

**Assistance technique pour une
étude sur la conversion de la
biomasse forestière en énergie**
[Contrat No: 3000080064]

Résultat 3.2 Livrable :

Rapport sur les technologies de conversion les plus appropriées, y compris les prétraitements et les traitements de la biomasse pour produire l'utilisation énergétique finale dans chaque secteur identifié

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	2
1.0. INTRODUCTION	7
2.0. CLASSIFICATION DES TECHNOLOGIES DE CONVERSION.....	8
2.1 PROCESSUS THERMOCHIMIQUE	109
2.1.1. <i>Pyrolyse ou carbonisation.....</i>	109
2.1.2. <i>Combustion.....</i>	109
2.1.3. <i>Gazéification.....</i>	10
2.1.4. <i>Cogénération</i>	11
2.1.5. <i>Liquéfaction catalytique.....</i>	12
2.2 CONVERSION BIOCHIMIQUE	1312
2.1.6. <i>Digestion anaérobie (Biogaz).....</i>	13
2.1.7. <i>Briquelette ou charbon vert ou pellet</i>	1413
2.1.8. <i>Foyers de cuisson améliorés</i>	14
3.0. DESCRIPTION DES SECTEURS IDENTIFIÉS ET DES FACTEURS AFFECTANT LA TECHNOLOGIE DE CONVERSION.....	14
3.1 RÉPUBLIQUE DU CAMEROUN	15
3.1.1. <i>Brève description du secteur identifié</i>	15
3.1.1.1. <i>Secteur industriel.....</i>	15
3.1.1.2. <i>Besoins énergétiques du secteur.....</i>	1615
3.1.1.3. <i>Obstacles au développement économique du secteur.....</i>	1615
3.1.2. <i>Secteur résidentiel.....</i>	1615
3.1.2.1. <i>Besoins énergétiques du secteur.....</i>	16
3.1.2.2. <i>Obstacles au développement économique du secteur résidentiel.....</i>	1716
3.1.3. <i>Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités</i>	1716
3.1.4. <i>Description de la technologie : Cogénération</i>	1716
3.1.4.1. <i>Description détaillée de la technologie de conversion, y compris des diagrammes sur son fonctionnement.....</i>	1817
3.1.5. <i>Conclusion et recommandation</i>	19
3.1.5.1. <i>Domaines d'amélioration de la technologie</i>	19
3.1.5.2. <i>Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre.....</i>	2019
3.2 RÉPUBLIQUE DU CONGO	21
3.2.1. <i>Secteur industriel</i>	21
3.2.1.1. <i>Besoins énergétiques du secteur.....</i>	21
3.2.1.2. <i>Obstacles au développement économique du secteur.....</i>	22
3.2.2. <i>Secteur résidentiel.....</i>	22
3.2.2.1. <i>Besoins énergétiques du secteur.....</i>	22
3.2.2.2. <i>Obstacles au développement économique du secteur résidentiel.....</i>	2322
3.2.3. <i>Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités</i>	23
3.2.4. <i>Description de la technologie : Congo Carbo industrie (CCI).....</i>	23
3.2.4.1. <i>Description détaillée de la technologie de conversion, y compris des diagrammes sur son fonctionnement.....</i>	23
3.2.5. <i>Conclusion et recommandation</i>	25
3.2.5.1. <i>Domaines d'amélioration de la technologie</i>	25
3.2.5.2. <i>Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre.....</i>	2625
3.3 RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO	26

3.3.1.	Brève description du secteur identifié	26
3.3.1.1.	Secteur de l'industrie	26
3.3.1.2.	Besoins énergétiques du secteur	26
3.3.1.3.	Obstacles au développement économique du secteur	27
3.3.1.4.	Secteur résidentiel	27
3.3.1.5.	Besoins énergétiques du secteur	28 27
3.3.1.6.	Obstacle au développement économique du secteur	28
3.3.2.	Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités	28
3.3.3.	Description détaillée de la technologie de conversion :	28
3.3.4.	Conclusion et recommandation	30 29
3.3.4.1.	Domaines d'amélioration de la technologie	30 29
3.3.4.2.	Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre	30 29
3.4	RÉPUBLIQUE DU BURUNDI	3130
3.4.1	Brève description du secteur identifié	31 30
3.4.2	Description détaillée de la technologie de conversion et du projet	32 31
3.4.3	Conclusion et recommandation	35 34
3.5	BURKINA FASO	3735
3.5.1	Brève description du secteur identifié	37 35
3.5.2	Description de la technologie et du système d'exploitation	38 36
3.5.3	Valorisation du prétraitement de la biomasse en amont	39 37
3.5.4	Description du produit énergétique final	39 37
3.5.5	Description du consommateur (profil, modalités d'accès aux produits énergétiques, défis potentiels et comment les relever)	40 38
3.5.6	Conclusion et recommandation	40 38
3.6	RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE	4239
3.6.1	Brève description du secteur identifié	42 39
3.6.2	Description de la technologie et du système d'exploitation	43 40
3.6.3	Prétraitement en amont de la biomasse à convertir	45 42
3.6.4	Description du produit énergétique final	46 42
3.6.5	Conclusion et recommandation	47 43
3.7	RÉPUBLIQUE DU MALI	4844
3.7.1	Brève description du secteur	48 44
3.7.2	Besoins énergétiques du secteur, ressources de biomasse disponibles pour l'approvisionnement du secteur, raisons d'agir dans ce secteur	48 45
3.7.3	Description de la technologie	51 47
3.7.4	Conclusion et recommandations	54 50
4.0.	CONCLUSION ET RECOMMANDATION	5550
5.0.	RÉFÉRENCES	5752

Liste des encadrés

Encadré 1 : Critères de sélection des pays participant à l'étude pilote	
Figure 2 : Formes de voies de conversion énergétique de la biomasse	8
Figure 3 : Méthodes d'utilisation de la biomasse pour l'énergie	9
Figure 4 : Diagramme de flux montrant le processus de production d'électricité à partir de la biomasse par combustion	10
Figure 5 : Le processus de la technologie de gazéification	11 10
Figure 6 : Un exemple de technologies qui convertissent la biomasse en électricité	12 11

Figure 7 : Schéma fonctionnel de la production d'électricité et de la récupération de chaleur par la cogénération	1211
Figure 8 : Exemple d'une usine configurée pour produire de l'énergie et de l'engrais à partir de matières premières de biodéchets	1312
Figure 9 : Ressources de biomasse provenant de plusieurs sources converties en une gamme de produits destinés à l'industrie des transports et aux secteurs du bâtiment	1514
Figure 10 : Différentes technologies pour convertir la biomasse en énergie	1816
Figure 11 : Technologie de la cogénération	1817
Figure 12 : Centrale de cogénération	1918
Figure 13 : Système de charbon de bois pour le chauffage et la cuisson dans les zones rurales et urbaines	2422
Figure 14 : Schéma d'écoulement typique d'un processus de gazéification avec ou sans cogénération et unité de chaleur	2926
Figure 15 : Diagramme montrant une publicité pour le foyer Inyenyeri	3330
Figure 16 : Un exemple de granulés	3430
Figure 17 : Procédé de granulation utilisé par Inyereri	3431
Figure 18 : Pyrolyseurs pour la carbonisation des cortex de cacao	4439
Figure 19 : Presse à briquettes de petite capacité	4539
Figure 20 : Le processus de fabrication des biocarburants	
Figure 21 : Activités économiques - Consommation brute d'énergie moyenne en GJ/an	5044
Figure 22 : Processus de fabrication des briquettes	5245
Figure 23 : Presse à vis motorisée pour briquette de tourteau de karité	5246
Figure 24 : Photo de briquettes séchant au soleil sur la dalle et sur la clast	5346

Liste des tableaux

Tableau 1 : Différents types d'industries en République du Congo	21
Tableau 2 : Demande d'énergie dans le secteur industriel	2726
Tableau 3 : Demande d'énergie dans le secteur résidentiel	2827
Tableau 4 : Consommation annuelle 2015 des ménages urbains et ruraux du bassin d'approvisionnement de Bamako, en milliers de tonnes	4945
Tableau 5 : biomasse forestière clé et processus de conversion clé dans les pays participants	5551

Liste des abréviations et des acronymes

Abréviation	Titre
AD	Digestion Anaérobie
AEEP	Partenariat Afrique-UE pour l'énergie

AFREC	<i>Commission de l'énergie pour l'Afrique</i>
ALUCAM	Société d'aluminium du Cameroun
APNFP	<i>Association des propriétaires de forêts naturelles et de plantations Affery</i>
CCI	Congo Carbo Industrie
CCIC	Chambre de commerce et d'industrie du Cameroun
CH4	Méthane
CHP	Production combinée de chaleur et d'électricité
CIA	<i>Agence centrale de renseignements</i>
CIAB	<i>Comité Interprofessionnel de l'Anacarde du Burkina Faso</i>
CML	
CNI	<i>Chantier Naval et Industriel du Cameroun</i>
CNSL	<i>Liquide de coque de noix de cajou</i>
CO2	Oxyde de carbone (IV)
CO3	Monoxyde de carbone
COMIREP	<i>Comité de Pilotage de la Réforme des Entreprises Publiques</i>
DEFRA	Département de l'environnement, de l'alimentation et des affaires rurales
RDC	République Démocratique du Congo
EUEI	Initiative de l'Union européenne en matière d'énergie
FCFA	<i>Franc de la Communauté Financière Africaine</i>
FONABES	<i>Forêts Naturelles et. Approvisionnement durable en Bois-Energie des villes du. Sahel</i>
PIB	Produit intérieur brut
GIA	Évaluations de l'impact sur l'égalité des sexes
GICAM	<i>Groupeement Interpatronal du Cammeroon</i>
GJ	<i>Gigajoules</i>
GMDR	Rétorsion de la folie verte
GWh	Gigawatts par heure
ICS	<i>Foyer amélioré</i>
AIE	Agence internationale de l'énergie
CNDP	Contributions nationale déterminées Prévues
KWh	Kilowatt par heure
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
MAF	<i>Ministère de l'agriculture et de l'alimentation</i>
MEI	Ministère de l'économie et de l'industrie

MJ	<i>Mégajoules</i>
MSW	Déchets solides municipaux
MW	Mégawatts
NH4	<i>Ammoniac</i>
PDSE	<i>Plan de Développement du Secteur de l'Electricité</i>
REDD	Réduction des émissions dues à la dégradation des forêts et à la déforestation
SDACD	<i>Schéma directeur d'approvisionnement en combustible domestique de Bamako</i>
SE4All	Énergie durable pour tous
PME	Petites et moyennes entreprises
SNE	<i>Société Nationale d'Electricité</i>
TWh	Terrawatts par heure
PNUD	Programme des Nations unies pour le développement
ONUDI	Organisation des Nations unies pour le développement industriel
USD	Dollar américain
PAM	Programme alimentaire mondial

1 Introduction

Les pays ayant le plus de résidus de biomasse ont été sélectionnés sur la base de trois critères principaux :

- i) le contexte politique,
- ii) les aspects techniques et
- iii) les aspects commerciaux.

L'encadré ci-dessous détaille ces trois critères.

La principale activité au titre du résultat 3.2 consistait à déterminer les technologies de conversion les plus appropriées, y compris les prétraitements et les traitements de la biomasse pour produire l'utilisation énergétique.

POLITIQUE / CONTEXTE

1. les END/points focaux sont engagés, engagés et disponibles pour la discussion
2. la communauté et les autres parties prenantes soutiennent la nécessité de convertir les déchets de bois en une énergie alternative
3. les politiques gouvernementales soutiennent le développement des énergies renouvelables hors réseau/en réseau - existe-t-il une politique de tarification ou de facturation nette des énergies renouvelables, etc.
4. le projet dispose de personnes de contact dans le pays qui sont prêtes à fournir toute information supplémentaire

TECHNIQUE

1. le pays dispose de suffisamment de déchets de bois provenant de la forêt ou d'arbres agroforestiers
2. les déchets de bois se trouvent dans un endroit accessible
3. Il existe des données et des informations adéquates pour réaliser des études de diligence raisonnable (études environnementales, économiques, de faisabilité financière et de genre)
4. Existe-t-il une source ou une technologie alternative pour la production d'électricité dans les zones rurales ? Indiquer le coût de la production d'électricité à partir de technologies/sources alternatives

Il n'y a pas d'alternative à la production de charbon de bois dans les zones rurales ?
Indiquer le coût de la production de charbon de bois pour les technologies/sources alternatives

COMMERCIAL

Encadré 11: Critères de sélection des pays participant à l'étude pilote

finale de chaque secteur identifié dans les pays sélectionnés sur la base des critères ci-dessus. Les technologies les plus prometteuses ont été prises en considération parmi les technologies de conversion de l'énergie de la biomasse les plus courantes, en veillant à ce que les facteurs liés au sexe, à l'environnement, aux finances et à d'autres facteurs spécifiques au contexte soient pris en compte.

Sur la base des critères ci-dessus, les pays identifiés pour les études pilotes ont été :

Afrique centrale : République du Cameroun, République démocratique du Congo et République du Congo

Afrique de l'Ouest : Burkina Faso, République de Côte d'Ivoire et République du Mali

Afrique de l'Est : République du Burundi

Le système de notation montre comment la sélection des pays ci-dessus a été effectuée dans chaque région a été annexé.

À l'aide de recherches sur le web, d'une analyse documentaire et d'une mission sur le terrain, une classification des technologies de conversion les plus utilisées a été établie. Il s'agit d'un précurseur de la conception et du développement de propositions de projets pilotes dans les pays sélectionnés ci-dessus, dans le cadre des résultats 4 et 5 de cette étude. Les technologies les plus utilisées dans le monde et en Afrique seront prises en considération, de la digestion anaérobie au moteur à combustion interne, de la gazéification au moteur à combustion interne et de la combustion à la turbine à vapeur, entre autres. Les technologies les plus prometteuses seront classées par ordre de priorité et, le cas échéant, reproduites dans des pays présentant des conditions similaires.

Conformément au titre, ce rapport commence par une classification et une description des technologies de conversion, suivies d'une brève description du secteur identifié dans les pays sélectionnés et des facteurs socio-économiques qui rendent la technologie bioénergétique appropriée dans les pays sélectionnés.

2 Classification des technologies de conversion

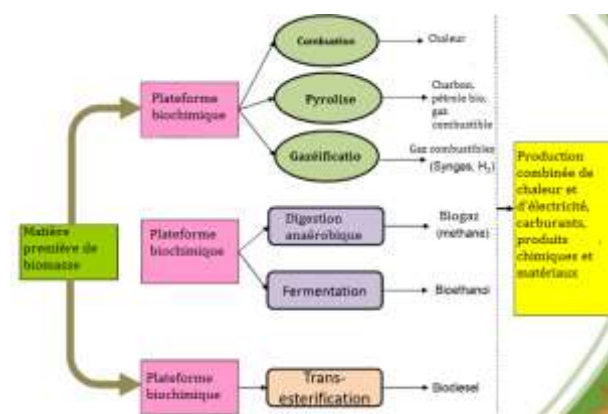


Figure 22: Formes de voies de conversion énergétique de la biomasse

Plusieurs voies bioénergétiques peuvent être utilisées pour convertir une série de matières premières de biomasse brute en un produit énergétique final. Le principal facteur de sélection d'un processus de conversion est normalement le type de matière première disponible, les produits énergétiques souhaités, l'échelle et le niveau de technologie. Un certain nombre de ces technologies sont déjà bien développées et pleinement commercialisées ; tandis qu'une série d'autres technologies de conversion sont actuellement en cours de développement, qui pourraient potentiellement offrir des rendements améliorés, des coûts réduits et une meilleure performance environnementale (AIE, 2009).

Différentes technologies existent ou sont en cours de développement pour produire de l'électricité à partir de la biomasse. La co-combustion (également appelée co-firing) dans les centrales électriques à

charbon est l'utilisation la plus rentable de la biomasse pour la production d'électricité. Des installations spécialisées de combustion de la biomasse, y compris des installations de combustion de déchets solides municipaux, sont également exploitées avec succès sur le plan commercial, et beaucoup sont des installations de cogénération de chauffage industriel ou urbain. Pour les boues, les liquides et les matières organiques humides, la digestion anaérobie est actuellement l'option la plus adaptée pour produire de l'électricité et/ou de la chaleur à partir de la biomasse, bien que son intérêt économique dépende fortement de la disponibilité de matières premières à faible coût. Toutes ces technologies sont bien établies et disponibles sur le marché (AIE, 2009).

En général, les technologies de conversion de la biomasse en énergie doivent traiter une matière première dont la masse et la densité énergétique, la taille et la teneur en humidité peuvent varier considérablement et qui est fournie de manière intermittente. Par conséquent, les technologies industrielles modernes sont souvent des technologies hybrides combustibles fossiles/biomasse, qui utilisent le combustible fossile pour le séchage, le préchauffage et le maintien de l'approvisionnement en combustible lorsque l'approvisionnement en biomasse est interrompu (Sharma, Meena, Sharma et Goyal, 2014).

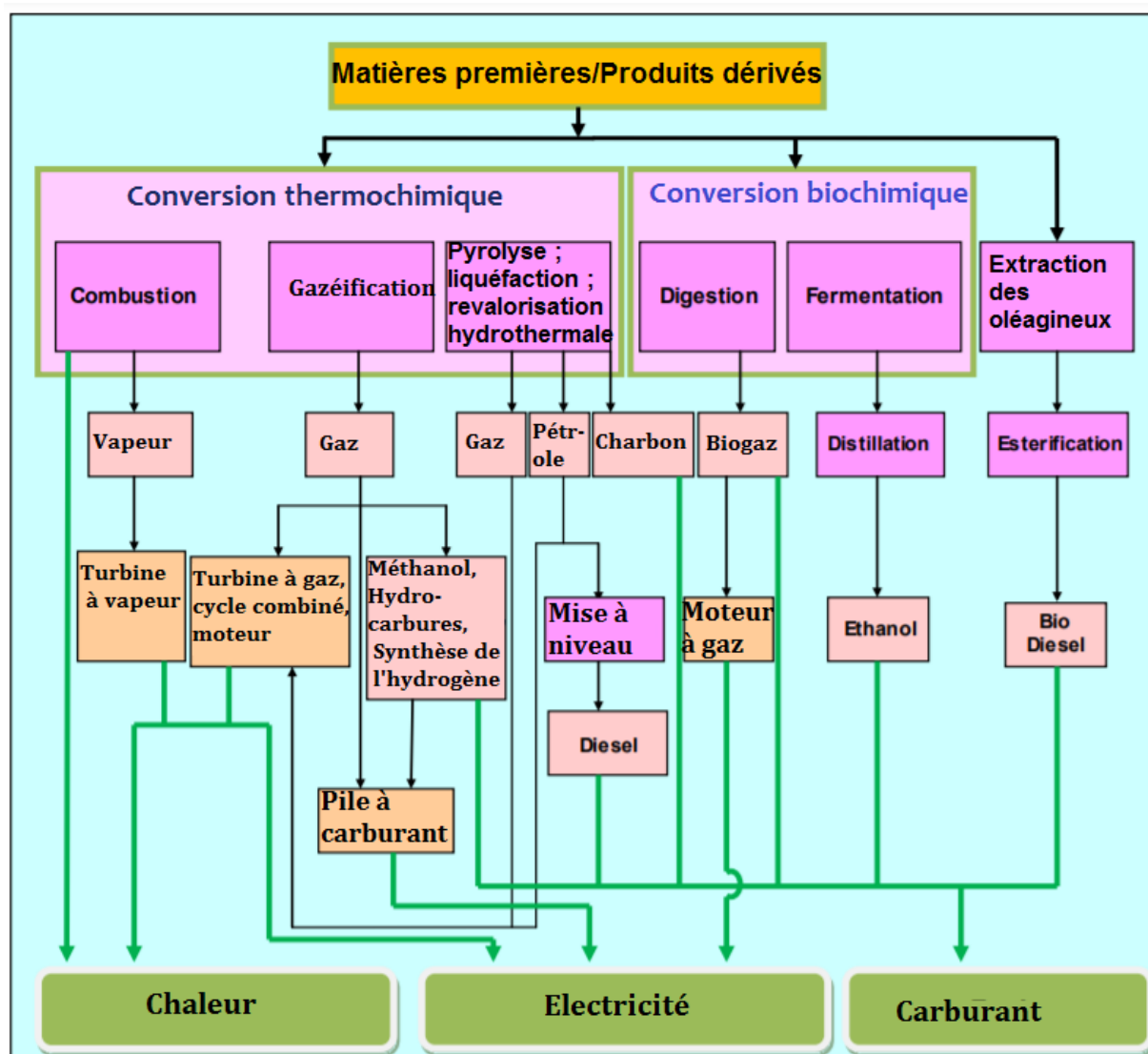


Figure 1.10: Méthodes d'utilisation de la biomasse pour l'énergie

Figure 33-: Méthodes d'utilisation de la biomasse pour l'énergie

Source : (Sharma, Meena, Sharma et Goyal, 2014)

2.1 Processus thermochimique

2.1.1. Pyrolyse ou carbonisation

La pyrolyse est l'application de chaleur à une matière première en l'absence d'oxygène pour décomposer les molécules à longue chaîne en molécules à courte chaîne. En général, la matière première est la biomasse ou les déchets, et le procédé est utilisé pour produire un gaz de synthèse (un mélange d'hydrogène, de composés organiques volatils et de monoxyde de carbone). La variation des conditions du processus permet de produire des fluides similaires au diesel, ainsi qu'une variété d'autres produits (Sharma, Meena, Sharma et Goyal, 2014).

2.1.2. Combustion

La forme la plus ancienne et la plus fondamentale de conversion de la biomasse est la combustion. Pendant la combustion, la biomasse réagit avec l'oxygène pour libérer de la chaleur. La chaleur peut être utilisée directement ou être exploitée pour produire de l'électricité. Le niveau de sophistication des technologies de combustion de la biomasse est très variable. Dans les technologies les plus simples, qui sont utilisées depuis des siècles, la chaleur est utilisée directement dans les foyers et les fours en briques. Les systèmes modernes de combustion de la biomasse sont utilisés pour le chauffage domestique et dans les activités industrielles et manufacturières pour fournir de la vapeur et de l'eau chaude aux processus (Cameron, Mozaffarian, & Falzon, 2014).

Figure 8: Schéma fonctionnel du processus de production d'électricité à partir de la biomasse par combustion



Figure 44: Diagramme de flux montrant le processus de production d'électricité à partir de la biomasse par combustion

Source : (Cameron, Mozaffarian, & Falzon, 2014)

La **production d'électricité** à partir de la combustion de la biomasse nécessite un processus en deux étapes. La biomasse est d'abord brûlée pour produire de la vapeur, qui est ensuite utilisée pour actionner une turbine qui produit de l'électricité. La conversion de la vapeur en électricité à l'aide de turbines est bien établie, les premières centrales thermiques (fonctionnant principalement avec des combustibles fossiles) ayant été construites à la fin du XIXe siècle. L'utilisation de la biomasse comme matière première pour générer de la vapeur à la place de combustibles fossiles a été introduite plus tard, la biomasse remplaçant une partie des combustibles fossiles (co-combustion) ou étant utilisée comme combustible dans des centrales dédiées à la biomasse (Cameron, Mozaffarian, & Falzon, 2014).

2.1.3. Gazéification

La gazéification est l'oxydation partielle d'une matière première organique pour produire un gaz de synthèse (mélange d'hydrogène, de composés organiques volatils à chaîne courte et de monoxyde de carbone). En général, la matière première est de la biomasse ou des déchets organiques, et la variation des conditions du processus permet de contrôler les proportions des composés dans le gaz de synthèse. Dans cette approche, le développement d'un approvisionnement en carbone fixe à partir de ressources

de carbone renouvelables consiste à convertir le CO₂ hors des espèces de biomasse en carburants synthétiques et en intermédiaires organiques (Chyou, et al., 2020).

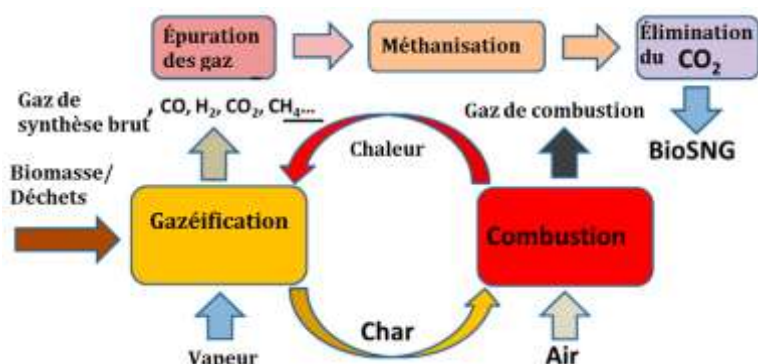


Figure 55: Le processus de la technologie de gazéification

Source : (Chyou, et al., 2020)

2.1.4. Cogénération

La cogénération est une technologie qui permet d'obtenir plus d'une forme d'utilisation finale de l'énergie - généralement de l'électricité et de la chaleur, mais parfois aussi des combustibles - à partir d'une seule source d'énergie. Il existe actuellement de nombreuses technologies commerciales rentables et éprouvées pour convertir les matières premières de la biomasse en électricité et en chaleur. Ces technologies utilisent généralement la combustion ou la production de biogaz comme base de conversion de l'énergie, mais il existe également des systèmes plus récents qui utilisent la gazéification. Les systèmes de cogénération peuvent fournir de la chaleur pour le chauffage, le refroidissement et d'autres applications de processus et, ce faisant, ils peuvent améliorer considérablement l'efficacité de l'utilisation de la biomasse. En utilisant la technologie de récupération des déchets pour capter la chaleur qui est normalement perdue lors de la production d'électricité, les systèmes de cogénération peuvent atteindre une efficacité totale de 60 à 80 %.

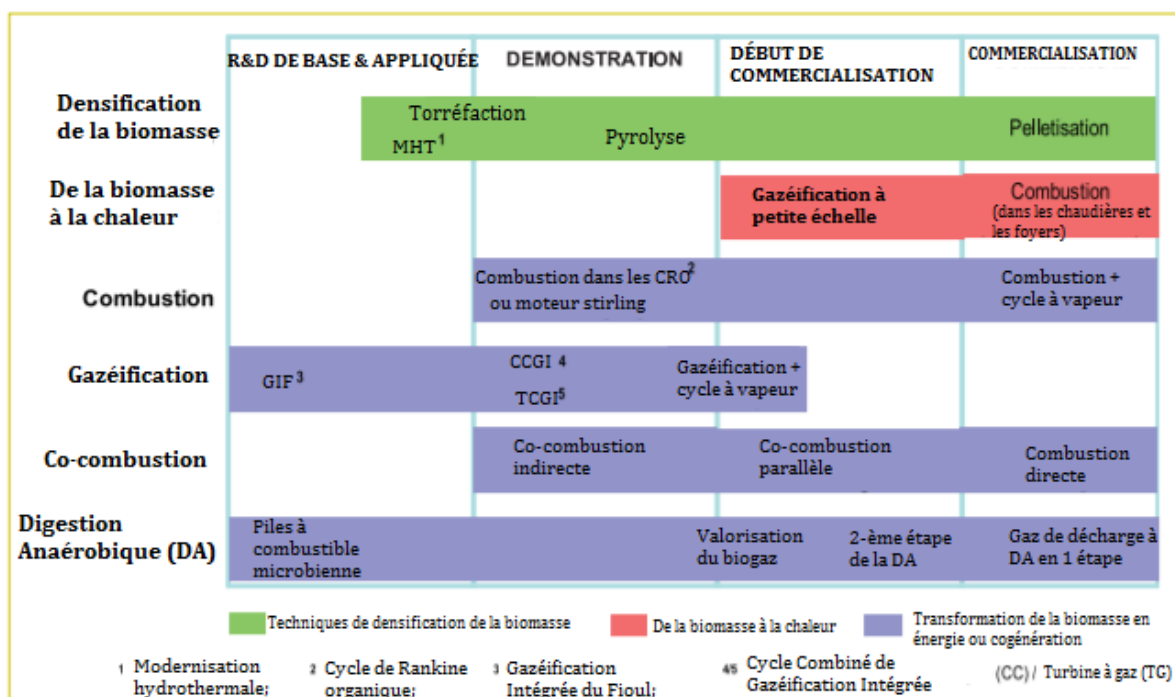


Figure 4. Development status of the main technologies to upgrade biomass and/or to convert it into heat and/or power. Source: E4tech, 2009.

Figure 66: Un exemple de technologies qui convertissent la biomasse en électricité

Figure 9: Schéma de principe du processus de production d'électricité et de récupération de chaleur par la CHP



Figure 77: Schéma fonctionnel de la production d'électricité et de la récupération de chaleur par la cogénération
Source : (E4Tech, 2009)

2.1.5. Liquéfaction catalytique

Cette technologie a le potentiel de fabriquer des produits de meilleure qualité et de plus grande densité énergétique. Ces produits devraient également nécessiter moins de transformation pour fabriquer des produits commercialisables. La liquéfaction catalytique est un procédé de conversion thermochimique à basse température et à haute pression, effectué en phase liquide. Elle nécessite soit un catalyseur, soit une pression partielle d'hydrogène élevée. Des problèmes techniques ont jusqu'à présent limité les possibilités de cette technologie (Sharma, Meena, Sharma et Goyal, 2014).

2.2 Conversion biochimique

L'utilisation de microorganismes pour la production d'éthanol est un art ancien. Cependant, aujourd'hui, ces micro-organismes sont appelés "usines biochimiques" et sont utilisés pour le traitement et la conversion des déchets organiques produits par l'homme. Le génie microbien a encouragé l'utilisation de technologies de fermentation (aérobie et anaérobie) pour la production d'énergie (biogaz) et d'engrais, ainsi que pour l'élimination des produits indésirables des flux d'eau et de déchets (Jimenez & Lawand, 2000).

Figure 1: Exemple d'une usine d'AD configurée pour produire de l'énergie et du biofertilisant à partir de matières premières de biodéchets

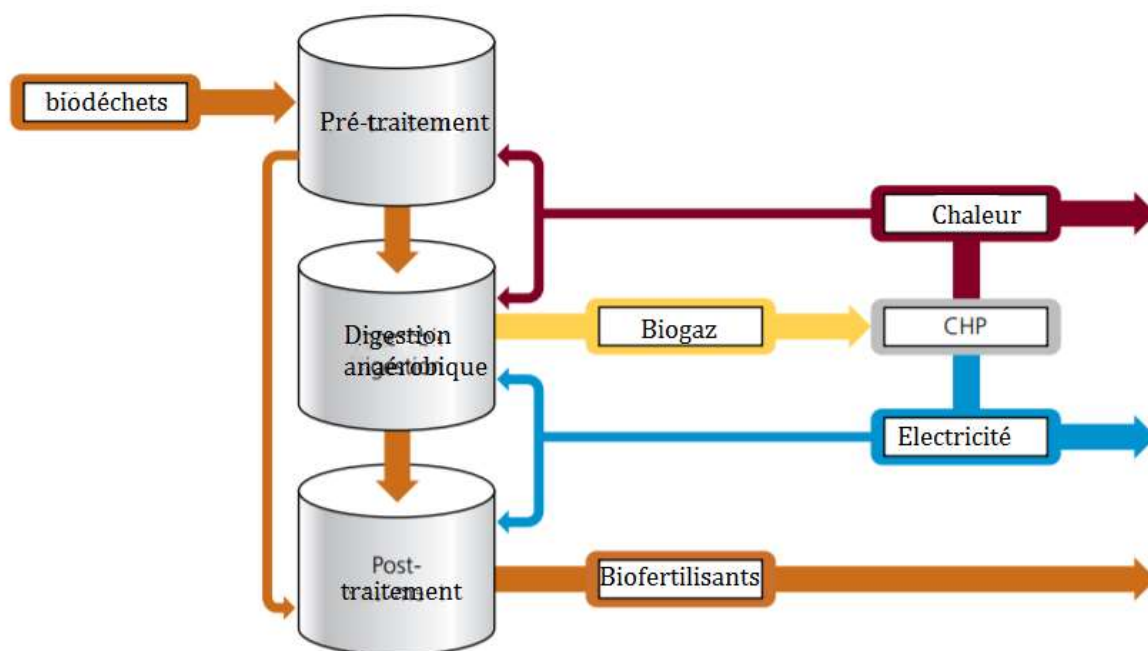


Figure 88: Exemple d'une usine configurée pour produire de l'énergie et de l'engrais à partir de matières premières de biodéchets

2.1.6. Digestion anaérobie (Biogaz)

La digestion anaérobie, parfois appelée biométhanisation, est un processus naturel dans lequel les bactéries décomposent la matière organique, en l'absence d'oxygène, en biogaz (mélange de méthane, CH₄ et de dioxyde de carbone, CO₂) et en digestat, un résidu de la production de biogaz. Le biogaz peut être utilisé directement en cogénération pour la production d'électricité, brûlé pour produire de la chaleur ou nettoyé et utilisé pour les mêmes fonctions que le gaz naturel ou comme carburant pour les véhicules. Selon le processus, le digestat peut souvent être utilisé comme engrais ou comme conditionneur de sol (DEFRA, 2011). Le processus de digestion anaérobie (DA) peut être utilisé avec une grande variété de matières premières, y compris le fumier animal, les résidus de culture, les déchets solides municipaux (qui contiennent suffisamment de matières organiques), les eaux usées et autres flux d'eaux usées contenant des matières organiques qui subissent une DA (DEFRA, 2011).

Les ressources de la biomasse jouent un rôle important dans l'approvisionnement énergétique de tous les pays en développement. Les ressources de la biomasse sont divisées en résidus ou en ressources dédiées telles que le bois de chauffage et le charbon de bois. Les pays en développement doivent mettre

en œuvre des mesures capable d'augmenter l'efficacité énergétique aux niveaux de la production et de la demande. Il est courant de mettre ces déchets de bois en décharge, où ils se dégradent lentement et occupent des espaces vides précieux. Ce bois est une bonne source d'énergie et constitue une alternative aux cultures énergétiques. Les déchets agricoles sont abondamment disponibles dans le monde entier et peuvent être transformés en énergie et en produits chimiques utiles par un certain nombre de micro-organismes. Le succès de la promotion de toute technologie dépend d'une planification, d'une gestion, d'une mise en œuvre, d'une formation et d'un suivi attentif.

2.1.7. Briquette ou charbon vert ou pellet

Les foyers à charbon de bois sont très familiers à la société africaine. En ce qui concerne la technologie des foyers, le foyer à charbon actuel peut être utilisé et peut être amélioré pour une meilleure efficacité. Cet équipement sera particulièrement intéressant pour les ménages urbains et ruraux et pour toutes les catégories de revenus en raison de sa simplicité, de sa commodité et de ses caractéristiques de faible pollution atmosphérique.

2.1.8. Foyers de cuisson améliorés

Les foyers à bois traditionnels sont classés en quatre types : en trois pierres, en métal de forme cylindrique, en métal sur trépied et en argile. Un autre domaine dans lequel la disponibilité de l'énergie rurale pourrait être assurée là où les combustibles ligneux sont devenus rares, est l'amélioration des foyers et des fours traditionnels pour augmenter l'efficacité des économies de combustible ; également, en plantant des arbres à croissance rapide pour fournir un approvisionnement constant en combustible. Le développement rural est essentiel et économiquement important car il permettra à terme d'améliorer le niveau de vie et de planifier les implantations.

3 Description des secteurs identifiés et des facteurs affectant la technologie de conversion

Dans les pays d'Afrique centrale, les secteurs prioritaires pour l'approvisionnement énergétique à partir de la conversion énergétique de la biomasse sont représentés dans le schéma ci-dessous.

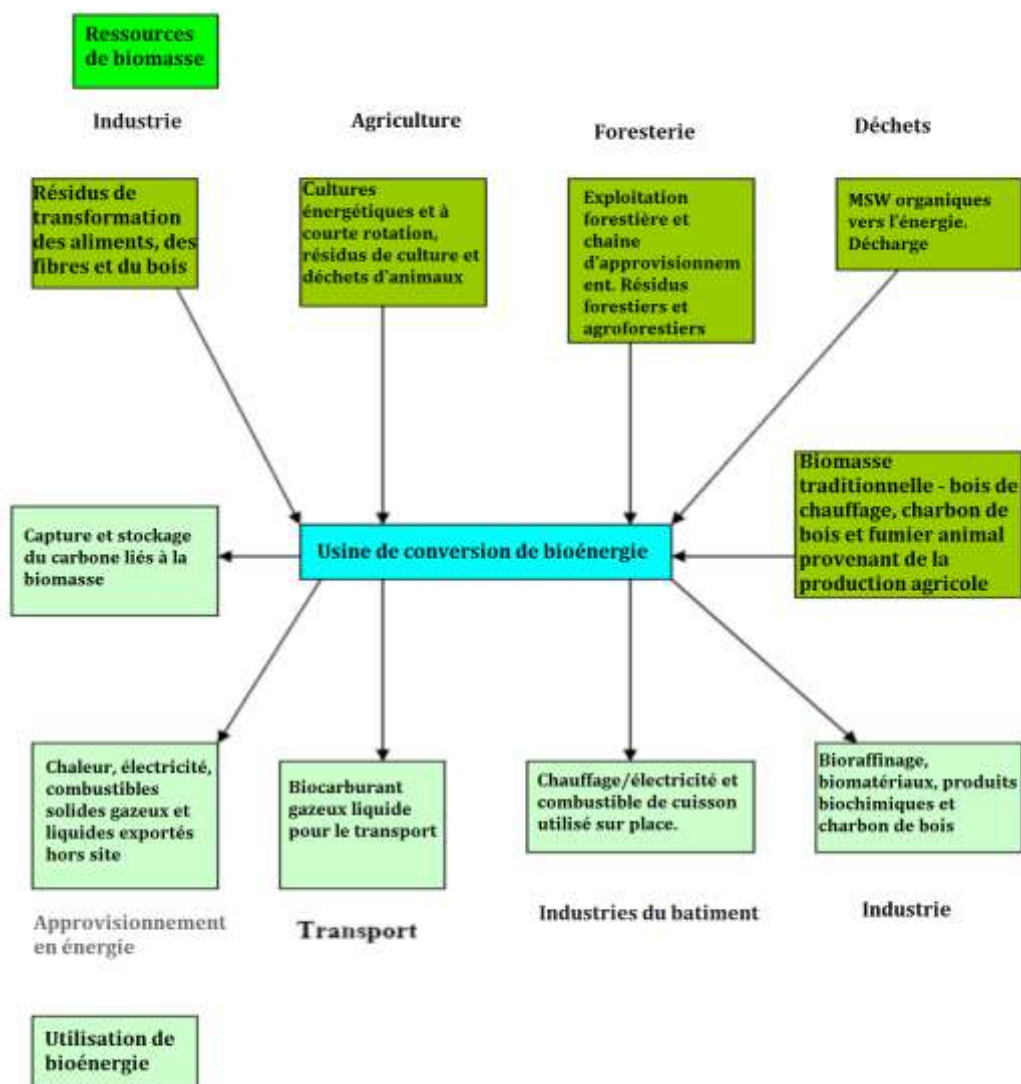


Figure 4. Les ressources de biomasse provenant de plusieurs sources sont converties en une gamme de produits destinés aux secteurs des transports, de l'industrie et du bâtiment (sims, 2007).

Figure 99- Ressources de biomasse provenant de plusieurs sources converties en une gamme de produits destinés à l'industrie des transports et aux secteurs du bâtiment

3.1 République du Cameroun

3.1.1. Brève description du secteur identifié

3.1.2. Secteur industriel

Les principales activités des entreprises industrielles au Cameroun sont les produits alimentaires et les boissons, les articles en bois, les articles en papier et en carton, les produits de raffinage, les produits chimiques, les produits en caoutchouc et en plastique, la métallurgie et les fonderies, les articles métalliques, les verreries et les poteries, l'électricité, l'eau et le gaz. Selon les résultats d'un inventaire des entreprises industrielles camerounaises réalisé par le *Groupement Interpatronal du Cammeroon* (GICAM), organisme regroupant les présidents des entreprises, et la Chambre de commerce et d'industrie du Cameroun (CCIC), 80 % des industries camerounaises sont implantées dans six villes. Il s'agit des villes de Douala, Yaoundé, Edéa, Limbé, Kribi et Garoua. Il existe également des projets industriels à court et à long terme dans le pays. Parmi les projets à court terme, on peut citer la

construction d'un chantier pétrolier à Limbé, le développement d'un complexe sidérurgique ainsi que la construction d'un port en eau profonde à Kribi. Il y a également des plans d'expansion de l'usine d'aluminium du Cameroun (ALUCAM). La lettre d'intention signée en 2005 entre le gouvernement camerounais et le groupe canadien ALCAN Inc. propose la modernisation des cuves d'électrolyse actuelles et la construction d'une deuxième série de cuves à l'usine ALUCAM (ONUDI, 2005 ; Soderling, 1999 ; Thomas, Alexis, & Salomon, 2010 ; EUEI, 2014).

3.1.3. Les besoins énergétiques du secteur

Le développement du secteur industriel nécessite environ 400 MW de puissance électrique (ALUCAM 2008). Le chantier pétrolier construit à Limbe *par le Chantier Naval et Industriel du Cameroun (CNI)* aura besoin d'une alimentation électrique de 20 MW pour fonctionner. Pour certains, les estimations du plan de développement du secteur de l'électricité (PDSE), soulignent la nécessité de disposer de 3 000 MW supplémentaires de puissance hydraulique pour répondre à la demande d'électricité qui sera de 24 TWh en 2025 (Thomas, Alexis, & Salomon, 2010).

3.1.4. Obstacles au développement économique du secteur

La plupart des obstacles au développement du secteur industriel sont :

- Les activités du secteur informel (une des principales conclusions de l'enquête sur les entreprises de la Banque en 2009),
- Des impôts élevés et un régime fiscal difficile, une corruption généralisée,
- Problèmes d'accès au crédit,
- Une bureaucratie excessive, une concurrence déloyale,
- Mauvaise infrastructure, coûts de financement élevés,
- Peu ou pas de dialogue informel pour promouvoir l'action collective ; faiblesse des systèmes d'énergie et de l'eau,
- Les défis du transport,
- La lourdeur du système judiciaire, les problèmes de formation et de compétences,
- Une législation du travail inadéquate (Banque mondiale, 2015)

3.1.5. Secteur résidentiel

Le secteur résidentiel est défini comme la partie de l'économie ayant trait aux zones où les gens séjournent ou vivent. En ce qui concerne l'énergie, il prend en compte la conception des bâtiments et les équipements des utilisateurs finaux. Les bâtiments résidentiels comprennent les bâtiments occupés ou inoccupés, les bâtiments en propriété ou loués, les bâtiments unifamiliaux ou multifamiliaux, les unités d'habitation et les maisons mobiles. L'équipement de l'utilisateur final comprend tout équipement, appareil ou système qui utilise de l'électricité ou tout équipement qui provoque, contrôle ou influence la consommation d'électricité dans les ménages. Le secteur résidentiel est caractérisé par un changement significatif du niveau des appareils électroménagers sous l'effet des politiques de développement et de l'augmentation des revenus des ménages (EUEI, 2014).

3.1.6. Les besoins énergétiques du secteur

En 2010, l'utilisation finale totale de l'électricité au Cameroun s'élevait à 4 863 GWh. Le secteur résidentiel ne représentait que 20 % de l'utilisation finale de l'électricité (986 GWh) (AEEP, 2012). Avec une part estimée à 30 % de la consommation totale d'énergie, le secteur résidentiel est le deuxième

consommateur d'énergie électrique au Cameroun. La consommation d'électricité dans le secteur résidentiel est caractérisée par un écart important entre les ménages urbains et ruraux. En 2012, la demande des ménages sur les réseaux électriques était estimée à 1 113 GWh (EUEI, 2014).

3.1.7. Obstacles au développement économique du secteur résidentiel

La République du Cameroun connaît un problème majeur, celui de l'accès à l'électricité, en particulier pour les ménages des zones rurales et urbaines. Selon la situation énergétique, il existe un écart entre l'offre et la demande d'énergie. Le secteur résidentiel est le secteur qui souffre le plus de l'instabilité de l'approvisionnement en électricité. Cela s'explique par le fait que le secteur industriel est celui qui est le plus favorisé en matière d'approvisionnement en électricité. Le deuxième problème est la pauvreté. Le revenu moyen des ménages est trop faible pour que les membres puissent se permettre de payer l'électricité. La plupart des ménages utilisent donc des sources d'énergie traditionnelles telles que le bois, le kérosène et le pétrole, qui présentent des risques pour la santé. Le temps passé à ramasser du bois pourrait être utilisé pour s'engager dans d'autres activités génératrices de revenus, et l'argent dépensé pourrait être mieux utilisé pour d'autres besoins du ménage.

3.1.8. Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités

Le potentiel de la biomasse est estimé à 6,3 milliards de tonnes. Cependant, il semble que peu de choses aient été faites concernant le secteur national de la bioénergie moderne. Cela ressort clairement du bouquet énergétique national, où la bioénergie moderne est presque absente (Ackom, Alemagi, Ackom, Minang, & Tchoundjeu, 2013). Au niveau mondial, on estime à 72 GW la capacité de production d'électricité à partir de la biomasse en 2011. En outre, on observe une augmentation du nombre de politiques réglementaires mondiales visant à promouvoir les biocarburants et, à l'échelle mondiale, la promulgation de nouvelles lois, l'élargissement des mandats existants associé à une augmentation des exonérations fiscales et des subventions pour les carburants de transport (Ackom, Alemagi, Ackom, Minang, & Tchoundjeu, 2013). Les industries de l'agroalimentaire et de la transformation du bois ont un potentiel de production d'électricité annuel équivalent à environ 700 GWh d'électricité. Cela correspond à une capacité de production d'électricité de 140 MW. Le développement de ce potentiel de production nécessiterait un investissement équivalent à celui d'une centrale thermique, mais en l'absence de prix et d'incitations adaptés, ces projets ne sont pas développés. Le potentiel demeure cependant bien réel (EUEI, 2014).

3.1.9. Description de la technologie : cogénération

Selon les critères utilisés pour évaluer les études de projets pilotes, le Cameroun a été sélectionné pour envisager la poursuite du projet pilote de construction d'une unité de cogénération à Djoum dans le Sud initié par le forestier Rougier.

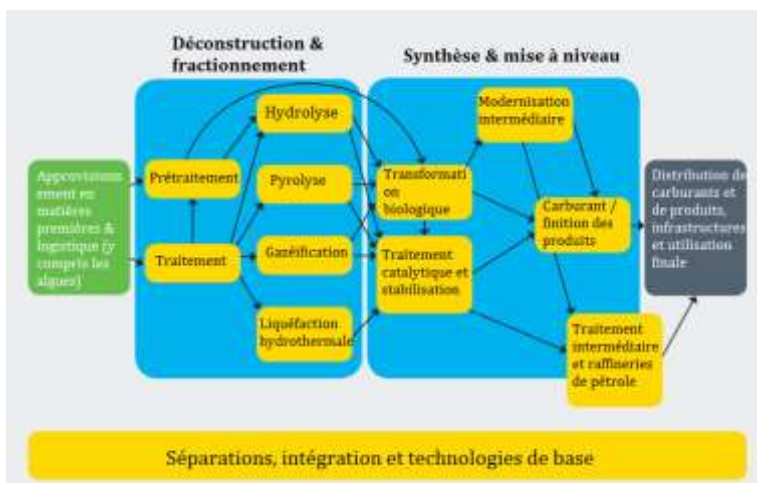


Figure 1010: Différentes technologies pour convertir la biomasse en énergie

3.1.10. Description détaillée de la technologie de conversion, y compris des diagrammes sur son fonctionnement

i. Prétraitement et traitements de la matière première avant son utilisation

Lors de la conversion des déchets en énergie alternative, le prétraitement est une opération très importante qui normalise l'humidité et la granulométrie des déchets. Les exemples comprennent l'extraction et la fragmentation, le broyage, le séchage à l'air, le broyage en une ou deux phases sur une plate-forme d'emballage, et le criblage pour éliminer le sable (Prevot, 2010). Globalement, le déchargement de la biomasse des camions, le criblage et le défrichage de la biomasse, le transfert et le stockage en silos, l'extraction des silos et le transport de la biomasse vers la chaudière sont les étapes essentielles du prétraitement et du conditionnement de la biomasse (Biolacq, s.d).

Le traitement de la biomasse consiste à introduire des déchets prétraités dans la chaudière, puis à les brûler. La combustion produira soit de la vapeur, soit de l'eau chaude (selon le type de turbine utilisé). Cette vapeur ou cette eau chaude fera tourner les turbines pour la production d'électricité. La fumée et la chaleur de la combustion sont récupérées et traitées pour la production de chaleur (Branca, et al., 2014)

ii. Brève description de l'énergie finale

La cogénération est un processus qui permet la production simultanée d'électricité qui est ensuite vendue au distributeur local. La chaleur peut être valorisée via un réseau de chaleur pour des usages locaux tels que la production d'eau chaude sanitaire à l'aide d'un échangeur.

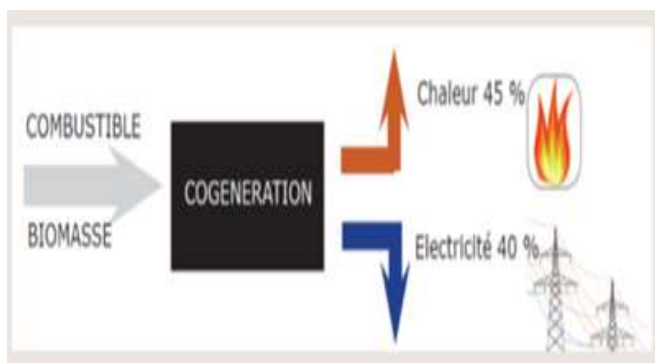


Figure 1111: Technologie de la cogénération

iii. Brève description des consommateurs, de la manière dont ils accéderont à l'énergie, des défis éventuels et de la manière dont ils atténueront

Dans la cogénération, 40 à 50 % de l'énergie primaire se trouve sous forme de chaleur. Une partie de cette chaleur est utilisée pour chauffer la matière entrante et pour maintenir le digesteur à des températures élevées (de l'ordre de 20 à 30 % de la chaleur). Le reste de la chaleur peut être utilisé de différentes manières, par exemple pour chauffer les bâtiments d'élevage, les locaux techniques, les serres de légumes, etc. Les utilisateurs finaux d'énergie sont :

- Les ménages pour les besoins énergétiques de base (électricité, chauffage, etc.) ;
- Les services publics (électricité, éclairage public) ;
- Les hôtels, restaurants (électricité, chauffage) ;
- Les centres de santé (électricité, chauffage dans les maternités) ;
- Les industries, PME ;
- Etc.

Pour accéder à cette énergie, les différents réseaux d'utilisateurs demandent un tarif. Le tarif conçu est basé sur l'utilisation finale de l'énergie. Les PME et/ou les industries ont un tarif particulier en fonction de leur consommation mensuelle. Les ménages paient au KWh.

La question de l'accès à la transition énergétique doit être abordée dès le départ à différents niveaux de l'élaboration des politiques. Les obstacles potentiels à l'accès, en particulier le coût des technologies renouvelables, est une considération clé qui est particulièrement critique lors de la mise en œuvre de la technologie au niveau des ménages pauvres. Des initiatives intersectorielles fortes entre le secteur de l'énergie et d'autres départements tels que le secteur public peuvent être un moyen de développer des politiques, des programmes ou des programmes de subventions énergétiques inclusifs (Johnson, et al., 2020).

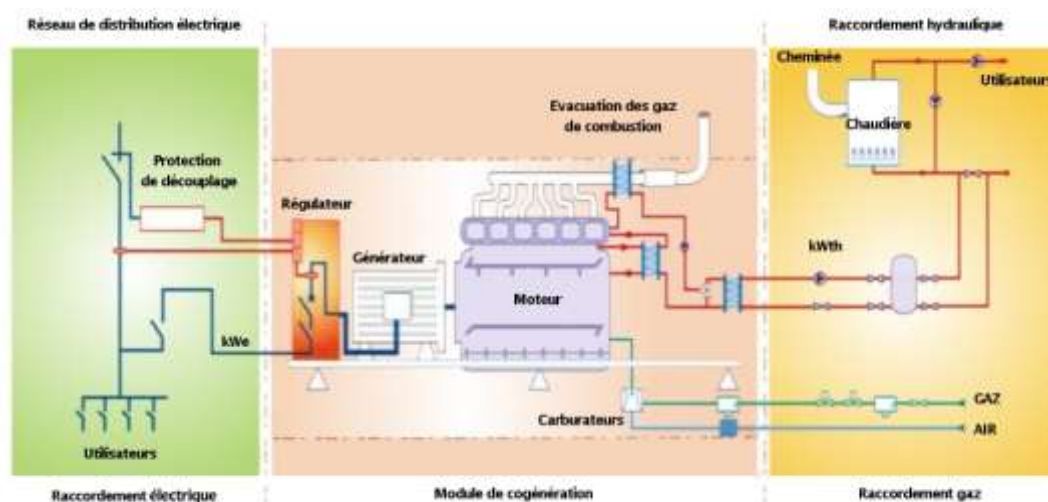


Figure 1212: Centrale de cogénération

Source : (Johnson, et al., 2020)

3.1.11. Conclusion et recommandation

3.1.12. Domaines d'amélioration de la technologie

Les technologies de cogénération utilisent des technologies dites décentralisées. Il s'agit d'une des technologies favorables pour améliorer l'accès à l'énergie dans les zones hors réseau. Le principal

inconvénient des systèmes de cogénération est le coût de l'installation. Cela nécessite le soutien du gouvernement. Plusieurs études ont montré que le paramètre à améliorer est l'utilisation de turbines à gaz. Non seulement ces turbines sont économiquement viables, mais elles augmentent également le rendement de l'unité de cogénération. L'un des paramètres à améliorer est la récupération et le recyclage des cendres et des fumées à d'autres fins (Somcharoenwattana, Menke, Kamolpus, & Gvozdenac, 2011).

3.1.13. Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre

Il est important de mener des études d'impact sur l'égalité des sexes (EIG) parallèlement aux études d'impact environnemental et social. Les résultats de ces études peuvent être utilisés par les gouvernements et les entreprises pour prendre des mesures de discrimination positive afin de combattre les injustices existantes entre les sexes. Par exemple, les femmes pourraient avoir accès à certaines ressources qui facilitent leur transition, les fonctionnaires pourraient élaborer des plans d'indemnisation plus globaux, ou les terres pourraient faire l'objet d'un titre de propriété commun en cas de réinstallation. (Johnson, et al., 2020). Le processus de création et de production de la technologie est un processus sociotechnique, dans lequel les hommes et les femmes, les organisations, la culture et les connaissances sont combinés. Le genre fait partie intégrante de ce processus sociotechnique. La technologie façonne le genre et le genre façonne la technologie à tous les niveaux (Mohideen, 2018).

L'objectif d'une politique/stratégie d'efficacité énergétique n'est pas de réduire l'accès des consommateurs à l'électricité, mais de l'améliorer. Cela signifie qu'il ne faut pas déconnecter la croissance économique (qui ne doit en aucun cas être compromise) de la croissance énergétique. Le pays bénéficiera ainsi d'une plus grande sécurité énergétique et fera des économies importantes en termes d'importations de combustibles fossiles. D'un point de vue macroéconomique, les avantages d'une politique d'efficacité énergétique ne devraient pas se limiter à la résolution opportune et temporaire du problème actuel du Cameroun d'équilibre entre l'offre et la demande dans le domaine de l'électricité. De nombreux avantages découleront de l'établissement et de la mise en œuvre d'une stratégie nationale visant à accroître l'efficacité énergétique, et en particulier (EUEI, 2014) :

- L'amélioration de la fiabilité de l'approvisionnement en électricité en ramenant le niveau de consommation en dessous de la capacité de production tout en maintenant le même niveau de service pour les utilisateurs finaux,
- La réduction de l'utilisation des unités d'urgence ou de secours utilisant des combustibles fossiles,
- La réduction des émissions polluantes et, en particulier, des gaz à effet de serre, liées à l'utilisation des combustibles fossiles,
- L'amélioration du niveau de vie des ménages camerounais, notamment par la réduction de leur facture d'électricité

3.2 République du Congo

3.2.1. Secteur industriel

En 2017 et en début 2018, la direction de l'activité industrielle a délivré des agréments conformément aux dispositions de la loi 9, du 18 juillet 2015, qui organise l'activité industrielle. Environ 43 unités industrielles ont été autorisées à être établies en 2017. En termes de localisation, le département de Pointe-Noire est en tête avec 26 unités industrielles en 2017, suivi par Brazzaville avec 14. Au premier semestre 2018, quatre unités industrielles ont été autorisées à s'implanter, dont trois unités dans le département de Pointe-Noire et une unité dans le département du Pool. Les activités se concentrent sur la fabrication de produits laitiers, de peintures, d'enduits et de colles, de savons, de détergents, d'articles de toilette et sur le raffinage de l'huile de palme (MEI, s.d.).

Tableau 11: Différents types d'industries en République du Congo

Sous-Secteur	Entreprises	Filières	Branches d'activités	Produits fabriqués
Industrie de produits alimentaires	301	17	14	37
Industrie boissons	34	7	3	11
Industrie matériaux minéraux	32	5	3	17
Industrie produits à base de tabac	1	1	1	1
Métallurgie	20	3	3	13
Industrie de produits chimiques	25	8	3	13
Industrie d'ouvrages en métaux	26	3	2	20
Industrie d'articles d'habillement	4	1	1	2
Industrie d'autres matériels de transport	3	2	2	2
Industrie de machines et d'équipements n.c.a.	1	1	1	1
Industrie de meubles et matériaux	17	3	1	7
Industrie de papier, cartons et d'articles en papier ou en carton	11	3	1	0
Imprimerie et production d'enregistrements professionnels	14	3	2	4
Industries du caoutchouc et du plastique	17	1	1	21
Réparation et installation de machines et d'équipements professionnels	20	2	2	17
Industries de produits pharmaceutiques	5	1	1	5
Travail du bois et fabrication d'articles en bois hors meubles	31	1	1	0
Travail du cuir, fabrication d'articles de voyages et de chaussures	1	1	1	1
Autres industries manufacturières	3	2	1	2
TOTAL	502	65	44	209

3.2.2. Les besoins énergétiques du secteur

Enfin, la demande de gaz naturel représente 11 % de la demande d'énergie. Cette demande résulte de l'utilisation du gaz pour produire de l'électricité et du GPL (butane et propane) à des fins domestiques et industrielles. L'électricité est consommée pour alimenter les équipements de production (Constantine, Aymard, Donald, Patrick et Jean-Claude, s.d.).

Les industries consomment généralement des courants de haute et moyenne tension. En général, les usines fonctionnent pendant la journée et pour certains secteurs 24 heures sur 24, comme le pétrole, le ciment et les industries disposant de grandes installations frigorifiques. La consommation évoluera en deux (2) phases : entre 2015 et 2020, elle passera de 2 055 309 426,72 kWh à 3 073 604 548,6 kWh, soit une augmentation de 1 018 295 121,89 kWh (49,5%). De 2021 à 2025, la consommation passera de 3 332 091 295,35 kWh à 4 296 289 446,20 kWh, soit une augmentation de 964 198 150,85 kWh (28,9%) (Constantine, Aymard, Donald, Patrick et Jean-Claude, s.d.).

3.2.3. Obstacles au développement économique du secteur

Il existe de nombreuses barrières tarifaires et non tarifaires. En ce qui concerne les barrières non tarifaires, il existe des restrictions à l'importation de certains produits. Elles s'accompagnent de contrôles des prix intérieurs qui, loin de favoriser l'expansion de la capacité d'approvisionnement interne comme prévu initialement, les ralentissent au contraire. Ce facteur provoque des inflations récurrentes et, parfois, l'État est obligé de subventionner pour des raisons sociales, avec un impact négatif sur son budget. De nombreuses réductions d'impôts, des droits de douane imposés sur les produits d'exportation et d'importation limitent le développement de la filiale industrielle (République du Congo, 2017). Dans de nombreux pays producteurs de pétrole, les facteurs non liés aux prix, tels que le manque d'infrastructures de base, la corruption et la bureaucratie, constituent souvent des obstacles plus redoutables à la croissance du secteur non pétrolier que les facteurs liés aux prix, notamment l'évolution du taux de change effectif réel (Guidal, Herail, & Rosenstock, 2018).

3.2.4. Secteur résidentiel

Les ménages sont classés comme consommateurs résidentiels. Ils utilisent principalement l'électricité pour leur éclairage. Les ménages sont les plus gros consommateurs d'électricité. Ils ont consommé 50 % de la consommation totale en 2011 selon les statistiques du réseau des END. En outre, cette catégorie de consommateurs est le principal facteur d'augmentation de la capacité installée. Une grande partie de la consommation d'électricité des ménages a généralement lieu en fin de matinée et en soirée pour répondre aux besoins d'éclairage. Les autres équipements qui consomment de l'électricité au niveau des ménages sont principalement la télévision, la radio, les appareils électroménagers, etc. Parmi ceux-ci, le réfrigérateur reste branché en permanence (Constantine, Aymard, Donald, Patrick et Jean-Claude, s.d.).

3.2.5. Les besoins énergétiques du secteur

En République du Congo, la structure de la demande énergétique est composée de biomasse, d'hydroélectricité, de produits pétroliers et de gaz. Les principaux segments du marché de l'énergie sont les particuliers (ménages), les industries - PME/PMI, les transports, l'agriculture et le gouvernement.

La consommation d'électricité par les ménages est largement représentée par les ménages connectés au réseau des END. Si l'on considère une augmentation du nombre total de ménages en fonction du taux de croissance démographique actuel (2,6 %), avec le maintien du taux d'accès à l'électricité actuel de 45 % et du niveau de consommation d'électricité, la demande totale serait alors estimée à 4 604 944,72 MWh en 2020 et à 5 934 571,36 MWh en 2025 (Constantine, Aymard, Donald, Patrick et Jean-Claude, s.d.).

3.2.6. Obstacles au développement économique du secteur résidentiel

La République du Congo, comme certains pays du bassin du Congo, connaît un problème majeur, celui de l'accès à l'électricité, en particulier pour les ménages situés dans les zones rurales. Dans le rapport sur la situation de la demande d'énergie, il est mentionné qu'il existe un grand écart entre l'offre et la demande d'énergie. Le secteur résidentiel est celui qui souffre le plus du manque de fiabilité de l'approvisionnement en électricité. Cela s'explique par le fait que le secteur industriel est davantage privilégié en matière d'approvisionnement en électricité que le secteur résidentiel. Le deuxième problème est la pauvreté, le revenu moyen des ménages étant trop faible pour leur permettre de s'approvisionner en électricité et les ménages étant donc contraints d'utiliser des combustibles traditionnels tels que le bois, le kérosène et le pétrole, qui sont nocifs pour leur santé en général.

3.2.7. Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités

La biomasse est la source d'énergie la plus populaire du pays, représentant 81% de l'approvisionnement énergétique du Congo. Ce sous-secteur est principalement fourni par les petits producteurs, principalement les ménages dont le fonctionnement reste les modes traditionnels de cuisson et de chauffage. L'approvisionnement ou la production de biomasse consiste principalement en bois de chauffage et en charbon de bois. Cette biomasse provient principalement des sous-produits de la forêt (bois de coupe, déchets forestiers, déchets de l'industrie du bois). La biomasse représente entre 4 et 10% de l'approvisionnement énergétique du Congo. En 2008, la production primaire et la consommation finale de biomasse étaient respectivement de 0,72 Mtep et 46 Mtep (Constantine, Aymard, Donald, Patrick et Jean-Claude, s.d.).

Le Congo est largement couvert par la forêt (60% du territoire national) qui représente 10% de l'ensemble des forêts tropicales humides. La productivité potentielle de la biomasse des forêts tropicales du Congo est parmi les plus élevées au monde. La fourniture totale d'énergie primaire au Congo est estimée à 2637 Ktep, tandis que la consommation finale totale s'élève à 1769 Ktep. La biomasse, principalement distribuée sous forme de bois de chauffage, de charbon de bois, de déchets forestiers, de sciure et de copeaux, représente 65 % de la consommation finale totale.

3.2.8. Description de la technologie : Congo Carbo industrie (CCI)

La CCI utilisera de nouvelles technologies de carbonisation pour améliorer la qualité et augmenter la quantité de la production de charbon de bois. Des foyers perfectionnés augmenteront l'efficacité de la carbonisation, en la doublant par rapport aux foyers traditionnels à monticules et aux foyers non améliorés couramment utilisés au Congo aujourd'hui. Nous décrivons ici les trois technologies que la CCI utilisera, dont aucune n'est actuellement utilisée au Congo.

3.2.9. Description détaillée de la technologie de conversion, y compris des diagrammes sur son fonctionnement

i. Prétraitement et traitements de la matière première avant utilisation

Le prétraitement des déchets consiste en un tri pour éliminer les déchets non biodégradables, un broyage pour obtenir une granulométrie homogène et un séchage pour réduire la teneur en eau afin d'optimiser le rendement.

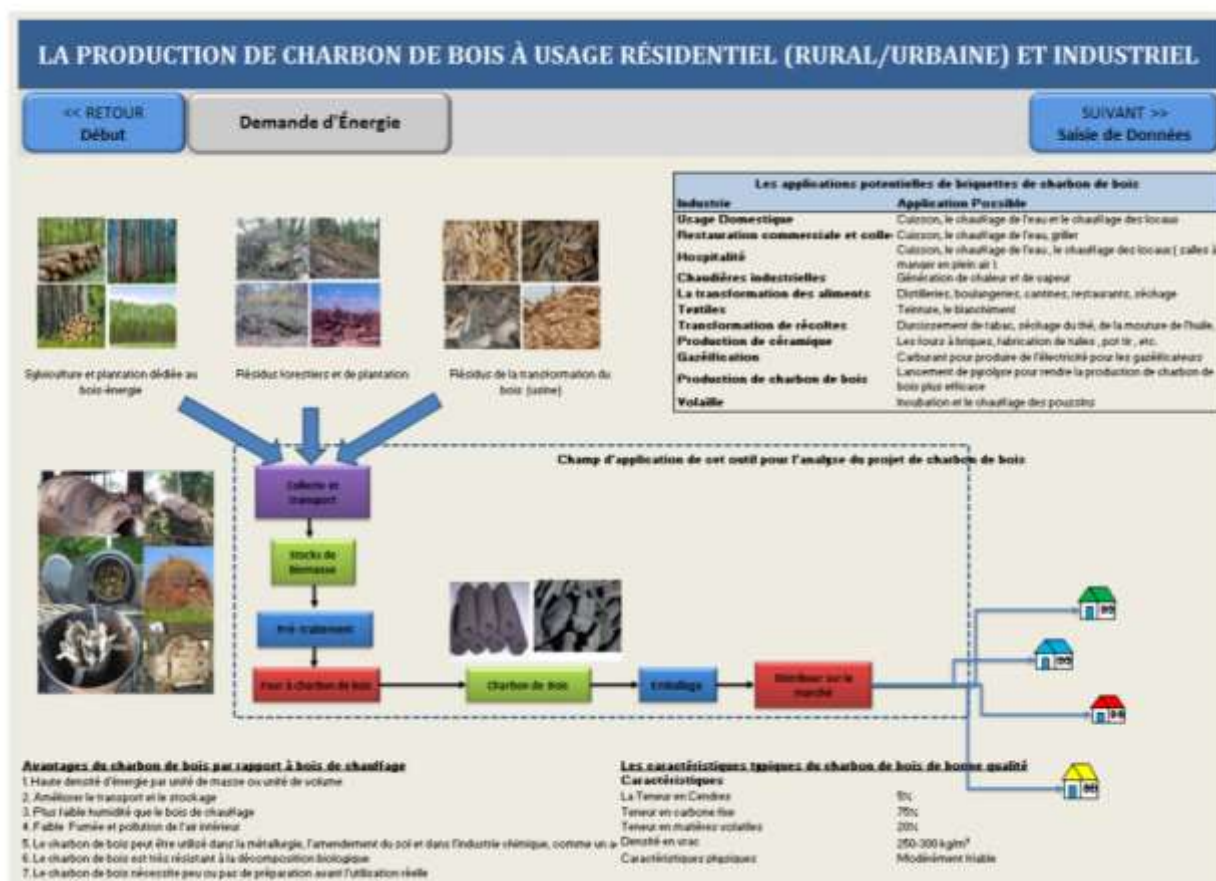


Figure 1313-: Système de charbon de bois pour le chauffage et la cuisson dans les zones rurales et urbaines

Source : (Branca, et al., 2014)

Green Mad Retort (GMDR) : Le Green Mad Retort Kiln (GMDR) est un four à cornue semi-industriel en briques. Il a été initialement développé à Madagascar pour produire du charbon de bois à partir de bois d'Eucalyptus récolté dans des plantations locales pour le même usage que celui proposé par le projet CCI. Le GMDR se compose de trois parties : une chambre de combustion externe, où du bois de moindre qualité ou d'autres biomasses peuvent être utilisés, une chambre à charbon de bois, et une cheminée qui comprend un système simple permettant la post-combustion des gaz générés par la carbonisation. Le GMDR est doté de doubles parois qui assurent l'étanchéité pendant la phase de refroidissement. Cette technique de carbonisation produit jusqu'à 35 % de charbon de bois en masse, lorsqu'elle est utilisée avec du bois à la teneur en humidité appropriée (Guidal, Herail, & Rosenstock, 2018 ; Herail & Guidal, 2018).

Procédé CML avec foyer à cornue industriel : Les usines de production industrielle utilisant le procédé CML consistent en une unité standardisée comprenant 4 ou 12 fours à cornue cylindriques qui sont tous reliés ensemble à un four de post-combustion avant la cheminée. Il utilise la chaleur produite par la combustion des gaz de pyrolyse à des fins de séchage (par exemple, du bois de chauffage) ou pour produire de l'électricité. L'unité CML permet la carbonisation de tous les types de bois, y compris les feuillus et les résineux, ce qui offre une grande souplesse dans le choix des espèces. L'efficacité de la carbonisation (en termes de rendement et de productivité) est directement liée à la qualité et aux caractéristiques de la matière première utilisée (taille des particules, humidité, propreté, etc.). Le charbon de bois est produit dans des cornues cylindriques munies d'un couvercle en haut et d'une trappe de décharge en bas (Guidal, Herail, & Rosenstock, 2018 ; Herail & Guidal, 2018).

Briquettes de charbon de bois : les briquettes de charbon de bois ("charbriquettes") sont des briquettes combustibles fabriquées à partir de biomasse carbonisée. Les particules de poussière de charbon de bois, appelées "fines", sont liées entre elles et comprimées. Les charbriquettes nécessitent un liant, généralement de l'amidon de maïs, de manioc ou de riz, qui représente 5 à 10 % du poids unitaire. Les charbriquettes se comportent et brûlent de manière très similaire au charbon de bois, ce qui oblige les utilisateurs à ne changer ni de fourneau ni de pratiques. Leurs principaux avantages par rapport au charbon de bois sont qu'elles ont une durée de combustion plus longue, ne produisent pas d'étincelles, sont un peu moins polluantes et offrent une qualité constante (Guidal, Herail, & Rosenstock, 2018 ; Herail & Guidal, 2018).

ii. Brève description de l'énergie finale

Les briquettes de charbon de bois ("charbriquettes") sont des briquettes combustibles fabriquées à partir de biomasse carbonisée. Les charbriquettes se comportent et brûlent de manière très similaire au charbon de bois, ce qui oblige les utilisateurs à ne changer ni de foyer ni de mode de cuisson. Leurs principaux avantages par rapport au charbon de bois sont qu'elles ont une durée de combustion plus longue, ne produisent pas d'étincelles, sont un peu moins polluantes et offrent une qualité constante.

iv. Brève description des consommateurs, de la manière dont ils accéderont à l'énergie, des défis éventuels et de la manière dont ils atténueront

En 2014, la consommation moyenne de combustibles ligneux était de 0,21 et 0,12 kg/jour par personne pour le bois de chauffage et le charbon de bois, respectivement. Ceci par rapport à une consommation de 0,79 et 0,15 kg/jour par personne respectivement pour le bois de chauffage et le charbon de bois 20 ans auparavant (Boundzanga 2014). Le bois de chauffage est dominant dans les zones rurales, tandis que le charbon de bois est plus répandu dans les zones urbaines, généralement en raison des coûts de transport et autres. Les tendances projetées en matière de population et d'urbanisation semblent indiquer que la demande de charbon de bois, par rapport au bois de chauffage, continue d'augmenter. Les prix moyens du charbon de bois observés sur le marché intérieur (janvier 2018) varient entre 160-200 FCFA/kg à Pointe Noire et entre 220 et 250 FCFA/kg à Brazzaville. L'expérience montre que même avec une meilleure qualité, il faut du temps pour vendre un nouveau produit de charbon de bois à des prix sensiblement plus élevés que les taux du marché commun. En attendant, le produit doit avoir un prix stable et capable de s'adapter aux futurs chocs économiques. Un prix de 300 FCFA/kg pour le charbon "vert" ou les charbriquettes suffirait comme meilleur prix après avoir pris en compte les bénéfices et les futures augmentations de prix.

3.2.10. Conclusion et recommandation

3.2.11. Domaines d'amélioration de la technologie

L'amélioration des technologies de production du charbon de bois vise essentiellement à augmenter le volume net de charbon de bois produit et à en améliorer la qualité. Une grande partie de la production de charbon de bois dans les pays en développement comme le Congo est une activité semi-illégale à temps partiel, car le bois utilisé est souvent obtenu illégalement. Par conséquent, peu de charbonniers sont disposés à investir dans des foyers à charbon améliorés, car ils seraient vulnérables à des mesures officielles punitives telles que l'imposition de taxes et la saisie. Il s'est donc avéré difficile d'accroître l'adoption de techniques améliorées de production de charbon de bois dans le secteur informel.

3.2.12. Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre

Les plantations de bois et les concessions foncières seront la principale source de matières premières et d'énergie renouvelables. La taille de la plantation est importante car elle déterminera l'approvisionnement durable en matières premières à l'échelle industrielle (voir les estimations à l'annexe 3). Cependant, plus l'échelle de production est grande, plus le potentiel d'impacts sociaux et environnementaux négatifs est important. Les risques de dégradation comprennent l'environnement, la dégradation, la pollution et la diminution des moyens de subsistance des populations locales.

Selon des entretiens avec des informateurs clés, les femmes sont des acteurs marginaux dans la chaîne d'approvisionnement du charbon de bois congolais. Traditionnellement, les femmes sont principalement impliquées dans le commerce du charbon de bois. En raison du volume de production, la CCI devrait exiger une agrégation des acteurs de la chaîne d'approvisionnement, ce qui pourrait marginaliser involontairement le rôle des femmes.

3.3 République Démocratique du Congo

3.3.1. Brève description du secteur identifié

3.3.2. Secteur de l'industrie

Le secteur industriel représentait 5,6 % du PIB en 2003. Autrefois de taille considérable, il se compose aujourd'hui de quelques petites usines produisant des textiles, des produits alimentaires, des produits chimiques et des biens d'équipement. Toutes les branches industrielles ont souffert d'une crise financière qui a affecté le pays pendant plusieurs années. Les industries manufacturières, coupées de leurs sources d'approvisionnement en matières premières et des marchés pour leurs produits finis, n'utilisent actuellement que 15 à 17 % de la capacité de production installée. Pour rendre le secteur industriel du pays plus compétitif, le gouvernement a lancé un programme de réforme des entreprises publiques, sous l'égide du comité de pilotage de la réforme des entreprises publiques (COPIREP). La réforme vise en particulier les secteurs des mines, des transports, de l'énergie, des télécommunications et de la finance. Les entreprises des secteurs des mines, de l'énergie, de l'eau et des transports sont les forces dominantes du système de production, mais l'État est fortement endetté et incapable d'assumer son rôle de promotion de l'activité économique. La période actuelle de transition politique n'est cependant pas propice à la privatisation des entreprises du secteur public, car il existe une opposition à la "dilapidation des biens nationaux". Le pays a adopté de nouveaux codes d'investissement, miniers et forestiers qui offrent aux opérateurs et aux investisseurs plus d'incitations fiscales, de garanties et de transparence (Kabemba, 2005 ; Banque mondiale, 2018).

3.3.3. Les besoins énergétiques du secteur

Le secteur résidentiel arrive en tête (57 %), suivi par les pertes inhérentes aux processus énergétiques (37 %), le secteur industriel occupe la troisième place (2,8 %), suivi par les transports en quatrième position (2,5 %) et l'agriculture, la pêche et la sylviculture sont les derniers du classement (0,1 %). Le tableau suivant montre la demande d'énergie dans le secteur industriel.

Tableau 22: Demande d'énergie dans le secteur industriel

Point	unité	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Industrie							
Faible croissance	GWh	2 490 326	3 449 192	5 742 639	9 800 528	17 141 430	30 947 732
Croissance de base	GWh	2 490 326	4 441 712	15 984 283	15 984 283	31 904 305	62 529 135
Une croissance élevée	GWh	2 490 326	5 031 886	21 847 773	21 847 773	49 918 929	121 220 333

Source : (Esseqqat, 2011)

3.3.4. Obstacles au développement économique du secteur

Les principaux obstacles au développement de l'industrie sont le manque de compétences techniques et managériales, l'accès difficile aux ressources financières et, surtout, le manque de sécurité financière. Il y a très peu de demande de sous-traitance de la part des grandes entreprises. Par conséquent, le secteur industriel ne participe pratiquement pas au processus de développement. La technologie est obsolète et la productivité très faible. Elles n'ont ni système comptable ni véritable discipline financière et organisationnelle, et leur durée de vie moyenne est de cinq ans. En outre, la baisse constante du niveau de vie a entraîné une croissance explosive du secteur productif informel, reflétant les stratégies de survie des ménages (Kabemba, 2005).

Le plus grand obstacle auquel est confronté le secteur industriel est le financement. Ils couvrent leurs besoins en capitaux par des avances de clients, de la famille et des amis. Le développement industriel du pays est faible en comparaison avec le Cameroun et les autres pays de la région. Les banques n'accordent aucun prêt aux PME. Un département des PME a été créé au sein du ministère de l'Industrie, mais ses ressources financières sont dérisoires compte tenu de l'ampleur des besoins du secteur (Kabemba, 2005).

3.3.5. Secteur résidentiel

Comme dans les autres pays du bassin du Congo, tous les ménages des zones rurales, urbaines et périurbaines constituent le secteur résidentiel de la RDC. Les zones urbaines et périurbaines comptent le plus grand nombre de ménages. La principale activité des ménages en RDC est l'agriculture. Les résidents des zones urbaines de la RDC ont une pratique établie de l'agriculture urbaine. Les ménages pauvres utilisent leurs parcelles résidentielles pour cultiver du maïs et des légumes, principalement pour la consommation du ménage. Les résidents cultivent également sur les voies publiques, les zones de collines et les bassins dans le périmètre urbain. Les zones périurbaines sont souvent consacrées à l'agriculture. Le secteur résidentiel est le premier consommateur d'énergie. Cependant, l'analyse de la situation énergétique montre qu'il existe un écart important entre l'offre et la demande dans ce secteur. Cela se justifie par le fait que le nombre de ménages augmente avec la population.

3.3.6. Besoin énergétique du secteur

Plus de 57% de l'énergie produite en RDC est consommée par le secteur résidentiel. Le bois et le charbon de bois sont les principales sources d'énergie. Le tableau ci-dessous montre les tendances passées de la demande énergétique pour les projections futures du secteur résidentiel.

Tableau 33: Demande d'énergie dans le secteur résidentiel

Point	unité	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Ménage							
Faible croissance	GWh	2 201 082	4 135 048	11 480 187	18 497 992	28 155 558	48 781 342
Croissance de base	GWh	2 201 082	4 925 434	11 640 764	22 809 205	39 462 932	68 740 595
Une croissance élevée	GWh	2 201 082	7 515 363	23 185 713	32 525 276	50 672 589	80 958 709

Source : (Esseqqat, 2011)

3.3.7. Obstacle au développement économique du secteur

Comme d'autres pays africains, le secteur résidentiel en RDC est confronté au même défi d'accès à une électricité fiable. Ce problème touche aussi bien les ménages des zones rurales que ceux des zones urbaines. En RDC, l'énergie produite est distribuée de manière préférentielle aux industries, notamment à celles du secteur minier. En conséquence, le secteur résidentiel et les autres secteurs souffrent d'un approvisionnement insuffisant. La pauvreté est présente dans la plupart des ménages. De nombreux ménages dans le pays ont un revenu moyen faible. Cela ne leur permet pas de payer l'électricité et ils utilisent donc du bois, du kérosène, du pétrole et de nombreux autres combustibles traditionnels qui présentent des risques élevés pour la santé. Le temps et l'argent consacrés à la collecte du bois et d'autres combustibles privent les ménages de ressources qui pourraient être utilisées pour améliorer d'autres activités génératrices de revenus.

3.3.8. Ressources bioénergétiques disponibles, brève description des quantités

La RDC compte environ 125 millions d'hectares de forêts, soit 67,9% de la superficie du pays. Le bois de chauffage et le charbon de bois sont les principaux combustibles de biomasse utilisés pour la cuisine et d'autres usages domestiques. Cependant, ces combustibles sont inefficaces et polluent l'environnement. Selon les données de 1985, la consommation de ces combustibles représentait 8,5 millions de tep (tonne équivalent pétrole), soit 86% de l'énergie totale utilisée en RDC. Le bois et le charbon de bois représentent respectivement 75 % et 25 % de ces combustibles (Kusakana, 2016).

3.3.9. Description détaillée de la technologie de conversion :

Le type de SCI diffusé pour être utilisé sera les foyers à microgazéification qui brûlent des granulés de bois de chauffage. Les cuisinières à microgazéification brûlent le bois de chauffage de manière très

efficace et propre. Les foyers à microgazéification produisent leur propre gaz à partir de la biomasse solide de manière contrôlée. La production de gaz se fait séparément de la combustion ultérieure du gaz. Comme le gaz de bois est brûlé, les foyers à microgazéification sont presque aussi propres que les foyers à GPL.

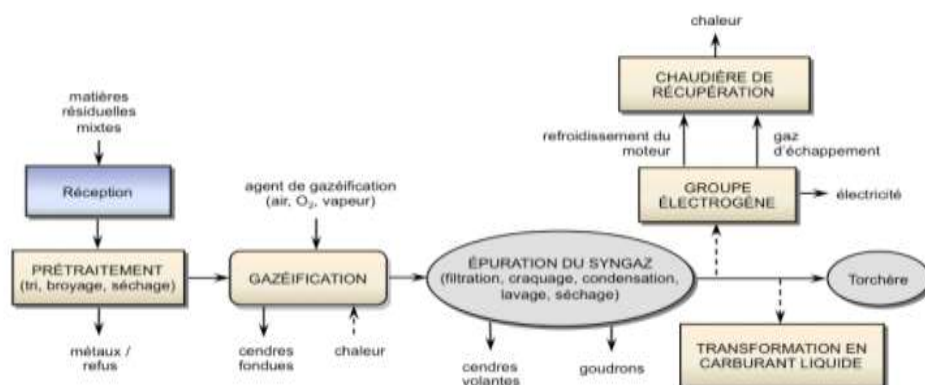


Figure 1414: Schéma d'écoulement typique d'un processus de gazéification avec ou sans cogénération et unité de chaleur

i. Prétraitement et traitements de la matière première avant utilisation

Pour ce type de foyer à microgaz amélioré, des granulés seront utilisés comme combustible. Par conséquent, les déchets issus de l'exploitation du bois seront utilisés pour la production de granulés. La sciure, les copeaux, les branches, les malformations cardiaques et autres parties d'arbres seront utilisés. Ces déchets doivent être prétraités. Le prétraitement consiste à trier, broyer et ensuite éliminer les matières indésirables.

ii. Brève description de l'énergie finale

Le produit final sera des granulés de bois qui ressemblent à un petit bâton cylindrique de déchets de bois broyés et compactés. On utilise surtout de la sciure et des copeaux de bois. Sa longueur est d'environ 4 à 6 cm ; son diamètre est d'environ 5 mm ; sa densité est de 650 kg/m³ ; son pouvoir calorifique est d'environ 4,8 Mwh/t.

iii. Brève description des consommateurs, de la manière dont ils accèderont à l'énergie, des défis éventuels et de la manière dont ils atténueront

Compte tenu de la situation énergétique, la demande énergétique des ménages est de plus en plus forte, ce qui exerce une pression supplémentaire sur les forêts. Les consommateurs potentiels de pellets et de foyers à microgazéification sont les ménages à faibles revenus (zones urbaines et rurales) et les ménages à revenus moyens (zones urbaines et rurales). Dans le secteur industriel, les industries minières et pâtisseries sont des utilisateurs potentiels. Les ménages sont revenus pour acheter les pellets directement chez les revendeurs ou à l'usine de fabrication. Un kilogramme de pellets coûte 200 Fcfa. Le coût des pellets par kilogramme pourrait être subventionné en proportion de la quantité de déchets qu'un client apporte à l'usine ou aux vendeurs. De même, le coût des foyers à micro-gaz sera réduit si les clients apportent des déchets organiques pour acheter des pellets à prix réduit. Le service à la clientèle peut également inclure la livraison à domicile des pellets ou des foyers à microgaz, aux frais du client. Le paiement sera effectué soit en espèces, soit par virement bancaire. Le coût de la vente des pellets à l'industriel sera fonction de la quantité demandée et du type de partenariat.

3.3.10. Conclusion et recommandation

3.3.11. Domaines d'amélioration de la technologie

Quelques publications concernant les granulés de bois avec additifs ont été publiées auparavant et la section suivante présente des analyses détaillées de certaines d'entre elles. Des chercheurs suédois se sont concentrés sur la réduction des oxydes d'azote en utilisant des additifs dans leurs travaux. Des expériences ont été menées avec une chaudière de 90 kWh à combustion en lit fluidisé sous pression. Pour obtenir des valeurs d'émission d'oxydes d'azote plus faibles, des additifs de carbonate de sodium (Na_2CO_3), de bicarbonate d'ammonium (NH_4HCO_3) et d'urée ont été utilisés. De la paille, du saule et de la sciure ont été utilisés comme combustible. Seule l'urée avait pour effet de réduire les oxydes d'azote. Un autre travail de recherche mené au Danemark a consisté à appliquer divers additifs à la biomasse. Les additifs étaient mélangés au combustible directement sur la grille. Il a été constaté que les effets des additifs dépendent également de la technologie de combustion utilisée. Les résultats des tests ont montré qu'il est possible de brûler de la paille de blé avec des copeaux de bois, des noyaux d'olive et des noix de karité. Au cours des expériences, il n'y a pas eu de problèmes graves liés au dépôt et à la corrosion. Le rapport a conclu que la combustion de la paille avec du charbon de haute qualité pourrait réduire la corrosion et la formation de cendres dans la chaudière (Holubcik & Nosek, 2012).

3.3.12. Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre

Plusieurs articles de recherche indiquent que l'utilisation de biocarburants à base de bois pour le chauffage résidentiel présente des avantages environnementaux. Ces avantages peuvent être encore renforcés lorsque le biocarburant est produit localement afin de minimiser les coûts associés à son importation. Bien que ce rapport se concentre principalement sur les impacts du carbone, il existe plusieurs autres impacts environnementaux des combustibles fossiles, tels que le smog, les effets respiratoires et l'appauvrissement de la couche d'ozone.

Les effets négatifs de la cuisine traditionnelle à base de combustibles solides sur l'égalité des sexes sont évidents. Les femmes supportent une part disproportionnée des coûts liés à la collecte du bois de chauffage, tels que les blessures physiques causées par les lourdes charges, les attaques d'animaux et les agressions sexuelles (Banque mondiale, 2014).

3.4 République du Burundi

3.4.1. Brève description du secteur identifié

3.4.1.1 Secteur domestique / institutionnel

Le Burundi est un petit pays densément peuplé qui sort de douze années de conflit sociopolitique. Bien que cela soit positif, le pays continue à faire face à de graves problèmes de sécurité alimentaire et de nutrition. Le Burundi est l'un des pays les plus pauvres en ressources, à faible revenu et à déficit alimentaire au monde. Selon le rapport 2014 sur l'indice de la faim dans le monde, il connaît également les niveaux de faim les plus élevés en Afrique subsaharienne, avec un score de 35,6 dans l'indice mondial. Le Rapport sur le développement humain 2014 du PNUD a classé le Burundi au 180e rang sur 187 pays, avec un niveau de pauvreté généralisée de 90 à 95 %. La majorité de la population, en particulier dans les zones rurales, vit avec moins de 2 USD par jour (PAM, 2016).

Le revenu national par habitant est d'environ 260 dollars, ce qui est l'un des plus bas du monde. Environ 90 % de la population vit dans les zones rurales, bien que la population urbaine ait connu une croissance rapide au cours de la dernière décennie. La majorité des ménages burundais dépendent de la biomasse pour la plupart de leurs besoins énergétiques. Les ménages sont les principaux consommateurs d'énergie dans le pays, représentant 94 % de la consommation nationale totale d'énergie. Les besoins des ménages sont presque exclusivement et entièrement satisfaits par la biomasse traditionnelle. Selon les statistiques, la dépendance des ménages à la biomasse est de 99 %. Une forte densité de population combinée à une utilisation non durable de la biomasse et à des méthodes de cuisson inefficaces, comme l'utilisation de foyers à trois pierres, fait du bois de chauffage une denrée rare. Les efforts visant à reconstituer le couvert forestier par le biais du reboisement se heurtent à des intérêts concurrents, à savoir la préférence pour l'utilisation des terres inutilisées à des fins agricoles. On estime que seulement 6 % de la superficie totale du pays est boisée.

La Banque Mondiale estime à <1% l'accès national à des solutions de cuisson propres (SE4All, 2020). La Vision 2025 du Burundi a pour principal objectif de garantir que d'ici 2025, les populations rurales et urbaines aient accès à des sources d'énergie fiables et propres à des prix compétitifs. La Contribution Nationale Déterminée Intentionnelle (CNDI) du Burundi vise également à ce que 100% des foyers à charbon traditionnels et des foyers domestiques traditionnels soient remplacés d'ici 2030. Il est donc essentiel d'établir un projet de bioénergie qui réponde aux besoins du secteur domestique et qui s'inscrive également dans les objectifs nationaux à long terme.

3.4.1.2 Les besoins énergétiques du secteur

Plus de 90 % de la population des villes et presque 100 % des centres urbains secondaires utilisent le charbon de bois ou le bois de chauffage comme combustible de cuisson. Ainsi, au Burundi, les ressources naturelles sont généralement en déclin en raison de deux facteurs : une population croissante qui exerce une pression pour obtenir davantage de terres agricoles pour la production alimentaire et un rapport de déficit annuel considérable de 13% entre l'offre et la demande de bois-énergie.

Une forte croissance démographique et l'épuisement rapide des ressources naturelles grèvent le budget national du pays. Par conséquent, il est de plus en plus urgent d'exploiter des sources d'énergie

alternatives aux combustibles fossiles pour répondre à la demande actuelle et future du pays. Même si la majorité des ménages et des communautés dépendent du bois de chauffage pour la cuisine, leurs pratiques de consommation d'énergie ne sont pas durables sur le plan environnemental. Plus de 86 % des ménages du pays utilisent le traditionnel foyer à trois pierres pour la cuisson et l'ébullition de l'eau. Cette méthode a une très faible efficacité énergétique. Environ 85 à 90 % de l'énergie est perdue dans l'atmosphère en utilisant cette méthode. En outre, 7 % des ménages et des communautés utilisent des foyers traditionnels en terre alors que seuls 7 % ont accès à des foyers améliorés. Le bois de chauffage représente plus de 96 % de la consommation nationale totale. La majorité des utilisateurs se trouvent dans les zones rurales (76%) par rapport aux zones urbaines (24%). Avec une telle dépendance du bois de chauffage à des fins domestiques, il y a toujours un déficit d'approvisionnement en bois de chauffage chaque année. Étant donné que l'utilisation de l'énergie de la biomasse restera probablement la principale source d'énergie dans les zones rurales, il convient d'évaluer comment les combustibles solides à base de bois, bon marché, peuvent être utilisés comme source d'énergie alternative fiable.

3.4.1.3 Obstacles au développement économique du secteur

Selon le Plan National de Développement (PND) (2018-2027), le déficit énergétique est considéré comme l'un des principaux obstacles au développement socio-économique du pays. Selon le rapport du PND, le gouvernement du Burundi (GoB) a identifié trois objectifs stratégiques pour l'économie : le premier objectif est d'assurer une croissance durable et inclusive pour la résilience économique et le développement durable. Partant de cet objectif, le deuxième pilier stratégique se concentre sur la construction d'infrastructures appropriées pour soutenir la production d'énergie et promouvoir également les énergies renouvelables (Banque Mondiale, 2019). Il existe également plusieurs sources disponibles de biomasse résiduelle et de résidus agricoles dans tout le Burundi, mais qui restent largement inexploitées.

Une étude du Programme alimentaire Mondial (PAM) en 2016 (PAM, 2016) a souligné que l'accès limité aux sources d'énergie propres était l'une des raisons pour lesquelles les ménages vont chercher du bois de chauffage pour leurs besoins de chauffage, de cuisson et d'éclairage. L'utilisation du bois de chauffage n'est pas seulement un risque pour la santé des membres du ménage, mais c'est aussi une activité qui prend beaucoup de temps et qui empêche les ménages de s'engager dans des activités génératrices de revenus. En outre, elle contribuait à l'absentéisme scolaire, les enfants aidant à ramasser du bois de chauffage au lieu d'être en classe. Un deuxième facteur contribuant à cette situation est le taux élevé de pauvreté dans le pays. La plupart des ménages n'ont pas les moyens de s'offrir des combustibles propres et ont donc recours à des foyers à trois pierres et à d'autres combustibles solides.

3.4.2. Description détaillée de la technologie de conversion et du projet

Nom du projet : solutions de cuisson bioénergétiques durables pour les ménages ruraux et urbains de la province de Bujumbura par la production et la distribution de foyers semi-gazéifiés alimentés par des pellets et de pellets de bois de chauffage.

Le projet proposé s'appuie sur le succès d'Inyenyeri, une entreprise sociale actuellement active au Rwanda (Inyenyeri, 2020). Basée à Gisenyi, au Rwanda, l'organisation sociale distribue actuellement le foyer à gaz Mimi Moto à tirage forcé, alimenté par des granulés, selon un modèle commercial qui prétend mettre l'accent sur le service à la clientèle et l'accessibilité financière. Le Mimi Moto est actuellement le foyer en bois le plus performant selon des mesures effectuées en laboratoire (Catalogue

de la cuisine propre, 2020). Il offre donc la possibilité de réduire considérablement les émissions (et l'exposition) à l'intérieur des bâtiments par rapport aux foyers à combustibles solides traditionnels. Il n'existe pas d'initiative similaire au Burundi, mais il est possible d'essayer une technologie similaire avec quelques modifications en fonction des besoins du client.



Figure 1515-: Diagramme montrant une publicité pour le foyer Inyenyeri

3.4.1.4 Prétraitement et traitements de la matière première avant son utilisation

Les granulés de bois seront produits à partir des sous-produits des industries de transformation du bois (sciure ou copeaux de bois) ou des résidus forestiers collectés dans la forêt de Gakara-Gahuni, dans la province de Bujumbura. Grâce à un processus de séchage supplémentaire, les granulés de biomasse fabriqués à partir de la matière première du bois offrent un contenu énergétique allant jusqu'à 3100kCal/kg par rapport au bois brut qui offre beaucoup moins. Cela fait des granulés un substitut viable au charbon de bois. Dans le processus de granulation, les résidus de biomasse forestière provenant principalement de branches tombées, d'arbres déracinés, de sciure, de déchets de production de poteaux, de gaines et de napier coupé sont déchetés puis compressés à l'aide d'une machine à granuler spécialisée ; ce processus est gourmand en énergie et l'électricité est donc utilisée pour alimenter l'ensemble du processus de production. Un exemple du processus de granulation est fourni ci-dessous.



Figure 1616: Un exemple de granulés



Figure 1717: Procédé de granulation utilisé par Inyereri

3.4.1.5 Brève description de l'énergie finale

Les granulés de bois sont le produit final de l'ensemble du processus. Le marché le plus proche et le plus important pour ces granulés est le secteur résidentiel du Burundi. La manière de fournir des foyers aux clients dépendra fortement des leçons tirées au Rwanda, qui a l'expérience d'un projet similaire. L'utilisation de foyers à gaz à base de pellets constitue une étape viable dans la transition des ménages vers une énergie plus propre et, d'une manière générale, permet de réduire la quantité de gaz à effet de serre émis par les combustibles traditionnels. Les pellets sont des combustibles de qualité homogène qui réduisent la variabilité inhérente à la taille, à la forme et à la teneur en humidité associée à la plupart des combustibles solides (Champion & Grieshop, 2019). Une étude menée par Wathiora et al. sur les SCI au Malawi (Wathore, Mortimer, & Grieshop, 2017) a constaté que l'hétérogénéité de la qualité et du chargement des combustibles était un facteur clé de la réduction des performances des SCI à tirage forcé. C'est pourquoi il est recommandé d'utiliser des combustibles homogènes, tels que les pellets, pour accroître l'efficacité opérationnelle des SCI.

3.4.1.6 Brève description des défis auxquels sont confrontés les consommateurs et de la manière dont ils seront atténués

Au Rwanda, les clients d'Inyenyeri signent un contrat mensuel pour l'achat de pellets. Les prix des pellets sont compétitifs par rapport aux prix du marché du charbon de bois. Outre le foyer, les clients ont droit à une formation régulière, à la livraison de combustible et à des réparations gratuites.

Faits marquants du travail de l'entreprise Inyenyeri au Rwanda (Inyenyeri, 2020):

- **Une location gratuite des foyers à biomasse les plus propres et les plus efficaces.** En échange, les clients acceptent d'acheter du combustible à base de granulés de bois à l'entreprise.
- **Tout le monde peut être client.** Les femmes des villes achètent leurs pellets de combustible au comptant, tandis que les clients ruraux échangent la biomasse brute contre des pellets.
- **Économisez de l'argent dès le premier jour.** Une famille rwandaise dépense généralement environ 21 dollars pour cuisiner pendant un mois avec du charbon de bois, mais seulement 14 dollars environ avec l'Inyenyeri.
- **Les clients ruraux doivent ramasser deux fois moins de bois qu'auparavant.** Cela permet d'économiser plus de 30 heures par mois, ce qui expose les femmes et les jeunes filles à moins de risques en matière de sécurité et laisse plus de temps pour le travail et l'éducation.
- **100 % sans risque et sans tracas.** L'inscription est gratuite et les clients reçoivent autant de réchauds qu'ils en ont besoin pour remplacer complètement leur ancienne façon de cuisiner. Un avantage supplémentaire : la réparation et le remplacement à vie sans frais.
- **Formation et livraison gratuites.** Avec les SMS et l'argent du portable, les clients bénéficient d'une livraison gratuite de carburant à leur domicile par vélo-taxi, ainsi que de mises à niveau à vie sur leurs cuisinières.

3.4.3. Conclusion et recommandation

3.4.1.7 Domaines d'amélioration de la technologie

Une étude récente au Rwanda sur les foyers Mimi Moto montre que lorsqu'ils sont mal utilisés, les foyers à gaz à granulés peuvent émettre autant de gaz à effet de serre que les foyers à bois et à charbon traditionnels. Il est donc prudent de former soigneusement les acheteurs à leur utilisation correcte. L'étude a souligné l'importance d'utiliser du kérosène plutôt que du bois d'allumage pour faire fonctionner les cuisinières. Les clients sont également invités à surveiller leurs foyers pendant le ravitaillement, vers la fin de la cuisson, et à éliminer correctement le charbon de bois des granulés après utilisation, plutôt que de le laisser couvrir. D'après les résultats positifs observés au Rwanda dans une entreprise similaire, et le modèle commercial d'Inyenyeri qui continue à être affiné et documenté, l'entreprise ICS au Burundi pourrait être en mesure d'offrir aux clients des avantages similaires en matière de santé et de climat par rapport à d'autres combustibles de cuisson, et également de réduire les contraintes socio-économiques auxquelles la plupart des ménages sont confrontés pour accéder à des combustibles de cuisson propres.

3.4.1.8 Toute recommandation en matière de politique, d'environnement ou de genre

Le projet proposé a un potentiel énorme pour contribuer aux objectifs de CND du Burundi. Le projet soutiendra également les efforts du pays pour accroître l'accès des ménages à des technologies

bioénergétiques abordables et viables qui peuvent contribuer à atteindre les objectifs du pays en matière de cuisine propre. Le projet présente également des avantages pour les femmes, comme l'illustre la section ~~3.4.1.63.4.2.3~~ ci-dessus.

3.5 Burkina Faso

3.4.4. Brève description du secteur identifié

3.5.1.1 Secteur domestique/industriel/commerce et services

La noix de cajou est devenue le 5^{ème} produit d'exportation du Burkina Faso. La noix de cajou est considérée, au niveau de la politique nationale de développement, comme l'un des principaux domaines prioritaires. La superficie en 2015 était de 255 000 hectares, principalement dans la partie sud-ouest du pays. En 2020, la production a atteint 100 000 tonnes. (**Comité Interprofessionnel de l'Anacarde du Burkina, 2018**). En 2019, le pays a transformé près de 10 000 tonnes de noix brutes par an, soit 10 % de la production, et ces volumes devraient augmenter régulièrement dans les années à venir. C'est ce que prévoit l'Initiative anacarde, un projet phare mis en œuvre par le Conseil burkinabè d'Anacarde et ses partenaires, qui prévoit de porter à 45 % le taux national de transformation des noix. En particulier, 20 nouvelles unités de transformation des noix devraient être construites d'ici 2024 grâce au soutien de ce projet. Les investisseurs sont en mouvement depuis 2020 et plusieurs unités de transformation industrielle ont démarré cette année.

La plupart des nouvelles plantes sont nées à Bobo-Dioulasso, la capitale de la région du Haut Bassin du pays, située au cœur de la zone de plantation de la noix de cajou. En effet, la ville bénéficie de bonnes connexions avec le reste du pays ainsi que du chemin de fer qui facilite l'acheminement des marchandises vers le port d'Abidjan. La deuxième zone de concentration de la transformation est la région des Cascades. Le secteur de la noix de cajou, en plus d'être une source d'emploi et de revenus stables pour plus de 45 000 ménages producteurs de noix, fournit des emplois sur le maillon de la transformation : selon le CIAB, 10 000 emplois directs sont mobilisés par la dizaine de centres de transformation en activité dans le pays, dont près de 90% sont occupés par des femmes.

Les usines de transformation les plus nombreuses sont généralement situées dans les zones industrielles et sont donc entourées par d'autres acteurs du tissu manufacturier burkinabè : transformateurs de produits agroalimentaires, industrie textile, matériaux de construction.

3.5.1.2 Les besoins énergétiques du secteur

Les industries du sud-ouest du pays, en particulier l'industrie agroalimentaire, ont des besoins énergétiques sous forme d'électricité mais aussi de chaleur. Les unités agroalimentaires ont souvent une capacité unitaire installée de un à quelques centaines de kW et paient donc l'énergie aux tarifs les plus élevés du pays ; alors que le prix du kWh au Burkina Faso est déjà l'un des plus élevés d'Afrique. (Prix mondiaux du pétrole, 2020). L'énergie thermique est parfois fournie par les déchets agroalimentaires eux-mêmes ; c'est le cas des industries de la noix de cajou ou du karité.

Dans les usines de transformation de la noix de cajou, environ 70 % de la noix qui sert de matière première aux usines devient un déchet. La majeure partie de ce poids correspond à la coque, qui n'est valorisée qu'en faible proportion (10 à 15% des coques) comme combustible au sein de la plante ; cela n'évite cependant pas de soulever des questions sur la pertinence de cette méthode de valorisation, comme nous le soulignons ci-dessous.

L'utilisation de ces déchets par d'autres unités de production voisines suscite un intérêt croissant. C'est le cas des unités de raffinage de l'huile de coton ou de séchage des fruits, qui tirent parti des déchets de coques des unités de production de noix de cajou. En effet, la coque de la noix de cajou est un combustible de chauffage et peut être brûlée telle quelle, ce qui en fait un bon combustible de

substitution au bois, que les industriels continuent d'utiliser dans leurs chaufferies. Cependant, cette application de la coque trouve ses limites dans la nocivité des fumées émises lors de la combustion directe. En effet, la combustion directe des coques libère des substances corrosives et les fumées de cheminée des usines sont donc pointées du doigt comme source de nuisance et de pollution de l'air. C'est pourquoi l'utilisation de la coque est encore loin d'être généralisée, alors que le gisement est important et en constante augmentation.

Comme indiqué dans le rapport 2.1, qui indique les emplacements de la biomasse résiduelle, avec des volumes traités en 2019, 11 200 tonnes de coques seraient disponibles pour une évaluation parce qu'elles n'ont pas été évaluées autrement ; et d'ici 2030, si l'hypothèse de 45 % de la production nationale est traitée (200 000 tonnes prévues), cela représenterait 50 400 tonnes de coques à évaluer. Sans parler des autres gisements de biomasse sèche également disponibles, comme les tourteaux de karité produits par des unités industrielles souvent situées dans les mêmes zones industrielles.

Si ce combustible est disponible en grande quantité dans les foyers industriels qui consomment à la fois de l'électricité et de la chaleur, la possibilité de produire de l'électricité à partir de cette biomasse semble attrayante à première vue.

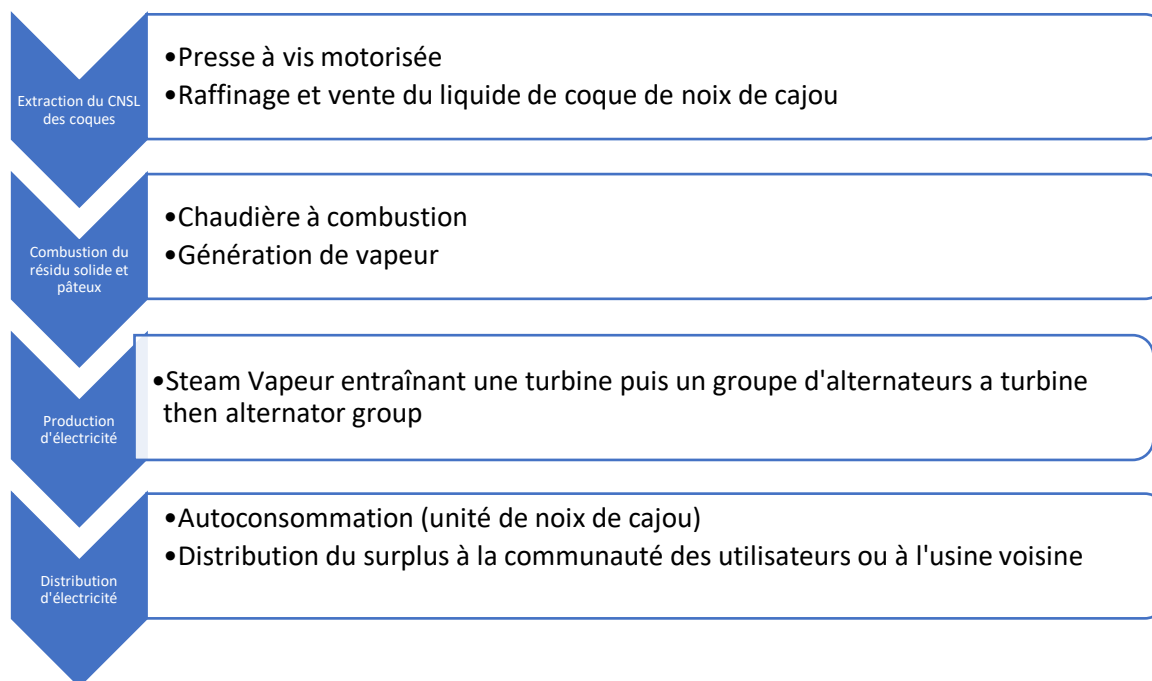
3.5.1.3 Défis du développement économique du secteur

Les enjeux autour de la coque de la noix de cajou ne s'arrêtent pas là : sans une réelle valorisation économique, ce déchet devient une charge pour les unités de transformation, et un risque supplémentaire à supporter. C'est aussi un élément de compétitivité vis-à-vis des concurrents asiatiques qui valorisent toutes les coques, et qui peuvent compter sur cette source de revenus.

La réduction croissante du secteur par l'installation de nouvelles usines s'accompagnera inévitablement de l'augmentation correspondante de la génération de coques, aujourd'hui négligée du circuit productif. En effet, petites et grandes unités, toutes sont à la recherche de modèles durables capables d'absorber et de valoriser ces déchets. Maintenant que l'industrie de la noix de cajou est en plein essor, et que la volonté politique est forte, il est temps d'envisager des solutions pour le traitement des coques qui tiennent compte du secteur de la transformation dans toute sa diversité.

3.4.5. Description de la technologie et du système de fonctionnement

Tout d'abord, la coque doit être débarrassée de l'huile qu'elle contient. Ce liquide, appelé liquide de coque de noix de cajou (CNSL), est contenu dans la coque à hauteur de 20 à 25%. C'est un liquide, bien que communément appelé huile, qui n'est pas comestible. Il provoque également des problèmes de fumée lors de la combustion, et la nature irritante des coques au toucher. C'est néanmoins une substance précieuse, car à partir de la CNSL il est possible de fabriquer divers produits, dans le domaine des peintures et des polymères mais aussi des substances actives comme pesticide, et enfin comme combustible liquide (car il est comparable au fioul lourd). L'extraction du CNSL est réalisée par extrusion des coques dans une presse à vis. Le CNSL doit être décanté et raffiné pour devenir un produit commercialisable. Les résidus qui résultent de ces processus de traitement peuvent être économes en énergie, à commencer par le résidu solide après l'extrusion des coques, appelé tourteau.



3.4.6. Valorisation de la biomasse en amont

Comme expliqué au point 2.1 ci-dessus, il est conseillé de séparer le CNSL de la partie boisée des coques, pour plusieurs raisons : [3.4.5 ci-dessus](#)

- Le CNSL peut être vendu avec une valeur intéressante comme combustible liquide, au service de l'industrie lourde (métallurgie, ciment) ou de la petite industrie (boulangeries). La valeur obtenue pour ce matériau est supérieure à la valeur de la biomasse solide.
- Il y a de fortes chances que le CNSL génère des problèmes dans le système de conversion de l'énergie (encrassement, colmatage de goudron, encrassement des pièces mobiles, corrosion des joints et des matériaux fragiles, etc.), ce qui complique l'opération en augmentant les coûts de l'O et du M, et pourrait forcer le choix de matériaux résistants à cette substance, donc plus chers.
- Le CNSL a le potentiel d'être une source d'autres produits à haute valeur ajoutée (pas seulement du carburant). Par conséquent, dans le but d'optimiser la valorisation de la matière, il est conseillé de laisser ouverte la possibilité que la CNSL soit disponible pour d'autres utilisations (polymère, résine, ...), qui peuvent être plus intéressantes d'un point de vue économique.

Une fois le CNSL extrait, le repas n'est plus dangereux pour les machines et le liquide peut être évalué sur une autre piste en fonction de la demande du marché.

3.4.7. Description du produit énergétique final

La conversion du repas par cogénération telle que décrite ci-dessus produit donc de l'énergie récupérable sous forme d'électricité et de chaleur.

La distribution de l'énergie (thermique et électrique) produite dépendra dans une large mesure de l'organisation administrative de l'unité de conversion de la biomasse. L'option la plus intéressante est que l'exploitant de l'installation soit une entité mixte composée de fournisseurs de biomasse (moulins à

vent et éventuellement autres). Dans ce cas, les coûts d'approvisionnement en matières premières sont minimales et les producteurs de biomasse participent au partage de l'énergie électrique et thermique. Cet opérateur aura un statut d'auto producteur. Dans la législation burkinabé, l'autoproduction d'énergie électrique consiste à produire de l'électricité principalement mais pas exclusivement pour son propre usage (Gouvernement du Burkina Faso, 2017). Dans ce contexte, le constructeur automobile pourra vendre ou transférer son excédent d'électricité à un distributeur ou à un client éligible dans le cadre d'un contrat d'achat automatique. L'unité de production utilisera une partie de l'électricité pour faire fonctionner l'installation d'extraction de la CNSL, puis exportera le surplus vers les usines voisines, en fonction des contrats d'achat.

Le site de conversion de la biomasse doit être aussi proche que possible d'un ou plusieurs consommateurs de chaleur. Il peut s'agir d'unités de cajou, ou d'autres unités industrielles nécessitant de la chaleur à basse température.

3.4.8. Description du consommateur (profil, modalités d'accès aux produits énergétiques, défis potentiels et comment les combiner)

Les consommateurs sont les industriels de la région. Qu'il s'agisse de l'industrie alimentaire (oléagineux, fruits, farines) ou d'autres secteurs (ciment, métallurgie, polymères...). Dans l'idéal, les industriels impliqués dans la fourniture de matières premières (biomasse) auront la priorité d'accès à l'électricité. Cette énergie peut être partagée de facto sur la base de la contribution énergétique brute à l'entrée, ce qui favorise l'équilibre entre les intérêts et les bénéfices apportés par l'accès à une énergie moins chère. En premier lieu, ce sont les unités de transformation de la noix de cajou qui en bénéficieraient. Mais d'autres déchets peuvent être valorisés dans ces installations, comme la farine de karité (disponible par milliers de tonnes par an dans la même région).

3.4.9. Conclusion et recommandation

3.5.1.4 Une technologie améliorée

Le choix de la technologie de conversion peut évidemment affecter les coûts d'investissement et d'exploitation, mais aussi les rendements énergétiques thermiques/électriques et même les sous-produits. C'est pourquoi les besoins des bénéficiaires doivent être caractérisés au mieux. La technologie de gazéification pourrait également avoir l'avantage de produire du charbon comme sous-produit, avec des bénéfices de vente aux populations de cette matière.

3.5.1.5 Recommandations au niveau politique, réglementaire, environnemental, du genre

Compte tenu des chiffres de production soutenus des vergers nationaux ces dernières années, par rapport aux faibles taux de transformation dans le pays, il est fort probable que la noix de cajou dispose encore d'un énorme potentiel inexploité, pour apporter au pays une valeur ajoutée encore plus importante qu'elle ne le fait actuellement. En ce sens, un projet pilote installé à proximité d'une ou plusieurs unités de transformation de la noix de cajou peut devenir un exemple reproductible dans les autres pôles de développement du pays et contribuer à la durabilité et à la compétitivité de l'industrie de la noix de cajou, stratégiquement pour le pays.

La principale recommandation est le choix des bénéficiaires et des opérateurs de l'unité de récupération pilote. Il est fortement recommandé qu'ils soient des acteurs ayant une forte présence dans le pays et

une vision pragmatique de l'accès à l'énergie. La meilleure étude de cas semble être celle de l'usine d'Anatrans, dans la zone industrielle du nord, qui fonctionne en continu depuis 2013. Anatrans est actuellement la plus grande unité du pays, avec une capacité de traitement de 10 000 tonnes d'ici 2020. Voisine, une deuxième usine de noix de cajou vient de s'installer, et deux unités d'extraction de beurre de karité qui pourraient à terme rejoindre le projet et devenir parties prenantes.

3.6 République de Côte d'Ivoire

3.6.1. Brève description du secteur identifié

3.6.1.1 Secteur de l'agriculture

La Côte d'Ivoire, avec une population de 19,9 millions d'habitants dont les deux tiers dépendent de l'agriculture, affiche une croissance soutenue dans tous ses secteurs économiques, y compris le secteur agricole qui représente 28% du PIB du pays (MAF, 2019). La moitié sud du pays, où la forêt dense et humide dominait autrefois, bénéficie d'un climat guinéen qui permet une diversité de cultures, en plus de l'exploitation forestière traditionnelle. L'économie des populations qui y vivent repose donc particulièrement sur l'exploitation de ces terres fertiles et de la forêt actuellement disponible. Cependant, la population ivoirienne n'est plus majoritairement rurale. Aujourd'hui, le taux d'urbanisation de la Côte d'Ivoire est d'environ 52% et a augmenté à un taux moyen de 1,5% au cours de la dernière décennie. Cela reflète une évolution du niveau de vie, mais aussi une diversification des activités économiques, de l'agriculture vers les secteurs manufacturiers, industriels ou de services. Cependant, loin de vouloir s'écarter des activités liées à la terre, le pays entend augmenter la valeur marchande de ses actifs agricoles. L'un des moyens d'y parvenir est la valorisation de ses résidus agricoles. Depuis des décennies, le cacao est le principal produit d'exportation agricole du pays. Les exportations de cacao de la Côte d'Ivoire couvrent 40 % de la consommation mondiale. La culture de cette plante est la principale occupation de 20 % de la population (Le Monde, 2020). Pour actualiser certaines des stratégies de développement agricole, le gouvernement a l'intention de soutenir les quantités de cacao transformé à 100 % de la récolte totale d'ici 2025. Dans le même temps, le gouvernement prendra les mesures nécessaires pour garantir une rémunération équitable aux agriculteurs et une augmentation du rendement et de la qualité du cacao.

3.6.1.2 Besoins énergétiques du secteur, ressources de biomasse disponibles

En Côte d'Ivoire, les ménages représentent 60 % de la consommation d'énergie du pays. Comme indiqué dans le rapport 3.1, le secteur est le plus grand utilisateur de biomasse. Par exemple, en 2017, la quantité totale de biomasse utilisée au niveau des ménages était de 3763 ktep, ce qui, selon les sources d'énergie utilisées, représentait 88 % du total national. Au niveau des ménages, en moyenne 89% de l'énergie provient de la biomasse, contre seulement 7% pour les produits pétroliers et 5% pour l'électricité. Malgré les efforts du gouvernement pour promouvoir différentes formes de combustible de cuisson en dehors du bois de chauffage, la biomasse reste la principale source de combustible domestique dans le pays. Les ménages utilisent la biomasse principalement sous forme de bois de chauffage et de charbon de bois. Les forêts denses du sud fournissent à la population une biomasse forestière assez abondante. Le climat guinéen connaît des niveaux de précipitations élevés et cette partie favorise la croissance des forêts denses. Les cultures qui poussent dans cette région climatique comprennent le caoutchouc, le teck, le palmier à huile, le café et le cacao. Ces arbres de plantation fournissent aux populations non seulement des produits agricoles commercialement viables, mais aussi du carburant en fin de vie des cultures. En effet, le bois de plantation se trouve souvent sur les marchés aux côtés d'autres espèces forestières abattues et conditionné sous forme de fagots de bois ou même de charbon de bois. Les ménages sont les principaux acheteurs de bois de plantation tandis que le secteur productif, les boulangeries en particulier, préfèrent s'approvisionner en bois plus dense à partir d'espèces endogènes.

Cependant, la biomasse collectée dans les plantations d'arbres ne représente pas le volume total de biomasse utilisable dans le pays. Il y a toujours un volume important de déchets de biomasse non ligneuse qui n'est pas collecté dans les champs. C'est le cas du cacao, où pour 1 kg de fèves commerciales, le poids des cabosses est de 13 kg. La cabosse séchée, qui aurait un poids équivalent à 2 à 3 kg par kg de fèves commerciales, s'est avérée être une matière première adaptée à la carbonisation.

3.6.1.3 Défis du développement économique du secteur

La demande de charbon de bois augmente rapidement dans le pays. Cela est dû à l'urbanisation croissante du pays et à l'augmentation des niveaux de revenus, en particulier dans les grandes villes. L'augmentation de la demande de charbon de bois proportionnelle à l'accroissement de la population a exercé une pression considérable sur les forêts qui sont ciblées par les vendeurs de charbon de bois pour les exploiter afin d'obtenir davantage de bois de chauffage et de charbon de bois. Selon des enquêtes récentes menées dans la région de La Mé, le bois à brûler pour le charbon de bois provient principalement de vieilles jachères et de parcelles de cacao éclaircies, ou parfois de différentes cultures dans d'autres champs ¹.

En même temps, ces dernières années, en raison de la dégradation des sols exacerbée par la déforestation, les rendements du cacao ont diminué. Le cacaoyer est un arbre sensible à la lumière qui a besoin de sols riches pour maintenir sa productivité. Ce n'est que ces dernières années que la promotion du cacao ombragé, également connu sous le nom de cacao agroforestier, a commencé. Si le gouvernement met fin au défrichage des forêts pour créer de l'espace nécessaire à la culture du cacao, cette action aura un effet d'entraînement où la conversion des terres forestières à d'autres fins agricoles sera également réduite. Cela permettra également de préserver la fertilité des sols des champs. Des recherches ont montré qu'il existe des liens entre la faiblesse des prix du cacao et la déforestation, et que les agriculteurs continueront à cultiver le cacao.

C'est à partir de ces constatations que certains groupes civils tentent de trouver une solution qui soit financièrement attrayante pour les agriculteurs, tout en préservant à la fois le couvert forestier et la culture actuelle de la plante. Après quelques enquêtes, les groupes concernés ont découvert que le cortex, qui est la partie vide des cabosses de cacao, était normalement éliminé par les agriculteurs et laissé à décomposer dans les champs. Cependant, la cabosse de cacao contient des déchets qui peuvent être valorisés et utilisés comme source d'énergie. L'épandage des cabosses de cacao sous forme d'humus, par rapport au fait de les laisser en tas inutilisés, a l'avantage de libérer de l'azote dans le sol. Tant les cacaoyers que les agriculteurs en profitent, par opposition à la perte de nutriments dans l'air par décomposition. La décomposition à l'air libre des matières végétales est l'un des principaux responsables des émissions de gaz à effet de serre - méthane et oxydes d'azote.

3.6.2. Description de la technologie et du système d'exploitation

Chaque coopérative de producteurs disposera d'un ou de plusieurs sites de carbonisation et supervisera l'ensemble du processus de carbonisation. Le cortex du cacao est carbonisé dans des fûts métalliques, selon une disposition similaire à celle de la figure ci-dessous. Le produit carbonisé est retiré par la porte inférieure et chargé dans des fûts étanches pour être refroidi. Au cours du processus de carbonisation,

¹ Diagnostic bioénergétique dans la région de Mé. R. Aouaké, D.Gomeu, A.Guhur, R.Vaudry (Nitidæ, 2019)

un liquide pyrolytique, également appelé pyrolinène, est extrudé et est également utilisé comme traitement phytosanitaire contre les parasites. Les gousses carbonisées sont ensuite transportées vers l'unité de production de briquettes.

L'unité centrale doit être située dans un centre urbain et à proximité d'une unité de transformation du bois (scierie) qui fournira une partie des matières premières.

Dans l'unité centrale, il y aura une infrastructure adaptée à la carbonisation de la sciure de bois à l'aide d'un carboniseur rotatif. L'outil rotatif mélange la sciure avec les résidus recueillis dans les plantations de cacao environnantes.

Le processus de fabrication des briquettes commence par le broyage des matériaux carbonisés jusqu'à une taille de particule acceptable pour la presse. Ensuite, en fonction de la puissance de la presse et de la consistance finale souhaitée des briquettes, on ajoute un liant, puis la pâte est mélangée à de l'eau. Le liant utilisé dans la phase expérimentale était de l'amidon de manioc récupéré dans des unités de traitement du manioc situées à proximité. Une symbiose sera ensuite établie entre l'unité de fabrication des briquettes et les centres de traitement du manioc afin que les déchets de manioc soient acheminés vers les sites de briquetage.



Figure 1818: Pyrolyseurs pour la carbonisation des cortex de cacao

Source : Nitidae



Figure 1919: Presse à briquettes de petite capacité

Source : Maxton Engineering

Le mélange sera introduit dans la presse à briquettes pour être compacté. Les briquettes devront sécher au soleil pendant un certain temps pour être prêtes à être collectées. Afin d'optimiser le séchage des briquettes, il est prévu de mettre en place une structure de type serre où la ventilation et la température de l'air seront contrôlées. Cette structure pourra fonctionner entièrement à l'énergie solaire.

Le schéma du processus de fabrication des biocarburants est présenté ci-dessous.

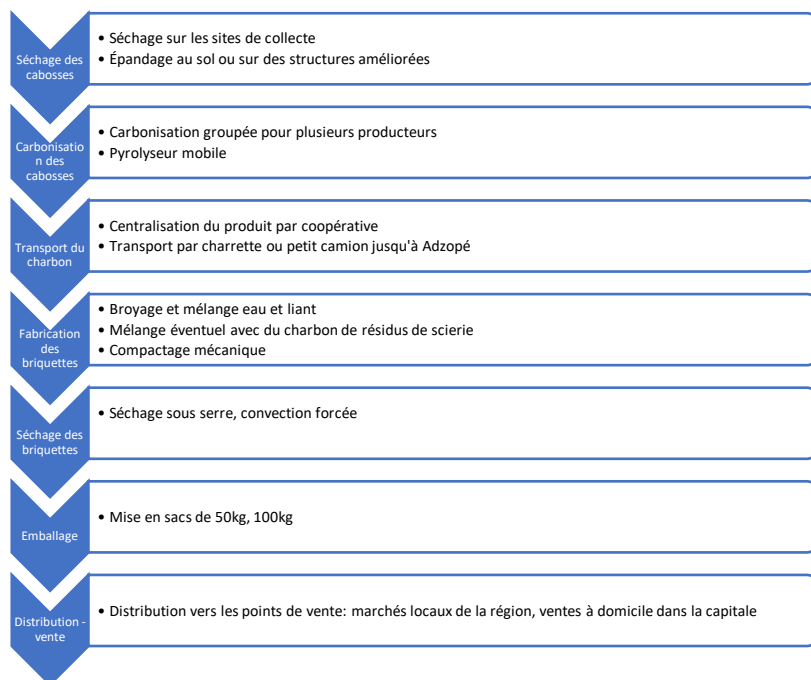


Figure 2020: Le processus de fabrication des biocarburants

3.6.3. Prétraitement de la biomasse en amont pour la convertir

Par prétraitement, nous entendons les processus en amont de l'étape clé de la conversion qui comprennent la carbonisation. En effet, les coques et les déchets de scierie conservent un certain degré d'humidité. Ils doivent ensuite être séchés jusqu'à ce qu'ils atteignent un taux d'humidité adéquat pour être carbonisés. Plus l'humidité est faible, plus le rendement de la carbonisation est élevé.

Dans le cas des cabosses de cacao, elles sont étalées sur des tapis ou des surfaces de séchage. La même infrastructure que celle utilisée pour le séchage et la fermentation des fèves peut également être utilisée pour sécher les cabosses. Toutefois, la surface de séchage devra être augmentée étant donné le volume important des cabosses et le fait que les deux opérations peuvent se chevaucher dans le temps.

Le séchage des copeaux et de la sciure nécessite un équipement spécifique, qui est normalement inclus dans l'ensemble proposé par le fournisseur de l'équipement de carbonisation de ces matériaux.

3.6.4. Description du produit énergétique final

Le produit final est un charbon végétal produit à partir de déchets agricoles et forestiers locaux. La technique de briquetage mise au point permettra de garantir que les caractéristiques de ce charbon sont supérieures à celles du charbon de bois classique, et donc de disposer d'un avantage concurrentiel par rapport à celles qui sont actuellement disponibles sur le marché.

3.6.1.4 Description du consommateur et défis connexes

Les consommateurs cibles sont les ménages à revenu moyen des zones urbaines. Le produit sera mis à disposition dans les points de vente de charbon de bois, afin de ne pas donner une image d'exclusivité du produit. En outre, la stratégie vise à faire en sorte qu'un nombre aussi important que possible de personnes dans les zones urbaines connaissent le nouveau produit. Pour augmenter le taux d'adoption par la communauté, des campagnes publicitaires seront menées pour atteindre l'ensemble de la population et l'éduquer sur le produit.

Une cible clé pour les briquettes sera Abidjan, qui est un centre de marché important pour le charbon de bois produit dans la région environnante. La capitale offre également de meilleurs prix pour le charbon de bois que les autres régions du pays. La stratégie consistera à commercialiser le produit auprès des ménages à revenus moyens et supérieurs et, dans la mesure du possible, à proposer aux clients la livraison à domicile.

Afin de susciter l'intérêt, ce projet coopérera avec les programmes d'énergie propre existants sur le terrain pour diffuser le nouveau produit à base de charbon de bois. Cela permettra de renforcer les impacts positifs des deux parties et de leurs produits (équipement de combustion, et combustible).

Le programme devra s'approvisionner auprès de producteurs de cacao spécialisés afin de maintenir un approvisionnement constant en cabosses de cacao. Afin de réduire les risques financiers pouvant découler de la faiblesse des ventes de charbon de bois amélioré, un quota de biocarburant sera réservé aux producteurs de cacao à titre de rémunération et pour les mettre à l'abri d'une perte totale. En outre, ils recevront le fluide de pyroline produit lors de la carbonisation. Des campagnes de sensibilisation et des expositions agricoles seront facilitées par les coopératives partenaires afin de présenter ces deux nouveaux produits aux producteurs de cacao et aux utilisateurs finaux. Enfin, on craint que la collecte des cabosses de cacao ne prive le sol de l'humus qui provenait auparavant des cabosses de cacao laissées après la récolte. Le projet, à travers sa composante de soutien agronomique et de planification de l'approvisionnement, devra assurer une collecte rationnelle des cortex auprès de ses fournisseurs, de sorte que les fournisseurs (les agriculteurs) se retrouvent avec quelques cabosses à laisser comme humus

dans les champs. Le processus de décomposition permet de restituer les nutriments au sol et est important pour compléter le cycle de l'azote.

3.6.5. Conclusion et recommandation

3.6.1.5 Une technologie améliorée

La technique de carbonisation développée jusqu'à présent par l'Association des propriétaires de forêts naturelles et de plantations d'Afféry (APFNP) a l'avantage d'être conçue localement, facilement portable et ne nécessite pas de source d'énergie externe pour fonctionner. Ces qualités en font un produit adapté à une utilisation sur le terrain par les producteurs de cacao. Toutefois, il est encore possible d'améliorer l'ergonomie (facilité de chargement et d'entretien), les performances (temps de carbonisation, efficacité) et la durabilité des matériaux.

La petite taille de l'unité APFNP permet d'optimiser les vitesses de séchage des cortex et des briquettes de charbon de bois aux stades de l'entrée et de la production, respectivement. Cela réduira le besoin de stocks de charbon de bois dont la qualité diminue lorsqu'ils absorbent l'humidité lorsqu'ils sont exposés à l'air.

3.6.1.6 Recommandations au niveau politique, réglementaire, environnemental, du genre

De diverses sources qui ont fait des propositions dans ce domaine (R.Aouaké, D.Gomeu, A.Guhur, & R.Vaudry, 2019) (PNUD, 2013) plusieurs actions doivent être mises en œuvre afin de créer un environnement pleinement favorable aux combustibles domestiques issus de la biomasse végétale :

- Évaluer la durabilité de la ressource (bois et produits énergétiques forestiers non ligneux), en utilisant le nouvel inventaire forestier national et une étude spécifique sur les flux intra et interrégionaux de biomasse combustible. Cet exercice est essentiel pour planifier, sur une base scientifique rigoureuse, l'exploitation durable de la biomasse forestière. Il utilisera le cadre REDD pour mettre en œuvre des systèmes de mesure, de notification et de vérification qui aideront également à cartographier l'impact carbone de ces activités.
- Promouvoir, par des mécanismes de formalisation allégés, la formalisation de l'activité des producteurs de charbon de bois ou de bois de chauffage, tant locaux qu'étrangers, souhaitant travailler légalement dans ces secteurs. Il est également proposé de créer des organes organisationnels qui faciliteraient les échanges entre les producteurs et l'administration, afin d'améliorer la transparence dans la gestion des permis d'exploitation forestière, et de prendre également en compte les produits non ligneux utilisés à des fins énergétiques, tels que les cortex de cacao, afin de réglementer leur exploitation.
- Il serait nécessaire de structurer les mineurs de charbon, les exploitants de bois de chauffage et les acteurs du bio-charbon de manière légale en un seul organisme interprofessionnel capable de faire entendre sa voix à la table des négociations avec l'administration.
- Clarifier le cadre juridique afin que les producteurs de charbon de bois d'origine agricole ne soient pas classés dans la même catégorie que les exploitants de charbon de bois ou de bois de

chauffage conventionnels, et que les autorités les taxent également différemment, voire moins en raison du fait que leur travail est "vert".

3.7 République du Mali

3.6.6. Brève description du secteur

La consommation énergétique du pays est dominée par la biomasse : 65 % de la consommation finale totale en 2017, 90 % pour le secteur résidentiel et 10 % pour le secteur du commerce et des services publics. Par conséquent, les secteurs résidentiel et commercial (regroupant les activités génératrices de revenus) sont les principaux secteurs ayant un potentiel de bioénergie. (AFREC, 2019)

Sur ses plus de 20 millions d'habitants, environ un quart vivrait dans le bassin d'approvisionnement en bois-énergie de Bamako. Selon le programme d'approvisionnement en combustible domestique de la ville de Bamako (SDACD), produit en 2017, environ 5,5 millions de personnes vivent dans le bassin d'approvisionnement de la ville de Bamako (qui comprend les communes rurales d'origine du bois et la population de la ville de Bamako qui avoisine actuellement les 2,8 millions d'habitants). La population de la ville a augmenté de près de 5 % entre 1998 et 2015. Afin de répondre à la demande de la zone urbaine en bois-énergie, les prélèvements de bois sont de plus en plus effectués dans les formations de bois des champs cultivés comme les parcs à karité (*Vitellaria paradoxa*) ou les arbres fourragers (par exemple *Faidherbia albida*) et plus seulement dans les formations forestières "classiques" comme les savanes ou les steppes. (FONABES, 2017).

Principal pôle économique et industriel du pays, la capitale concentre non seulement une population croissante mais aussi diverses activités économiques importantes pour le tissu économique malien. Environ un quart des ménages du district de Bamako déclarent une activité économique dans le ménage. Pour la grande majorité, il s'agit de la petite restauration : vente de repas chauds, de bouillie, de beignets, etc. qui utilise des combustibles ligneux, de préférence du charbon mais aussi du bois de chauffage. En outre, les activités économiques consommant traditionnellement du bois : boulangerie, teinture (bazin), dibiterie et grillades de viande pour la vente...

En dehors de la ville, les ménages ont l'agriculture comme activité principale (91% selon les enquêtes de la SDACD). En dehors de cela, la quasi-totalité des ménages exercent une activité économique en son sein. Les enquêtes indiquent que 98% participent à la collecte et à la transformation des noix de karité (produits forestiers non ligneux), et le même pourcentage cuit plus ou moins régulièrement des condiments pour la vente. Ils utilisent tous du bois de chauffage à ces fins.

Compte tenu de l'enjeu important que représente la disponibilité du bois-énergie pour ces populations, et vu le manque observé et croissant de biomasse ligneuse, il semble pertinent de répondre aux besoins du secteur résidentiel mais aussi du secteur commercial, intrinsèquement liés, avec un projet pilote de conversion de la biomasse forestière.

3.6.7. Besoins énergétiques du secteur, ressources de biomasse disponibles pour l'approvisionnement du secteur, raisons d'agir dans ce secteur

3.7.1.1 Les besoins énergétiques du secteur

La biomasse traditionnelle, y compris le bois de chauffage et le charbon de bois, est en grande partie le principal combustible utilisé par la population pour répondre à ses besoins énergétiques, à 96 % chez les ménages et à 86 % dans le secteur du commerce et des services publics. En raison de la croissance démographique et de la faible productivité des forêts, il existe un fort déséquilibre entre l'offre et la demande de bois d'énergie, en particulier dans les bassins d'approvisionnement des grandes villes,

comme Bamako, dont le déficit actuel (2015) a été estimé à environ 490 000 tonnes de bois (selon le SDACD de Bamako, publié en 2017). La projection pour 2025 présente un bilan annuel négatif de plus de 2 000 000 de tonnes de bois-énergie (voir le rapport sur le résultat 2) ; cela justifie l'utilisation de sources alternatives de bioénergie et de méthodes de cuisson modernes/améliorées. (AFREC, 2019)

En ce qui concerne les produits forestiers non ligneux, l'un des secteurs les plus pertinents en termes de résidus générés à faible consommation d'énergie semble être le beurre de karité. La transformation des noix en beurre de karité, pratiquée de manière généralisée par les populations, conduit à la production de noix et de tourteaux.

La consommation de bois-énergie des populations rurales autour du district de Bamako représente plus de 70% de la consommation des populations du bassin d'approvisionnement de Bamako. Seulement 30% de la consommation correspond à la population urbaine. Dans de nombreuses municipalités, la consommation des populations locales est désormais supérieure à la production de bois. L'hypothèse d'une consommation rurale moyenne est d'une stère ou de 330 kg par habitant et par an.

Pour Bamako et son parc d'approvisionnement, la consommation annuelle d'énergie domestique pour 2015 est enregistrée dans le [Tableau 4](#) ci-dessous.

Tableau 44-: Consommation annuelle 2015 des ménages urbains et ruraux du bassin d'approvisionnement de Bamako, en milliers de tonnes

	Bamako	Municipalités urbaines	Communautés rurales
Bois de chauffage	350,24	174,65	987,24
Charbon de bois	177,91	76,53	-
Le gaz butane	15,83	6,81	-

En termes d'énergie brute, la consommation de bois-énergie s'élèverait à 34,5 PJ, soit 857 ktep, dont 35% vont à Bamako et 65% sont consommés par le bassin d'approvisionnement. Le bois de chauffage représente 52% de la consommation de Bamako, mais par la consommation intensive de bois dans les communautés rurales, il représente 84% de la consommation de son bassin d'approvisionnement. Pour le charbon, les chiffres sont respectivement de 39 % et 15 % et le GPL de 6 % et 1 %.

En termes d'activités économiques, les boulangeries de la ville sont de loin les plus grandes consommatrices d'énergie ligneuse, sous forme de bois de chauffage. Elles sont suivies par les mourants et les dibittéries. En dehors du district de Bamako, les activités génératrices de revenus les plus courantes sont le traitement des noix de karité avec sa transformation traditionnelle (grillage et barattage) et la cuisson de condiments pour la vente. La [Figure 21](#) ci-dessous présente l'énergie brute consommée par chacune des activités économiques de la ville. La consommation des activités économiques dans la zone rurale n'a été étudiée que sommairement, cependant, on peut rappeler que pour l'échaudage d'une tonne de noix de karité, il faut 640 kg de bois de chauffage.

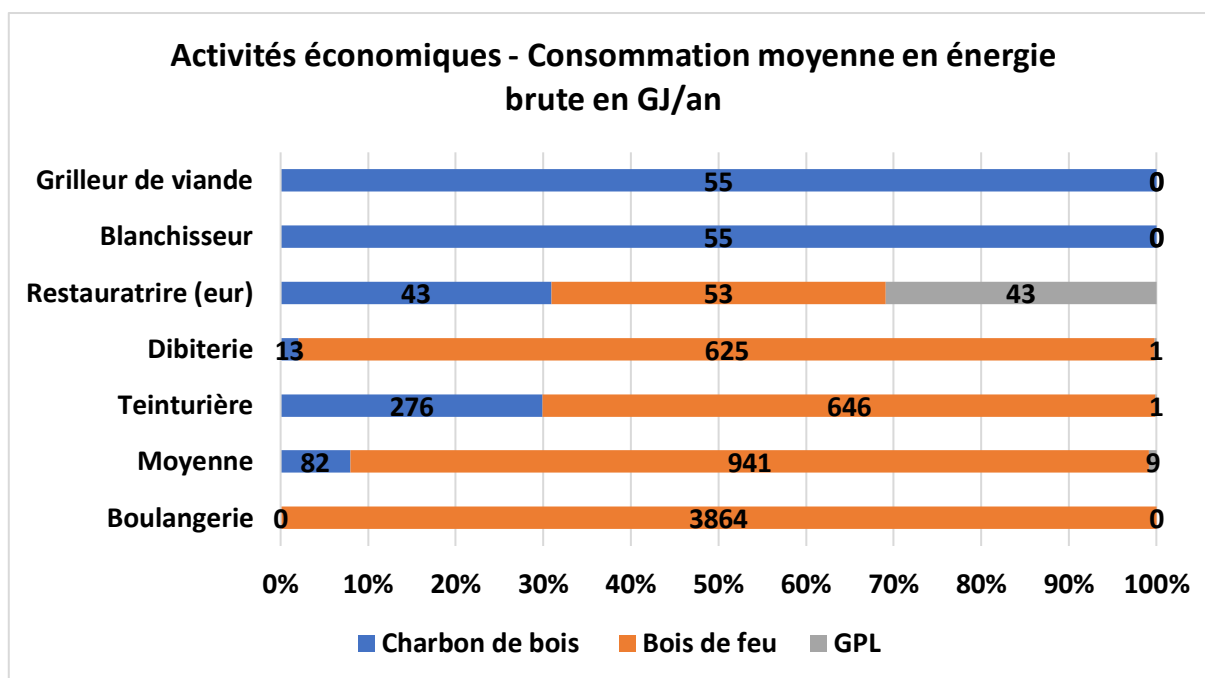


Figure 2122: Activités économiques - Consommation brute d'énergie moyenne en GJ/an

3.7.1.2 Les ressources de biomasse disponibles pour alimenter le secteur

Les résidus les plus prometteurs en termes de valorisation énergétique dans et autour du district de Bamako semblent être la poussière de charbon et les tourteaux de karité. En effet, jusqu'à 20 % du poids total d'un sac de charbon, des dépôts assez importants de poussières fines et grossières pourraient être collectés dans les points de vente principalement auprès des distributeurs de charbon, notamment les détaillants qui effectuent un tri préalable à la vente et, dans une moindre mesure, auprès des consommateurs finaux qui achètent par sac. Les ménages relativement aisés ou les professionnels tels que les restaurateurs, les teinturiers, etc. Il existe déjà une initiative visant à développer cette brique de charbon dans la ville de Bamako.

Côté karité, l'usine de MaliShi, la plus grande unité industrielle de transformation du karité en beurre du pays, située à Banankoro, au sud-est de Bamako, disposerait d'un surplus de biomasse à valoriser. Pour produire du beurre de karité, l'usine transforme cette année 16 000 tonnes d'amandes de karité. Il en reste environ la moitié (8 000 tonnes) de farine de karité, un déchet dont une partie est consommée en interne par leur chaudière. A terme, l'usine traitera 30 000 tonnes d'amandes par an, générant 14 000 à 15 000 tonnes de farine. Il est prévu de consommer un maximum de 6 000 tonnes de farine dans la chaufferie. 8.000 à 9.000 tonnes de farine peuvent donc être potentiellement converties en bioénergie. Le projet pilote de bioénergie proposé couvre le secteur résidentiel mais aussi commercial et est intitulé : **"Production de biocarburants à partir de tourteaux de karité dans le bassin d'approvisionnement en combustible domestique de Bamako"**.

L'objectif sera de récupérer les tourteaux de karité issus de la transformation des amandes de karité pour la production de briquettes et de buchettes de farine afin de remplacer une partie de la consommation de bois dans les secteurs résidentiel et commercial.

3.7.1.3 Défis pour le développement économique du secteur

L'usine de MaliShi est intéressée par la fabrication de briquettes avec son excédent de tourteau au karité, et leur distribution à leurs fournisseurs d'amandes au karité. Les producteurs de noix de karité sont des femmes qui collectent et transforment les noix pour en extraire des amandes. Certains des fournisseurs d'amandes sont situés dans le bassin d'approvisionnement de Bamako, mais d'autres viennent de régions plus éloignées, bien qu'on puisse en déduire un profil de consommation similaire à celui décrit ci-dessus (section 1.2). Le processus de transformation des noix après récolte demandé par l'industriel (échaudage des noix) nécessite du combustible (bois de chauffage). Les femmes des zones rurales vont chercher du bois, qui est la plupart du temps gratuit. Mais il a un coût environnemental car il est une source de déforestation, comme indiqué au point 1.1 ci-dessus, en plus du coût du temps et des efforts nécessaires pour aller chercher du bois. L'industriel, préoccupé par les conditions de production de sa matière première, souhaite devenir un acteur de la réduction de ces impacts. [3.6.73.6.6 ci-dessus](#)

La solution proposée consiste à fournir des briquettes de repas à ces collecteurs. Ce faisant, MaliShi contribuerait à la durabilité de la chaîne de valeur, en plus de retenir les organisations de paysans qui approvisionnent la société en amandes de karité.

Les autres acteurs qui bénéficieraient de ce produit sont les consommateurs urbains, en particulier ceux qui ont une forte consommation de bois. Les boulangers auront ainsi accès à un combustible abordable en termes de coût, capable de remplacer la totalité de leur consommation de bois. Cela réduira la pression sur les forêts du pays.

3.6.8. Description de la technologie

La production de briquettes de charbon de poussière et de tourteau de karité se fait dans une presse. Les matières premières utilisées ici pour la production des briquettes sont de la farine de karité provenant de l'usine de MaliShi, et éventuellement un liant qui garantira l'intégrité de la briquette. Avant de fabriquer des briquettes, il faut faire un mélange de matière première et de liant et l'humidifier un peu. Le rendement sera de 100% du tourteau de karité. L'usine de MaliShi dit vouloir abriter l'unité de fabrication des briquettes, ce qui facilite la logistique pour l'approvisionnement en matières premières.

Le processus de fabrication des briquettes est le suivant :

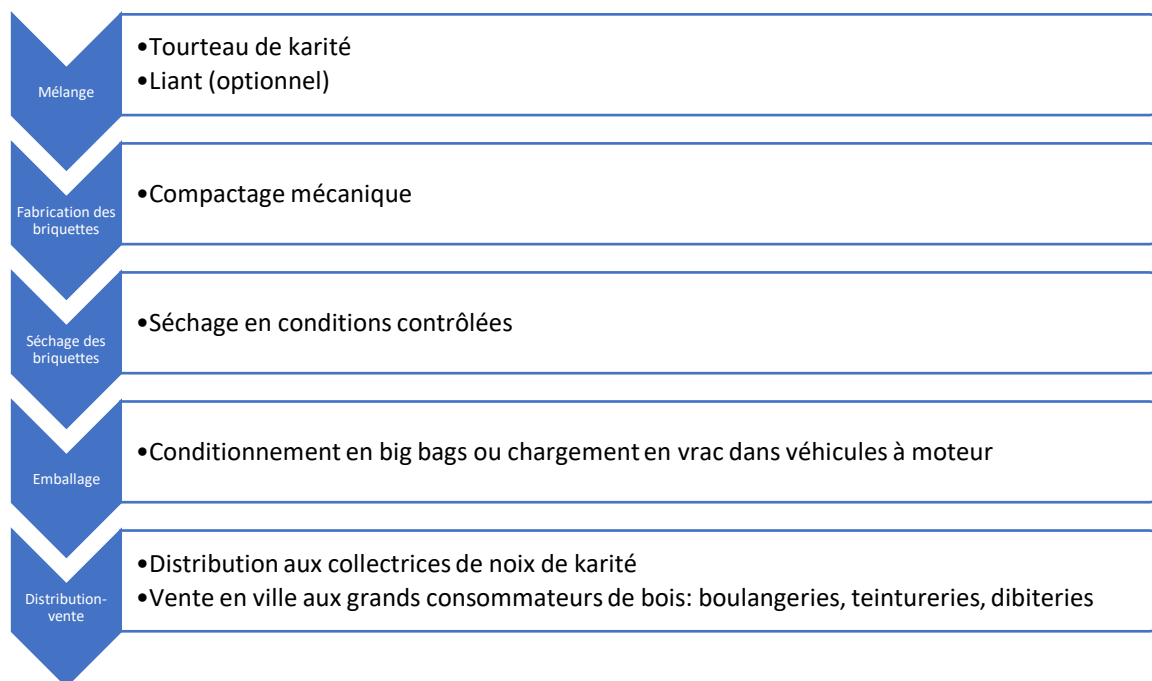


Figure 2322-: Processus de fabrication des briquettes



Figure 2423-: Presse à vis motorisée pour briquette de tourteau de karité

La figure ci-contre montre la presse à briquettes développée par Nitidae pour compacter le tourteau de karité.

Le modèle peut être adapté pour augmenter la capacité et faciliter l'alimentation automatique du convoyeur. La pulsation des briquettes à travers la vis sans fin peut fournir une pression et une intensité plus importantes pendant la production. La briquette produite est de haute qualité et si solide qu'elle ne se casse pas facilement. De plus, elle est facile à allumer pour la combustion et dure plus longtemps lorsqu'elle est brûlée.

3.7.1.4 Valorisation de la biomasse en amont

Autant les tourteaux proviennent d'une presse comme Mali Shi, autant aucun traitement en amont n'est nécessaire. La biomasse est assez sèche et le format en poudre est facile à alimenter.

Le dépôt de farine de l'usine de Mali Shi est suffisamment important pour faire fonctionner une unité de production entière sans avoir recours à d'autres dépôts de farine, par exemple, provenant d'usines du même type, ou de transformateurs traditionnels à plus petite échelle.

3.7.1.5 Description du produit énergétique final

Les briquettes de farine de karité sont de bons combustibles non carbonatés (18-20 MJ/kg PCI). Ces briquettes sont produites sous forme cylindrique (voir la figure ci-dessous), avec la possibilité d'adapter

les diamètres aux besoins des consommateurs (par exemple, des rondins de plus grand diamètre pour les boulangeries et autres activités économiques à grande échelle).



Figure 2524: Photo de briquettes séchant au soleil sur la dalle et sur la clast

3.7.1.6 Description du consommateur

À Bamako, 85% des femmes au foyer préparent 3 repas, les 15% restants en préparent 2. Dans le village, la règle est de préparer trois repas par jour. Pour les zones rurales, il faut noter que 98% des ménages interrogés chauffent l'eau des toilettes, et ce presque toute l'année. De même, la plupart des ménages déclarent avoir une activité économique qui utilise principalement le bois de chauffage. Les profils de consommation de ces acteurs ont été décrits au point 1.2 ci-dessus. [3.6.7 ci-dessus](#)

Les briquettes sont destinées aux ménages et aux activités génératrices de revenus (boulangerie, teinturerie,...) de la capitale, mais les ménages pourront accéder au produit par les points de vente s'ils le souhaitent. En dehors de la ville, la plupart des briquettes seront simplement distribuées aux collecteurs de noix de karité. La vente de bois à d'autres acteurs économiques, tels que les boulangeries des zones rurales et des petites villes, est également possible.

Dans les zones rurales, 5 % des ménages achètent du bois, tandis que 98 % l'achètent par collecte. La ressource est donc gratuite dans ces cas. Dans les zones urbaines de Bamako mais aussi dans les petites villes environnantes, le bois devient une rémunération pour les ménages et les activités économiques.

Sur cette base, le projet adopterait deux approches différentes en fonction du profil des consommateurs : les briquettes destinées aux collecteurs de noix de karité ne seraient pas vendues mais distribuées aux organisations d'agriculteurs dont ils font partie, car il serait difficile d'y trouver des débouchés commerciaux. Toutefois, l'industriel y trouverait un intérêt économique si, dans ce processus, il parvient à obtenir une prime sur le prix de vente de son beurre de karité. Comme l'entreprise a mis en œuvre des initiatives visant à réduire l'impact environnemental de sa chaîne d'approvisionnement, elle montre son engagement environnemental et pourra chercher à obtenir un prix plus élevé pour son produit, par le biais de certifications, de labels ou de primes pour la qualité environnementale. Cet arrangement pourrait devenir un exemple dans la sous-région, car de nombreuses usines d'extraction de beurre voient le jour, en raison de l'augmentation de la demande internationale et de la délocalisation des activités industrielles vers les pays d'origine du karité.

Pour les briques et les rondins destinés aux consommateurs des zones urbaines, le produit sera livré à des dépôts et à des points de vente stratégiquement placés pour servir autant de clients que de gros consommateurs de bois ; avec la possibilité de passer un contrat avec eux et d'effectuer la livraison sur leur site. Le produit, comme le bois, ne nécessite aucun emballage, il sera donc livré en vrac.

Le site de MaliShi, situé à seulement 22 km de Bamako, est assez central dans le rayon d'approvisionnement en bois-énergie de Bamako (qui atteint 150 km) et les points de vente de charbon

de bois de la ville de Bamako, ce qui rend la distribution possible et avantageuse dans le district de la capitale.

L'adhésion des consommateurs à cette nouvelle forme d'énergie domestique est cruciale pour le projet. Le choix stratégique de cibler les consommateurs économiquement actifs est motivé par leur plus grande sensibilité aux prix du bois de chauffage, par rapport à l'utilisation non productive de combustible. En effet, le coût du bois, en termes de prix d'achat mais aussi de temps d'approvisionnement, de logistique, etc. a un impact direct sur le coût de leur produit, et donc sur leurs revenus. En moyenne, ces acteurs économiques sont plus ouverts à l'adoption de nouvelles formes de combustibles s'ils y trouvent des avantages en termes d'efficacité et de coût. De plus, comme la plupart de ces activités n'ont pas trait à la cuisson des aliments, les chances d'acceptation du produit sont accrues car il n'y a pas de risque de "changer le goût des aliments", ce qui est souvent la principale crainte des consommateurs nationaux.

Pour le cas spécifique des collecteurs de noix de karité, leur adhésion au projet est en même temps un enjeu pour l'entreprise industrielle engagée dans la vente d'amandes de karité, traitées avec un combustible écologique. Il faudra alors mener des campagnes de sensibilisation et des phases pilotes avec certaines organisations paysannes ou coopératives de référence, afin de trouver la meilleure formule pour faciliter l'accès au combustible aux collecteurs, et en même temps s'assurer que les briquettes sont bien utilisées dans la cuisson des noix et auront donc l'impact sur l'empreinte carbone du produit karité *finale*ment recherché. Une complémentarité par la formation à la fabrication de foyers améliorés en banco, économique et adaptée à cette activité, est à envisager pour renforcer l'intervention du changement de combustible. De même, un système d'incitation/prime peut être mis en place pour encourager les collecteurs à rejoindre le processus.

3.6.9. Conclusion et recommandations

3.7.1.7 Une technologie améliorée

En combinaison avec le briquetage de la farine de karité, la promotion de foyers améliorés et la sensibilisation aux impacts écologiques de leur activité sont des points de renforcement de l'action du projet.

Dans les zones rurales, la règle reste le foyer traditionnel à trois pierres (dans 91% des ménages hors Bamako consultés par le projet FONABES). Cependant, la version améliorée avec un plafond de banco est assez bien développée (52%). En outre, 28% des ménages ruraux interrogés déclarent disposer d'un foyer moderne et améliorée. Selon le SDACD, l'efficacité moyenne de la cuisson dans les zones rurales est de 18,6 % ; cependant, les opérations d'échaudage des noix sont souvent effectuées en dehors des ménages les plus utilisés, car il s'agit de grandes quantités de matière à traiter, et on peut s'attendre à des rendements moins élevés pour ces opérations de cuisson. La marge d'amélioration serait encore plus grande. L'efficacité des foyers de banco peut atteindre environ 30 %, et l'avantage est qu'elle peut être réalisée entièrement par les femmes elles-mêmes, ce qui a un impact presque nul sur le coût et contribue à leur pérennité. Cette action pourrait éventuellement être menée avec des teinturiers traditionnels de Bamako, ou des boulangers et des dibilitéurs qui n'utilisent pas de foyers optimisés.

3.7.1.8 Recommandations au niveau politique, réglementaire, environnemental, du genre

Comme indiqué dans les documents précédents, dans un pays exposé au changement climatique et où la dégradation des terres et des ressources naturelles est un réel problème, la ressource bois-énergie telle qu'elle est actuellement exploitée ne peut répondre de manière adéquate aux besoins énergétiques croissants. Les résidus de la chaîne d'approvisionnement en bois-énergie sont minimes, et seule la poussière de charbon a pu être identifiée au point 2.1 comme un matériau potentiellement intéressant pour sa récupération et son utilisation comme combustible. D'autres pistes pour améliorer l'efficacité de la filière seraient, selon les différents documents politiques : augmenter l'offre de bois-énergie à partir de la production planifiée et de l'agroforesterie ; promouvoir l'économie du bois par la généralisation de l'habitat amélioré ; la structuration et la professionnalisation de la filière et surtout une attention particulière à l'augmentation des rendements de carbonisation par des techniques améliorées. La promotion du GPL comme substitut ou complément du bois-énergie est également envisagée dans les documents cités (FONABES, 2017).

En tant que projet pilote, l'action sera complétée par des activités de renforcement des capacités des institutions, afin que les fonctionnaires de l'administration prennent conscience de l'opportunité et de la pertinence du projet, et en vue de créer des mécanismes de mesure, de vérification et de certification pouvant être reproduits dans le pays.

Le projet participera à trois domaines parmi les huit lignes d'action proposées par le programme de gestion des combustibles domestiques de Bamako en 2017, à savoir

- Axe IV : Promouvoir les économies de bois
- Axe VI : Soutenir le rôle des femmes dans les économies d'énergie
- Axe VIII : Développer des mesures d'accompagnement (accompagnement, réglementation, normalisation, certification)

4 Conclusion et recommandation

La principale raison de la sélection des sept pays est de se concentrer sur des projets qui ont un potentiel de durabilité, c'est-à-dire un approvisionnement régulier en résidus de biomasse provenant des opérations d'exploitation forestière et de l'industrie avec divers moyens de conversion, ainsi que des espèces ligneuses agroforestières telles que le beurre de karité et les noix de cajou. La phase suivante du projet, qui commence avec le rapport 3.3 jusqu'au rapport 6, consiste à identifier les projets pilotes appropriés dans le pays le plus approprié en tenant compte des aspects sociaux, économiques, politiques et environnementaux du projet. La technologie de conversion se concentrera sur deux voies qui ont actuellement les applications les plus importantes au niveau africain : la combustion directe et la conversion en biogaz. Ce rapport a donné un résumé des technologies de conversion les plus appropriées, y compris les prétraitements et les traitements des résidus de biomasse pour la conversion en énergie finale. L'accent a été mis sur les secteurs identifiés dans sept pays sélectionnés sur les quinze pays. Les sept différents pays, qui représentent largement la situation des autres pays d'Afrique subsaharienne et la technologie de conversion, sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 55: Biomasse forestière clé et processus de conversion clé dans les pays participants

Pays	Principaux déchets forestiers / déchets de biomasse agroforestière d'intérêt	Principal processus de conversion
1. Cameroun	Résidus de bois	Combustion directe
2. Congo	Résidus de bois	Combustion directe

3. République Démocratique du Congo	Résidus de bois	Combustion directe
4. Burundi	Résidus de bois	Combustion directe
5. Côte d'Ivoire	Les cosses de cacao	Production de biogaz
6. Burkina Faso	Coques de noix de cajou ou beurre de karité	Combustion directe
7. Mali	Beurre de karité	Production du biogaz

5 References

- Ackom, E. K., Alemagi, D., Ackom, N. B., Minang, P. A., & Tchoundjeu, Z. (2013). Modern bioenergy from agricultural and forestry residues in Cameroon: Potential, challenges and the way forward. *Energy Policy*, 63, 101-113. doi:10.1016/j.enpol.2013.09.006
- AEEP. (2012). *The First Stakeholder Forum of the Africa-EU Energy Partnership*. Retrieved 11 30, 2020, from Africa-EU Energy Partnership (AEEP): <http://www.aEEP-forum.org/en/archive/2012>
- AFREC. (2019). *Africa energy balances*.
- Branca, G., Cacchiarelli, L., Cardona, C. A., ErikaFelix, Gianvenuti, A., Kojakovic, A., . . . Tolli, M. (2014). *Bioenergy and Food Security Rapid Assessment (BEFS RA) Gasification*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Retrieved from <https://docplayer.fr/9329646-Bioenergie-et-securite-alimentaire-evaluation-rapide-befs-ra-manuel-d-utilisation-gazeification.html>
- Cameron, L., Mozaffarian, H., & Falzon, J. (2014). *Biomass Waste-to-Energy Toolkit for Development Practitioners*. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN). Retrieved from http://www.ecowrex.org/sites/default/files/documents/news/bioenergy_lr.pdf
- Champion, W. M., & Grieshop, A. P. (2019). Pellet-Fed Gasifier Stoves Approach Gas-Stove Like Performance during in-Home Use in Rwanda. *Environmental Science & Technology*, 6570-6579. doi:10.1021/acs.est.9b00009
- Chyou, Y.-P., Chang, D.-M., Chen, P.-C., Chien, H.-Y., Wu, K.-T., & Chein, R.-Y. (2020). Development of Biomass Gasification Technology with Fluidized-Bed Reactors for Enhancing Hydrogen Generation: Part I, Hydrodynamic Characterization of Dual Fluidized-Bed Gasifiers. *Applied Sciences*, 10(2), 1-18. doi:10.3390/app10010002
- Clean Cooking Catalog. (2020). (United Nations Foundation) Retrieved 11 27, 2020, from Clean Cooking Catalog: <http://catalog.cleancookstoves.org/stoves/434>
- Comité Interprofessionnel de l'Anacarde du Burkina. (2018). *Opportunités d'investissement dans le secteur agricole au Burkina Faso :cas de la filière anacarde*. Retrieved from <https://www.pndes2020.com/pdf/Intervention%20Fili%C3%A8re%20Anacarde.pdf>: <https://www.pndes2020.com/pdf/Intervention%20Fili%C3%A8re%20Anacarde.pdf>
- Constantine, T., Aymard, S. Q., Donald, Z. K., Patrick, O. R., & Jean-Claude, Y. (n.d). *DESS ENERGIE: Energy Boulevard of Congo*. Retrieved from https://www.hec.ca/formations-internationales/dess-congo/cohorte-1/DESS_CONGO_Strategie_rapport.pdf
- DEFRA. (2011). *Anaerobic Digestion Strategy and Action Plan: A commitment to increasing energy from waste through anaerobic digestion*. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Retrieved from https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/69400/anaerobic-digestion-strat-action-plan.pdf
- E4Tech. (2009). *Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes*. Final Report, National Non-Food Crops Centre (NNFC). Retrieved from https://www.e4tech.com/uploads/files/NNFCC_final_report_E4tech_090609.pdf
- Esseqqat, H. (2011). *Renewable Energies in the Democratic Republic of Congo*. Retrieved from https://postconflict.unep.ch/publications/UNEP_DRC_renewable_energy_FR.pdf
- EUEI. (2014). *Cameroon: National Energy Efficiency Policy, Strategy and Action Plan in the Electricity Sector*. EU Energy Initiative. Retrieved from http://www.euei-pdf.org/sites/default/files/field_publication_file/140605_euei_factfile_cameroon_rz_01_web.pdf

FONABES. (2017). *Schéma Directeur d'Approvisionnement en Combustibles Domestiques de Bamako*.

Global Petrol Prices. (2020, 03). Retrieved from Electricity prices:
https://www.globalpetrolprices.com/electricity_prices/

Government of Burkina Faso. (2017). LAW N ° 014-2017 / AN: General Regulations of the Energy Sector.
 Retrieved from https://lavoixdujuristebf.files.wordpress.com/2018/02/loi_014-2017_portant_reglementation_gle_du_secteur_de_l_electricite.pdf

Guidal, A., Herail, A., & Rosenstock, T. S. (2018). *The case for investment in industrial charcoal production in the Republic of Congo: Results of a technical and economic feasibility assessment of Congo Carbo Industrie*. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Retrieved from https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/charcoal_brief_en_final_012019.pdf

Herail, A., & Guidal, A. (2018). *Feasibility of industrial charcoal production in the Republic of Congo: An assessment of Congo Carbo Industrie*. Kinshasha: World Agroforestry Centre. Retrieved from https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/en-final_cci.pdf

Holubcik, M., & Nosek, R. J. (2012). Optimization of the Production Process of Wood Pellets by Adding Additives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*, 1(2), 20-40.
 doi:10.4018/ijeoe.2012040102

IEA. (2009). *IEA Bioenergy Annual Report 2009*. (J. Tustin, Ed.) Retrieved from
<https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2013/10/IEA-Bioenergy-2009-Annual-Report.pdf>

IFC. (2017). *Converting Biomass to Energy*.

Inyenyeri. (2020). Retrieved 11 27, 2020, from Inyenyeri: <https://www.inyenyeri.com/>

Jimenez, A. C., & Lawand, T. (2000). *Renewable Energy for Rural Schools*. National Renewable Energy Laboratory. Retrieved from <https://www.nrel.gov/docs/fy01osti/26222.pdf>

Johnson, O. W., Han, J. Y.-C., Knight, A.-L., Mortensen, S., Aung, M. T., Boyland, M., & Resurrección, B. P. (2020). *Assessing the gender and social equity dimensions of energy transitions*. Stockholm Environment Institute (SEI). Retrieved from <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2020/04/assessing-the-gender-and-social-equity-dimensions-of-energy-transitions-2020.pdf>

Kabemba, C. (2005). Democratic republic of Congo. *South African Journal of International Affairs*, 43-60.
 doi:10.1080/10220460509556748

Kusakana, K. (2016). *A Review of Energy in the Democratic Republic of Congo*. Retrieved from
https://www.researchgate.net/publication/306380971_A_Review_of_Energy_in_the_Democratic_Republic_of_Congo

LACQ. (n.d). *Biomass Cogeneration Plant*. Non-Technical Summary. Retrieved from
<https://www.eib.org/attachments/registers/52734857.pdf>

Le Monde. (2020, 10 02). *In Ivory Coast, sharp rise in the price of cocoa before the presidential election*. Retrieved 11 26, 2020, from Le Monde: https://www.lemonde.fr/afrique/article/2020/10/02/en-cote-d-ivoire-forte-hausse-du-prix-du-cacao-avant-la-presidentielle_6054484_3212.html

MAF. (2019, 11 22). *Ivory Coast: agricultural context and international relations*. Retrieved 11 26, 2020, from Ministry of Agriculture and Food: <https://agriculture.gouv.fr/cote-divoire-contexte-agricole-et-relations-internationales>

MEI. (n.d.). *Industries by sector*. Retrieved 11 26, 2020, from Ministry of Economy and Industry (MEI):
<https://economie.gouv.cg/fr/activit%C3%A9s-industrielles-par-fili%C3%A8re>

Mohideen, R. (2018). *Energy Technology Innovation in South Asia: Implications for Gender Equality and Social Inclusion*. Mandaluyong City: Asian Development Bank. Retrieved from
<https://digitalcommons.ilr.cornell.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1667&context=intl>

- PNUD. (2013). *Étude NAMA sur le charbon de bois durable en Côte d'Ivoire*.
- Prevot, G. (2010). *Energy Recovery from Waste from Biomass of Plant Origin*. ENVALYS. Retrieved from https://www.record-net.org/storage/etudes/08-0231-1A/rapport/Rapport_record08-0231_1A.pdf
- R.Aouaké, D.Gomeu, A.Guhur, & R.Vaudry. (2019). *Diagnostic bioénergies de la région de la Mé*. Nitidae.
- Republic of Congo. (2017). *Preparation of the National Plan 2017 - 2021: Strategic Framework Development*. Retrieved from <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/Con184010.pdf>
- SE4All. (2020). *Burundi*. Retrieved 11 27, 2020, from Sustainable Energy for All: Africa Hub: <https://www.se4all-africa.org/seforall-in-africa/country-data/burundi/>
- Sharma, S., Meena, R., Sharma, A., & Goyal, P. (2014). Biomass Conversion Technologies for Renewable Energy and Fuels: A Review Note. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 28-35. doi:10.9790/1684-11232835
- Soderling, L. (1999). *Structural Policies for the International Competitiveness in Manufacturing: The Case of Cameroon*. Organisation for Economic Co-Operation and Development. Retrieved from <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.191148>
- Somcharoenwattana, W., Menke, C., Kamolpus, D., & Gvozdenac, D. (2011). Study of operational parameters improvement of natural-gas cogeneration plant in public buildings in Thailand. *Lancet*, 43, 925-934. Retrieved from 10.1016/j.enbuild.2010.12.016
- Thomas, T. T., Alexis, K., & Salomon, D. B. (2010). Electricity Self-Generation Costs for Industrial Companies in Cameroon. *Energies*, 3, 1353-1368; doi:10.3390/en3071353
- UNIDO. (2005). *Industrial Performance and Capabilities of Cameroon: Analysis of the Industrial Sector*. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Retrieved from https://www.unido.org/sites/default/files/2009-04/Industrial_performance_and_capabilities_of_cameroon_0.pdf
- Wathore, R., Mortimer, K., & Grieshop, A. (2017). In-Use Emissions and Estimated Impacts of Traditional, Natural- and Forced-Draft Cookstoves in Rural Malawi. *Environmental Science & Technology*, 51, 1929-1938. doi:10.1021/acs.est.6b05557
- WFP. (2016). *Safe Access to Fuel and Energy in Burundi: An appraisal report*. World Food Programme. Retrieved from <https://docs.wfp.org/api/documents/WFP-0000019952/download/>
- World Bank. (2014). *Clean and Improved Cooking in Sub-Saharan Africa : A Landscape Report*. Washington DC.: World Bank Group. Retrieved from World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/22521>
- World Bank. (2015). *Republic of Cameroon: Fostering Skills for Inclusive Workforce Development, Competitiveness and Growth*. World Bank Group. Retrieved from <http://documents1.worldbank.org/curated/pt/372101468019812053/pdf/Cameroon-SDGC-A-Framework-for-Action-vEnglish-April-2015.pdf>
- World Bank. (2018). *Democratic Republic of Congo Systematic Country Diagnostic : Policy Priorities for Poverty Reduction and Shared Prosperity in a Post-Conflict Country and Fragile State*. World Bank Group. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10986/30057>
- World Bank. (2019). *Burundi Offgrid Access Project*. World Bank Group. Retrieved from <http://documents1.worldbank.org/curated/en/729191565283179350/pdf/Concept-Project-Information-Documents-PID-Burundi-Access-to-Sustainable-Energy-P164435.pdf>

