{81.000}{63.000} = 1,29$	
	K1 = 1,29	

A5 : Liste des espèces utilisées comme bois énergie et leur qualité

Légende : ++++ très bonne qualité ; +++ bonne qualité ; ++ qualité moyenne ; + qualité médiocre

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
ANACARDIACEAE						
1	<i>Anacardium occidentale, linn.</i>	++++	Pomme d'acajou	Akadjou	Youroubou –somba	Hémé
2	<i>Haematostaphis Barteri, Hook. f.</i>	+++	-	-	-	-
3	<i>Lannea acida, A.Rich</i>	+++	-	-	-	-
4	<i>Lannea kerstingii, Engl. et K. Krausse</i>	+++	-	Zounzoun-kantou	Hioronédou	Akohou
5	<i>Lannea nigritiana, (Sc. Elliot) Keay</i>	+++	-	-	-	-
6	<i>Mangifera indica, L</i>	++++	Manguier	Amanga	Mango	Mango
7	<i>Pseudospondias microcarpa, (A. Rich.) Engl.</i>	++	Prune mombin	Akikon asu	-	Siga
8	<i>Spondias mombin</i>	++	-	Kpatin akikon	San mororou darya	Okika, iyèyè
ANNONACEAE						
9	<i>Annona muricata, Linn</i>	+	Corrosole	Yovo wingloué	-	-
10	<i>Annona reticulata, Linn</i>	+	Coeur de boeuf	Yovo wingloué	-	-
11	<i>Annona squamosa, Linn.</i>	+	Pomme cannelle	Yovo wingloué	-	-
12	<i>Annona senegalensis, pers. Var. Senegalensis</i>	+	Annone du Sénégal	Wingloué	Batoko, hariti	Ambo, aéré
13	<i>Uvaria chamae, P. Beauv.</i>	++	Banane de singe	Gbanna, hohovi-kwékwé	tijera	Eruju, oko, aja

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
APOCYNACEAE						
14	<i>Alstonia boonei, De Wild</i>	+++	-	Afintin	-	-
15	<i>Rauvolfia vomitoria</i>	++	Arbre à soufre	Lètinwé, lè asu, léwè	-	Ouada, rebe asoteyeje
AVICENNIACEAE						
16	<i>Avicennia germinans, L.</i>	++	Palétuvier blanc	Wété	-	agbonu
BIGNONIACEAE						
17	<i>Stereospermum kuntianum, cham.</i>	+++	Baton de sorcier	N'sandi	Gourou, bonboula	Adjadin, adjadé
CASUARINACEAE						
18	<i>Casuarina equisetifolia, forst</i>	++++	filao	filao	filao	filao
CEASALPINIOIDEAE						
19	<i>Afzelia Africana, sm.</i>	+++	-	Kpapka djidé	Hébou	Akpa
20	<i>Berlinia grandiflora (Vahl) Hutch. Et Dalz.</i>	+++	-	-	-	-
21	<i>Burkea africana Hook.</i>	++++	-	Adjassi kakê	Hiarouguéhou	Atchiakpa
22	<i>Cassia siamea, Lam.</i>	++	Sindian	Cassia	Cassia	Cassia
23	<i>Cassia sieberiana Dc.</i>	++	Casse de siéber	Nonvi mado nonvi	Tina	Efo, ifo, aridan
24	<i>Crudia senegalensis, Planch. Ex Benth.</i>	++	-	-	-	-
25	<i>Cynometra megallophylla, Harmas</i>	++++	-	Botin	-	Fonfomi
26	<i>Cynometra vogelitti, Hook. F</i>	++++	-	-	-	-
27	<i>Daniellia oliveri, Hutch. Et Dalz.</i>	++	Santan	Za	Niabou, niandiou	Yla, hia
28	<i>Daniellia ogea, oliv.</i>	++	-	-	-	-
29	<i>Delonix regia, (Boj. Ex Hook) Raf</i>	+++	Flamboyant	-	-	-
30	<i>Detarium microcarpum, Guill. Et Perr.</i>	+++	-	Dakpa	Bètègoudou,	Iyèdé
31	<i>Perr.</i>	-	-	Dakpa	béhérou	-
32	<i>Detaruim senegalense, T. F. Gmel.</i>	+++	-	-	-	Agni, anwin

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
33	<i>Dialium guineense</i> Willd.	++++	-	Assisouè	Bessènu	Èrun
34	<i>Erythrophleum africanum</i> , (Welw. Ex Benth.) Harms	+++	Poison de Guinée	Tali	-	-
35	<i>Erythrophleum guineense</i> , G. Don.	+++	-	Tali	Dion	-
36	<i>Isoberlinia tomentosa</i> (Harms) craib. Et Stapf	+++	-	-	-	-
37	<i>Isoberlinia doka</i>	+++	-	Kpakpa lolo	Gbaba	-
38	<i>Piliostigma thonningili</i> , (Schum) Mine Redh	++	-	Klon	Bagounou,	Abafé
	<i>Tamarindus indica</i> L.	+++	tamarinier	djêvivi	monosso	adjabon
CHRYSOBAKLANACEAE						
40	<i>Chrysobalanus icaco</i> , subsp: <i>ellipticus</i> (So landex Sab) de Souza	++	-	Kokoué	-	-
41	<i>Chrysobalanus icaco</i> , subsp: <i>orbicularis</i> (Schum) de souza	++	Icarquier, prunier icaque	Kokoué	-	Ikaté, amukan, awon
42	<i>Maranthes polyandra</i> (Benth) Prance	++	-	Wantoun wiwi	Bakoukou	Kéroko, djikossi Agage, aiye aguege
43	<i>Maranthes robusta</i> (oliv.) Prance	+++	-	-	-	-
44	<i>Parinari congensis</i> , F. Didr.	-	-	-	-	-
45	<i>Parnari curatellifolia</i> , Planch. Ex Benth.	++	-	Wantoun wéwé	Kpakoukou, kpasson	Idiofu, tchaoko
COMBRETACEAE						
46	<i>Anogeissus leiocarpus</i> (DC) Guill. Et Perr	++++	Bouleau d'Afrique	Hlihon	Kakara	Agni
47	<i>Combretum collinum</i> , Fresen	+++				

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
48	<i>Combretum ghasalense</i> Engl. et Diels	+++		Dosso,mangbèvidé	Takounta	Bodomi
49	<i>Combretum glutinosum</i> , Perr., ex DC	+++		Dosso	Bangoubogorou	Bodomi
50	<i>Combretum hypolinum</i> Diels	+++		Dosso	Bouhangossa	Bodomi
51	<i>Combretum lamprocarpum</i> , Diels	+++		Dosso	Sinabidégo	Bodomi
52	<i>Combretum molle</i> , R. Br. Ex G. Don	+++			Hinou, badou sounou, doun	Bodomi
53	<i>Combretum nigricans</i> , Var.elliotii(Engl. et Diels) Aubr.	+++		Coudè-coudè	Koubougbonfao	bodomi
54	<i>Combretum nigricans</i> , Var. nigricans	+++				
55	<i>Laguncularria racemosa</i> Gaertn.	+++	Palétuvier noir	Azotuwé		
56	<i>Pteleopsis suberosa</i> Engl. et Diels	+++		Kluiklui	Kouloukoula	
57	<i>Terminalia avicennioides</i> , Guill.et Perr.	+++		Alotoun djèsaman	Bêro	
58	<i>Terminalia catapa</i> , L.	+++	Badamier	Yovoziin		
59	<i>Terminalia glaucescens</i> , Planch.ex Benth.	+++		Alotoun		idiolin
60	<i>Terminalia laxiflora</i> Engl.	+++		Alotoun	bêro	
61	<i>Terminalia macroptera</i> Guill.et Perr	+++		Alotoun kpavou		
62	<i>Terminalia superba</i> Engl.et Perr	+++	Fraké	aziintin		
DICHAPETALACEAE						
63	<i>Dichapetalum guineense</i>	++		gbaglo		esao

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
EBENACEAE						
64	<i>Diospyros abyssinica</i> (Hiern) F.White	+++		Kinwi		
65	<i>Diospyros mespiliformis</i> , <i>Hochst.ex A. DC</i>	+++	Ebénier africain	kinwi	ouiboubigabou	Igué, onuwo iguidudou
66	<i>Diospyros tricolor</i> (Schum. Et Thonn) Hiern	+++				
EUPHORBIACEAE						
67	<i>Bridelia ferruginea</i> , Benth	++		Hontinkokwé	Kpékpéla	Hira
68	<i>Hymenocardia acida</i> , Tul.	++++		Sotinvê	Séma, sénéjou	Oroukpa
69	<i>Hymenocardia lyrata</i> , Tul	++++				
70	<i>Phyllanthus discodeus</i> (Baill) Müll Arg.	++		Gbafla		
71	<i>Mallodus oppositifolius</i>	+		Kissè-kissè witivi		Eja, ijon, anyija
72	<i>Microdesmis keayana</i>	++				
FABACEAE= PAPILIONOIDEAE						
73	<i>Afromorsia laxiflora</i> (Benth.ex Thon.)Léo.	+++		Saindon, saju	Sinaféléku	Icedu
74	<i>Andira inermis</i> (Wight) DC	+++				
75	<i>Bahia nitida</i>	+++		Sokpakpè	Aweni, owini, irosun	
76	<i>Dalbergia ecastaphyllum</i> (L.) Taub.	++				
77	<i>Dalbergia rufa</i> G. Don	++				
78	<i>Dalbergia malanoxylon</i> Guill.et Perr	++	Ebène du Sénégal	Srohunkan		
79	<i>Drepanocarpus lunatus</i> (L.f.) G.F.W.Mey	++		Ba		
80	<i>Lonchocarpus cyanescens</i> , (Schum	++				

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
81	<i>et Thonn) Benth Lonchocarpus laxiflorus, Guill. et Perr</i>	++	Fruit harpon	Ba Ba, lombada gnonbodo		Akpakpo
82	<i>Lonchocarpus sericeus(Poir.) H. B. et K.</i>	++		Assianssian atchantchan	Knaru, daka	Otiétié, itoo
83	<i>Milletia rhodanta Baill</i>	+++				
84	<i>Milletia thonningii (Schum. Et Thonn.) Bak</i>	+++				
85	<i>Ostryoderris stuhimanii, (Taub.) Dunn ex Harms</i>	+++				
86	<i>Pterocarpus erinaceus Poir.</i>	++++	Vène, palissandre du Sénégal	Koso	tona	Akpékpé
87	<i>Pterocarous santhalinoides, l'Hér. Ex DC</i>	+++		gbègbè		Tigbi
FLACURTIACEAE						
88	<i>Flacourtia indica (Burm. F.) Merrill</i>	++				
GUTTIFEREAE						
89	<i>Symphonia globulifera L.</i>	++		agbéligbè		
LOGANIACEAE						
90	<i>Anthocleista nobilis G. Don</i>	+		Gotoun		
91	<i>Anthocleista Vogelii, Planch.</i>	+		Gotoun		
92	<i>Stychnos spinosa Lam.</i>	++		amilinonkévi	gorokou	Googo, akpa ora
93	<i>Strychnos innocula Del.</i>	++				
MELIACEAE						
94	<i>Azadirachta indica, A. Juss.</i>	++++	lilas des Indes, neem	Nim, kinine	Nim	Afoforo, oyibo
95	<i>Carapa procera</i>	+++	Bois à crabe			Abo oganwo

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
96	<i>Cedrela odorata</i> Linn.	+++				
97	<i>Ekebergia senegalensis</i> A. Juss.	+++		Adité	Biloutatorobou	Anawo
98	<i>Khaya grandifoliola</i> C. DC	+++		Zounza		
99	<i>Khaya senegalensis</i> (Desv.) Harms	+++	Caïlcédrat	Zounza	Biribu	
100	<i>Pseudocedrela kotschy</i> (Sweinf.) Harms	+++	Faux cèdre	Tchaclieli, dohunkpoé		
101	<i>Trichilia emetica</i> Vahl Subsp <i>suberosa</i> , J. Wilde	+++			Dérébu	
102	<i>Trichilia monadelpha</i> (Thonn.) J. Wilde	+++			Dérébu	
103	<i>Trichilia prieureana</i> A. Juss	+++		chivitin	békou	ogodu
MIMOSOIDEAE						
104	<i>Acacia ataxacantha</i> DC	++++		Vêhun	Gairi	
105	<i>Acacia auriculiformis</i>	++++	Acacia	Acacia	Acacia	Acacia
106	<i>Acacia polyacantha</i> Willd.	++++		Hlihan, dainhoun	Bogo, sakou	Hédé
107	<i>Accacia sieberiana</i> DC	++++		Adouwé	Tchaga	Sihé
108	<i>Albizia adiantifolia</i> (Schum) W. F. Wight	+++		Agla, aglazezin	Boubarikou	Ayinré
109	<i>Albizia chevalieri</i> , Harms	+++		Agla		
110	<i>Albizia ferruginea</i> (Guill. & Perr.) Benth	+++		Agla		
111	<i>Albizia glaberrima</i> (Shum. & Thonn.) Benth.	+++		Aglagninfun		Ayunrè, bona-bona
112	<i>Albizia lebbeck</i> (L.) Benth	+++		Agla yovoton		
113	<i>Albizia zygia</i> (DC) J. F. Macbr.	+++	Palissandre du	Agla		Anyiréta
114	<i>Dichrostachys cinerea</i> (L.) Wight et Arn.	+++	Sénégal Mimosa clochette	Badawouin		Anyréta Kara

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
115	<i>Entada abyssinica</i> Steud. Ex A. Rich.	+++	Tamarin bêtard	Yêyihoua	Omdolo	Animaga
116	<i>Entada africana</i> , Guill. et Perr	+++		Zoumèhoua	Donbou	
117	<i>Leucaena Leucocephala</i> (Lam.) Wit.	++		Ahouatin		Axidan, abata Igba
118	<i>Parkia bicolor</i> A. Chev.	++				
119	<i>Parkia biglobosa</i> (Jacq) Benth.	++		Kakê		Tchoba
120	<i>Parkia clappertoniana</i> keay	++				
121	<i>Prosopis africana</i> (Guill. & Perr.) Taub.	++++				
122	<i>Samanea saman</i>	+++		Agla	Ayidan, aldon	
123	<i>Tetrapleura tetraptera</i> ,	+++		Lindja		
MORACEAE						
124	<i>Antiaris toxicaria</i> , Lesch.	+++	Faux iroko	Gouho	Danwoko	Orho
125	<i>Ficus abutilifolia</i> (Miq) Miq.	++	Figuier	Voting	Kasa-kasa	Hikpi ganiou
126	<i>Ficus capensis</i> thumb.	++		Ahlossou, haï-haï		
127	<i>Ficus exasperata</i> Vahl	++		Damba		
128	<i>Ficus sycomorus</i> L. Subsp <i>gnaphalocarpa</i> (Miq) C.C. Berg.	++		Votin		
129	<i>Ficus congensis</i> Engl.	++		votin		
130	<i>Ficus ovata</i> Vahl.	++				
MYRTACEAE						
131	<i>Eucalyptus camaldulensis</i> , Dehnhardt	++++	Eucalyptus	Eucalyptus	Eucalyptus	Eucalyptus
132	<i>Eucalyptus terreticornis</i>	++++	Eucalyptus	Eucalyptus	Eucalyptus	Eucalyptus

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
133	<i>Eucalyptus spp.</i>	++++	Eucalyptus			
134	<i>Melaleuca leucadendron, L.</i>	+++	Gomenolier	Kpinman		
135	<i>Psidium guajava, L.</i>	++++	Goyavier	kinkoutin		
136	<i>Syzygium guineense var. Littorale, keay</i>	+++				
137	<i>Syzygium guineense DC. Var. guinéense</i>	+++				
138	<i>Syzygium guinéense var. macrocarpum Engl</i>	+++			Ouaba	adéré
OCHNACEAE						
139	<i>Ouratea flava Hutch. Et Dalz. Ex Strapf</i>	++				
140	<i>Lophira lanceolata Van Tiegh ex kealy</i>	+++		Atakè, owukosu, kotoblèsu	kolé	panhan
OLACACEAE						
141	<i>Ximenia americana L.</i>	++		klivovoué		
PALMAE = ARECACEAE						
142	<i>Cocos nucifera L.</i>	+	Cocotier	Agonkê	kpakpa	Agbon
143	<i>Elaeis guineense Jacq</i>	+	Palmier	Détin		Igui-okpè
144	<i>Raphia hookeri, Mann et Wendi</i>	+	Raphier	Ba, badé		
145	<i>Raphia sudanica, A. Chev.</i>	+	Raphier	Ba, badé		
146	<i>Raphia vinifera P. Beauv</i>	+	Raphier	Ba, badé		
PASSIFLORACEAE						
147	<i>Barteria nigritiana</i>	++				oko
POLYGALACEAE						
148	<i>Securidaca longepedunculata, Fres.</i>	+++	Arbre à serpent			

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
RHAMNACEAE						
149	<i>Maesopsis eminii</i> Engl.	++		ph		
RHIZOPHORACEAE						
150	<i>Cassipourea barteria</i> (Hook. F.) Xi. E. Br.	++				
151	<i>Rhizophora harissonii</i> Leechman	+++	Manglier, palétuvier rouge			
152	<i>Rhizophora racemosa</i> G. F. W. Mey	+++	Palétuvier rouge	Awéto		
RUBIACEAE						
153	<i>Crossopteryx febrifuga</i> , (Afyz.Ex Don) Benth	+++		Gbato-gbato	Babien	Nian hili
154	<i>Gardenia erubescens</i> Stapf et Hutch.	+		Dakpla	Dangninou Nabu	Hanyi
155	<i>Gardenia ternifolia</i> Schum. Et Thonn.	+		Dakpla		Lin
156	<i>Mitragyna ciliata</i> Aubr. Et Pell.	+++		Lin		
157	<i>Mitragyna inermis</i>	+++		Lin	Hawebu	Oruwo
158	<i>Morinda germinata</i> DC	++		Houinsin	Ganhié	Agbesi
159	<i>Morinda lucida</i> , Benth	++		Houinsin		
160	<i>Nauclea latifolia</i> , Sm.	+		Kotin		
161	<i>Pavetta corymbosa</i> DC	++		Lohou		
162	<i>Pavetta crassipes</i> , K. Schum.	++		Lohou		
RUTACEAE						
164	<i>Citrus aurantifolia</i>	++++	Oranger	Yovozin		
165	<i>Citrus spp</i>	++++	citronnier			
166	<i>Zanthoxylum macrophylla</i> , Engl.	++++		Zoumèhê		Ata-ifê

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
167	<i>Zanthoxylum zanthoxyloides</i> Lam. Water.	++++		hêtin		Ata
SAPINDACEAE						
168	<i>Allophylus cobbe</i> (L.) Raeusch	++				
169	<i>Lecaniodiscus cupanioides</i> , Planch. ex Benth. Et Hook	+++		Ganhotin	songuihon	Gouirana, akika, ayika
SAPOTACEAE						
170	<i>Chrysophyllum albidum</i> G. Don	++		Azomboboué		Agbalumon
171	<i>Malacantha alnifolia</i> (Bak) Pierre	++		Hounticli,		Akala, asan
172	<i>Vitellaria paradoxum</i> Gaerth	++++	Karité	kpoklissa Owouko, kotoblè	gbaba	adan émi
SIMAROUBACEAE						
173	<i>Harrisonia abyssinica</i> Oliv.	+++				
174	<i>Irvingia gabonensis</i> , Ball.	+++	Pomme sauvage	Aslo		Oro
STERCULIACEAE						
175	<i>Cola mellenii</i> , K. Schum	+++		Alovoaton		Obi edun
176	<i>Cola cordifolia</i>	+++		wotin		
177	<i>Sterculia stegera</i>	+++	Arbre à gomme			
178	<i>Triplochiton scleroxylon</i> , K. Schum	++	Hountin			Aéré, ogou
TILIACEAE						
179	<i>Grewia carpinifolia</i> Juss.	+		Fondji, agbankan		
180	<i>Grewia mollis</i> Juss.	+		Lili		
ULMACEAE						
181	<i>Celtis integrifolia</i> Lam.	+++				
182	<i>Celtis mildbraedii</i> Engl.	+++		Dégboé		Okpèlè

N°	Famille et espèce	Qualité en bois énergie	Nom vulgaire français	Nom Fon ou Goun	Nom Bariba	Nom Nagot ou Yoruba
183	<i>Trema guinéensis</i>	++		djividjivi		Afoforo
VERBENACEAE						
184	<i>Gmelina arborea</i> Roxb .	++	Gmelina	Fofintin		
185	<i>Tectona grandis</i> L. F.	++	Teck	Tèki	Tèki	Tèki
186	<i>Vitex doniana</i> Sweett	++	Prunier noir	Fontin	Nyangolo,	Onrila
187	<i>Vitex simplicifolia</i> Oliv.	+			konronku	
ZYGOPHYLLACEAE						
188	<i>Balanitex aegyptiaca</i> (L.) Del	++	Dattier du désert		Gamenlè	
189	<i>Balanitex wilsoniana</i> Dawe et Sprague	++				

Légende : ++++ très bonne qualité ; +++ bonne qualité ; ++ qualité moyenne ; + qualité médiocre

Source : Dossou (1992)