

GUIDE DE PRODUCTION DU CHARBON VERT

INITIATIVES CLIMAT



GUIDE DE PRODUCTION DU CHARBON VERT

INITIATIVES CLIMAT



Rédaction :

Benoît THÉAU et Ruphin KINANGA (Congo) avec la collaboration de Roméo AZONHOUMON (Bénin), Hassan EL HEMER (Maroc), Fadimatou HASSIMI (Cameroun), Meriem HOUZIR (Maroc), Muller NANDOU TENKEU (Cameroun), Vincent NIKIEMA (Burkina Faso), Fulgence N'RDI (Côte d'Ivoire), Guido MURHULA ZIGABE (République Démocratique du Congo).

Comité de lecture :

Hind NACIRI
Chifae MRKIM
Khadija AIMARA

Design graphique et impression :

Napalm

Cette publication a été possible grâce à la contribution du Programme de Micro-Financements du Fonds pour l'Environnement Mondial (SGP/GEF), du 4C Maroc et du PNUD Maroc.

Pour en savoir plus sur les activités d'Initiatives Climat :

www.initiativesclimat.org
www.jeunes-entrepreneurs-verts.org
www.facebook.com/InitiativesClimat/

Pour en savoir plus sur nos partenaires :

www.4c.ma
www.ma.undp.org

PRÉAMBULE

En Afrique, l'accès à l'énergie pour la cuisson et le chauffage est de plus en plus difficile. Certaines régions sont confrontées à la raréfaction du couvert forestier et à la désertification.

En milieu rural, la collecte du bois de feu est une tâche ardue, souvent dévolue aux femmes et aux jeunes filles. La multiplication des interdictions d'exploitation du bois dans certaines zones oblige les personnes chargées de la collecte à trouver de nouvelles sources d'approvisionnement, de plus en plus éloignées de leurs lieux de vie. De plus, la fabrication du charbon de bois est très réglementée, voire totalement interdite dans certaines régions ou pays.

En milieu urbain, les prix du bois de feu et du charbon de bois ont fortement augmenté au cours des dernières décennies en raison de la rareté de la ressource, de l'augmentation de la demande et de l'éloignement des zones de production des lieux de consommation.

Certes, des efforts sont faits pour favoriser l'usage de foyers économes en énergie, qui permettent de réduire de 30 à 60 % la consommation du bois de feu ou du charbon de bois. Toutefois, si ces foyers ne sont pas subventionnés ou bien fabriqués par les populations elles-mêmes, leur coût est assez élevé pour les ménages modestes. Quoi qu'il en soit, la demande pour le bois-énergie reste très forte. Certains pays subventionnent le gaz afin de favoriser ce type d'énergie, qui n'est cependant pas accessible à tous. Et certaines préparations culinaires (grillades, tajines...) nécessitent l'emploi du charbon de bois.

Le charbon vert est une alternative au bois de feu et au charbon de bois. Il peut être produit localement, avec des matériels simples, dans des lieux qui ne sont pas raccordés à des réseaux de distribution d'électricité, avec toute sorte de déchets organiques.

Cependant, pour être adopté par les ménagères et autres restaurateurs, le charbon vert doit être de très bonne qualité.

Nombreux sont les associations, coopératives et jeunes entrepreneurs verts qui, séduits par la perspective de procurer une alternative en termes d'énergie, se sont lancés dans la fabrication de ce combustible végétal. Toutefois, la majorité de ces nouveaux producteurs ont échoué dans leurs projets par manque de connaissance technique et d'esprit d'entreprise.

La filière « charbon vert » est très porteuse en termes de valorisation de déchets organiques, de production d'énergie renouvelable ou bien encore de création d'emplois. En revanche, elle est peu structurée et ne peut, de ce fait, appuyer les organisations de la société civile et autres jeunes entrepreneurs verts pour créer des unités de production et en garantir la pérennité.

Fort de ce constat, l'association Initiatives Climat a décidé de créer le « Cluster Africain Charbon Vert », qui rassemble des producteurs expérimentés, d'une dizaine de pays d'Afrique francophone. Ceux-ci sont en mesure de conseiller et d'apporter un appui technique et une aide pour la gestion à tout acteur désireux de se lancer dans la fabrication du charbon vert.

L'appui technique se concrétise notamment par la mise à disposition de chacun du présent manuel technique. Les informations délivrées dans ce manuel ne sont certes pas suffisantes pour monter une unité de production artisanale ou intermédiaire, mais elles sont indispensables pour en apprécier les principaux aspects.

L'association Initiatives Climat remercie les personnes, en particulier les producteurs de charbon vert, qui ont contribué à la réalisation de ce manuel.



PRÉSENTATION DE L'ASSOCIATION INITIATIVES CLIMAT

L'association *Initiatives Climat* a pour objet de « *contribuer à la prise de conscience sur les enjeux environnementaux, le développement durable et les effets des changements climatiques et au renforcement des capacités des porteurs de projets de pays en développement (en particulier des pays d'Afrique francophone)* ».

L'association a initié et anime un programme de coopération Sud-Sud « Initiatives Climat Afrique Francophone / ICAF ». L'objectif du programme est de recenser et valoriser les projets d'adaptation aux changements climatiques et d'atténuation de leurs effets qui constituent aujourd'hui des solutions inspirantes, répliquables, transférables permettant ainsi à tout acteur africain de contribuer à la territorialisation des engagements des Etats Africains et notamment à la mise en œuvre des contributions déterminées au niveau national (CDN / NDCs).

Ses activités sont de diverses natures : réalisation de bases de données sur des initiatives positives et des porteurs de projets (www.initiativesclimat.org) ; conduite de formations collaboratives ; animation d'un réseau d'acteurs du développement en Afrique francophone ; organisation d'événements parallèles lors de conférences internationales et de forums ; production de documents de capitalisation et de vulgarisation de bonnes pratiques et réalisation de reportages.

L'association contribue au développement de la filière « charbon vert ». Un Cluster africain a été créé à cette fin.

— PARTENAIRES DE L'ÉDITION —



LE PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT PNUD MAROC

Conformément aux priorités nationales de développement du Maroc et au plan stratégique du PNUD au niveau mondial, l'adoption de modes de développement durables, le renforcement de systèmes de gouvernance démocratique, et le renforcement de la résilience constituent les trois axes prioritaires d'intervention du PNUD au Maroc.

Dans le domaine du changement climatique, le PNUD aide les pays à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre et à fixer un objectif à long terme de zéro émissions de carbone. Parallèlement, le PNUD œuvre aux côtés de partenaires pour améliorer la capacité d'adaptation aux conséquences du changement climatique, généraliser l'accès aux énergies propres, minimiser les risques de catastrophe et, si besoin, renforcer les capacités de relèvement post-catastrophe.

A travers le projet de Renforcement Opérationnel du 4C Maroc, le PNUD Maroc apporte une assistance technique et soutient les efforts du pays pour s'adapter aux nouveaux enjeux internationaux, à travers trois domaines d'appui clés :

- Cadre programmatique du Maroc pour la mise en œuvre de la NDC ;
- Cadre de transparence du Maroc pour le suivi de la mise en œuvre de la NDC ;
- Cadre d'appui à la coopération sud-sud à travers le Fonds Bleu du Bassin du Congo.



LE CENTRE DE COMPÉTENCES CHANGEMENT CLIMATIQUE 4C MAROC

Le Centre de Compétences Changement Climatique du Maroc est une plateforme de renforcement des compétences des acteurs pertinents de différents secteurs (public, économique, recherche & formation, société civile, collectivités territoriales...) et un hub pour le développement et la diffusion de compétences en matière de changement climatique (CC) ouvert sur son environnement National et Africain.

Ses contributions principales se présentent comme suit :

1. Contribuer au renforcement des capacités des acteurs nationaux en matière de changement climatique
2. Capitaliser l'information/ la connaissance/ le savoir-faire en matière de vulnérabilité, adaptation, atténuation et finance liés au changement climatique
3. Développer des outils d'aide à la prise de décision en matière de changement climatique
4. Contribuer à l'effort mondial en assurant le partage d'expérience, la veille et le réseautage en lien avec le changement climatique au niveau international

Ces quatre missions sont déployées selon des programmes spécifiques répondant aux différents besoins des bénéficiaires en terme de renforcement des compétences en matière d'atténuation des GES et renforcement de la résilience face aux effets adverses des changements climatiques.

Le centre 4C Maroc bénéficie de l'appui du Département de l'Environnement et de tous ses membres qui constituent ses 4 collèges, à savoir :

1. Collège Ministères, Administrations Publiques et Collectivités Territoriales
2. Collège Secteur Privé
3. Collège Recherche, Expertise et Formation
4. Collège Société Civile



LE PROGRAMME DE MICRO FINANCEMENTS DU FONDS POUR L'ENVIRONNEMENT MONDIAL PMF/FEM

Créé en 1992, l'année du Sommet de la Terre de Rio, le Programme de Micro Financements du FEM incarne l'essence même du développement durable en «pensant globalement et en agissant localement». En apportant un soutien financier et technique à des projets qui conservent et restaurent l'environnement tout en améliorant le bien-être et les moyens de subsistance des populations, le PMF démontre que l'action communautaire peut maintenir l'équilibre délicat entre les besoins humains et les impératifs environnementaux.

Il reconnaît que la dégradation de l'environnement, telle que la destruction des écosystèmes et des espèces qui en dépendent, l'augmentation des niveaux de dioxyde de carbone et d'autres gaz à effet de serre dans notre atmosphère, la pollution des eaux internationales, la dégradation des sols et la propagation de polluants organiques persistants sont des défis qui mettent en danger la vie de chacun d'entre nous. Cependant, les communautés pauvres et vulnérables - les principales parties prenantes du PMF - sont les plus menacées car elles dépendent de l'accès aux ressources naturelles pour leur subsistance et vivent souvent dans des écosystèmes fragiles.

Le programme accorde des subventions directement aux communautés locales, y compris les populations autochtones, les organisations communautaires et d'autres groupes non gouvernementaux, pour des projets dans les domaines de la biodiversité, de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation à celui-ci, de la dégradation des terres et de la gestion durable des forêts, des eaux internationales et des produits chimiques.

SOMMAIRE

Préambule.....	5
1 Le charbon vert.....	12
1.1. L'accès à l'énergie.....	12
1.2. Définition du charbon vert.....	13
1.3. Propriétés physiques.....	15
1.3.1. Taux d'humidité.....	15
1.3.2. Densité.....	15
1.3.3. Pouvoir calorifique.....	15
1.3.4. Indice de résistance à l'impact.....	15
1.3.5. Taux d'inflammabilité.....	15
1.4. Propriétés chimiques.....	16
1.4.1. Taux de carbone.....	16
1.4.2. Taux de cendres.....	16
1.4.3. Taux de matières organiques.....	16
1.4.4. Teneur en lipides totaux.....	16
2 La fabrication du charbon vert.....	17
2.1. Principes généraux.....	17
2.2. Les matières premières.....	18
2.2.1. Sources d'approvisionnement.....	19
2.2.2. Collecte et tri des déchets.....	20

2.3. Les techniques de production	22
2.3.1. Méthode 1 : compactage et carbonisation.....	22
2.3.2. Méthode 2 : carbonisation et pressage.....	23
3 Les matériels.....	34
3.1. Les carbonisateurs	34
3.2. Les compacteurs	35
3.3. Les appareils de mesure.....	36
4 L'emploi du charbon vert.....	37
4.1. La commercialisation	37
4.1.1. Les différents circuits de vente	37
4.1.2. Publicité.....	38
4.1.3. Contacts et partenaires	38
4.2. La sensibilisation des utilisateurs	39
4.3. Les allume-feu	39
5 Les données économiques	40
5.1. Le prix de revient	40
5.2. Les coûts d'investissement.....	40

SOMMAIRE

6 Les avantages du charbon vert	41
6.1. Les avantages sur le plan social	41
6.2. Les avantages sur le plan sanitaire	41
6.3. Les avantages sur le plan économique	41
6.4. Les avantages sur le plan écologique	41
6.5. Les avantages sur le plan politique	42
7 Les conditions de réussite de la création d'une unité de production de charbon vert	43
7.1. Étude préalable en rapport avec les besoins en énergie	43
7.2. Choix des déchets organiques et des résidus agricoles	43
7.3. Choix de la structure juridique	44
7.4. Choix de la taille de l'unité de production	44
7.4.1. Unité artisanale	44
7.4.2. Unité intermédiaire	45
7.4.3. Unité semi-industrielle	46
7.5. Choix de l'implantation de l'unité	47
7.5.1. Espace de travail	47
7.5.2. Situation géographique de l'unité	47

7.6. Choix du matériel.....	48
7.6.1. Matériels fabriqués localement.....	48
7.6.2. Matériels importés.....	48
7.7. Formation et accompagnement	49
7.7.1. Les autodidactes	49
7.7.2. Avec l'appui de producteurs	49
7.7.3. Avec l'appui de formateurs.....	49
7.8. La commercialisation	50
8 La formation	51
8.1. Les objectifs visés	51
8.2. Un module de formation type.....	51
9 L'annuaire en ligne des producteurs d'Afrique francophone.....	53
10 Le Cluster Africain Charbon Vert.....	54
10.1. Justification de sa création	54
10.2. Sa structure et les services proposés	54
Ressources	56



Vente de bois de feu et de charbon de bois le long d'une route. Burkina Faso.

1 | Le charbon vert

1.1. L'accès à l'énergie

L'accès à l'énergie est un facteur essentiel du développement. Cela est d'ailleurs mentionné dans les Objectifs de Développement Durable (Programme de développement durable à l'horizon 2030), en particulier l'ODD n°7, qui vise à : « *Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable* ».

Toutefois, dans un grand nombre de pays en développement, malgré les efforts consentis par le biais d'un ensemble de programmes sectoriels, l'accès universel à l'énergie n'est pas assuré. Les populations vulnérables, notamment dans les zones rurales, font face à la pauvreté énergétique, conséquence d'un accès inéquitable aux ressources et aux services énergétiques.

Depuis quelques années, une réflexion a été lancée au niveau international sur la question de l'énergie durable et de l'égalité de genre. On a constaté que les inégalités de genre dans le secteur de l'énergie constituent un frein à la prospérité économique et sociale.

Quelques données illustrent la précarité énergétique :

- Environ 1,3 milliard de personnes dans le monde n'ont pas accès aux services énergétiques, notamment à l'électricité. 80% d'entre elles vivent en milieu rural ; elles se trouvent principalement dans vingt pays d'Afrique subsaharienne et d'Asie (ONU 2015) ;
- 2,8 milliards de personnes doivent encore utiliser du bois de forêt ou d'autres produits de la biomasse pour préparer leurs repas et se chauffer. Ces combustibles solides sont une grande source de pollution intérieure et présentent des dangers pour la santé ; les effets de cette pollution provoquent la mort prématurée d'environ quatre millions de personnes par an, principalement des femmes ;
- En Afrique du Nord, à titre d'exemple, un ménage consomme en moyenne 17 kg de bois en zones arides par jour et 52 kg en zones montagneuses ; ce bois est souvent transporté par les femmes. La distance à parcourir pour la collecte du bois peut être inférieure à 5 km dans le cas où les forêts sont à proximité des villages et où le déplacement se fait, en général, à pied, et supérieur à 15 km lorsque le domaine forestier est loin du village ;
- Seulement 20% de la main-d'œuvre dans le secteur moderne de l'énergie renouvelable sont des femmes. Les exemples documentés de femmes entrepreneures de l'énergie restent largement limités à des initiatives à petite échelle (IRENA 2014).

Selon un rapport de l'Agence Internationale de l'Énergie, publié en 2017, sous le titre de *Africa Energy Outlook : A Focus On Energy Prospects in Sub-Saharan Africa*, la consommation de biomasse en Afrique subsaharienne devrait augmenter de 40% au cours des deux prochaines décennies. Il en résultera que la valeur marchande des énergies issues de la biomasse s'élèvera à près de 70 milliards de dollars d'ici 2040.

Le charbon de bois est largement utilisé par les ménages africains pour la cuisson des aliments. Cette pratique contribue à la prolifération des activités clandestines de coupe du bois, faisant de la fabrication du charbon de bois l'une des causes majeures de la déforestation. La diminution de la consommation du charbon de bois contribue à la lutte contre la coupe abusive de bois et à la préservation des forêts. De plus, la pollution engendrée par le charbon a un coût humain, environnemental et économique important. La plupart des risques humains liés au charbon sont d'ordre professionnel et sanitaire. La filière du charbon de bois implique des propriétaires terriens, des charbonniers, des transporteurs, des grossistes et des revendeurs détaillants. Tous ces acteurs travaillent souvent sans coordination et n'ont aucun cadre de concertation car le cadre légal a été longtemps négligé. La part du bois dans le bilan énergétique en Afrique n'est pas connue avec exactitude faute d'enquêtes fiables dans ce domaine. Cependant, selon des statistiques assez anciennes, on estime que plus de 80% des ménages emploient le bois et ses dérivés comme principale source d'énergie pour la cuisson.

L'accès à une énergie durable est l'un des grands défis pour l'Afrique, qui peut être relevé grâce à une politique en faveur de l'efficacité énergétique et de la production de combustibles plus vertueux.

1.2. Définition du charbon vert

La production d'énergies « vertes » ou bien « renouvelables » peut résoudre en partie le problème de la précarité énergétique. Le charbon vert fait partie de ces énergies vertes qui peuvent être accessibles aussi bien en milieu urbain qu'en milieu rural. Le charbon vert est aussi dénommé « bio charbon », « charbon biologique » ou bien encore « charbon végétal ». Il est fabriqué avec des déchets végétaux ou des résidus agricoles tels que balle de riz, coques d'arachides, tiges de mil, peaux de bananes, rafles de maïs, coques de noix de coco, cabosses de cacao, coques de graines de coton, etc. Ce produit est méconnu de la majorité de la population. Des sondages sur le charbon vert effectués par des producteurs sur des marchés africains montrent un faible taux d'utilisation de ce produit. Pourtant, si le produit est de bonne qualité, il constitue une alternative au charbon de bois, dont la fabrication requiert de grandes quantités de bois. De plus, sa fabrication, très décentralisée, procure des activités génératrices de revenus pour des organisations communautaires de base et de jeunes entrepreneurs verts.



Matières premières (tiges et feuilles de romarin), produit de la carbonisation (poussiers), poudre obtenue après broyage et briquettes compressées et séchées. Maroc.



AUTRES DÉFINITIONS DU CHARBON VERT

« Le charbon vert est du charbon qui est produit sans bois, à partir de tout déchet végétal. En effet, il existe de nombreux rejets et résidus qui ne sont ni consommés, ni utilisés : pailles diverses, restes de culture telles les tiges de coton, de mil, de roseau, etc. Le produit se présente sous forme de briquettes faciles à utiliser et sans dégagement de méthane ».

Source : Encyclopédie de L'Agora pour un monde durable.

« Le charbon vert est un charbon produit à partir des résidus biodégradables riches en carbone, principalement à partir de résidus agricoles et de résidus ménagers. Il se présente sous forme de briquettes ou de boules de la taille de morceaux de charbon de bois traditionnel et pourrait servir dans la plupart des fours utilisés dans les pays du Sud. Le charbon vert peut être utilisé en substitution du charbon, du bois de chauffage pour la cuisson domestique voire la production de chaleur dans les industries ».

Source : Dictionnaire de l'Environnement et du Développement Durable, 2017, p. 180-182.

« Le charbon écologique est un produit carboné stable fabriqué à partir de sous-produits de la biomasse végétale ou des déchets organiques pour l'usage domestique. En théorie, c'est donc un produit similaire au charbon de bois tant par son aspect que par son utilisation qui permet d'éviter la coupe des arbres ».

Source : Roméo AZONHOUMON, Almighty Services Plus, Bénin, in Eric BOCOVOU, *Production de briquettes de charbon écologique dans l'arrondissement d'Abomey-Calavi*, mémoire de licence professionnelle, 2018.



1.3. Propriétés physiques

Les propriétés physiques sont les caractéristiques physiques d'une substance qui ne peuvent pas changer sans impliquer un changement de composition chimique. Les propriétés physiques non caractéristiques sont par exemple la masse, la longueur, le volume et la température. Les propriétés physiques caractéristiques sont par exemple la solubilité, la masse volumique et le point d'ébullition. Les propriétés physiques du charbon vert sont étroitement liées à celles des matières organiques qui servent à sa production.

1.3.1. Taux d'humidité

Le taux d'humidité détermine le pourcentage d'eau contenu dans une matière, dans ce cas le charbon vert. C'est un élément déterminant pour une utilisation à des fins de combustion. Moins le charbon vert est humide, plus il sera efficace comme combustible.

1.3.2. Densité

La densité est le rapport de la masse du volume d'un corps à celle du même volume d'eau.

La densité (Q) du charbon vert est le quotient de sa masse sur son volume. Elle est exprimée en kg/m³.

La densité permet d'apprécier la résistance d'un charbon vert.

1.3.3. Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est l'énergie thermique libérée par la combustion d'un kilogramme de combustible. Il est exprimé en général en kJ/kg (kilojoules par kilogramme).

C'est donc l'énergie dégagée lors de la combustion du charbon vert par kilogramme. Plus la masse est élevée, plus la quantité d'énergie est importante.

On distingue deux types de pouvoir calorifique :

- Le pouvoir calorifique supérieur est obtenu lorsque tout le charbon vert a été transformé en énergie, y compris la vapeur d'eau dégagée et les fumées ;
- Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est l'énergie thermique libérée par la combustion d'un kilogramme de charbon vert sous forme de chaleur sensible, à l'exclusion de l'énergie de vaporisation de l'eau présente en fin de réaction.

Le pouvoir calorifique est inversement proportionnel au taux d'humidité c'est-à-dire que plus une matière est humide, plus son pouvoir calorifique est faible, et inversement.

Le pouvoir calorifique du charbon vert varie selon les matières premières utilisées.

Les producteurs doivent s'assurer que le charbon vert a un PCI au moins équivalent à celui du charbon de bois. Pour cela il est nécessaire de faire analyser son produit par un laboratoire agréé.

1.3.4. Indice de résistance à l'impact

L'indice de résistance à l'impact est une donnée physique importante qui permet de vérifier le caractère compact et solide d'un charbon en vue de son transport sur de longues distances, sans s'émietter. Un charbon qui n'est pas résistant à l'impact peut s'émietter lors du transport.

1.3.5. Taux d'inflammabilité

Le taux d'inflammabilité est l'aptitude d'un charbon à prendre feu, même sous un environnement humide. Cette donnée dépend du taux de compactage et de la qualité de séchage du charbon fini.



1.4. Propriétés chimiques

Les propriétés chimiques représentent les comportements d'une substance qui entre en contact avec une autre substance.

Pour le charbon vert, on évalue notamment la teneur en carbone, le taux de cendre et la composition en éléments minéraux.

1.4.1. Taux de carbone

Le taux de carbone détermine le pourcentage d'éléments minéraux contenus dans une masse sèche de poudre à charbon. Cette valeur est importante car elle est liée à la capacité de la poudre à produire de la chaleur ; pour cela, on effectue des analyses en laboratoire. On estime en général que le taux moyen est de 50% pour le charbon vert.

1.4.2. Taux de cendres

Le taux de cendres est la teneur en résidus solides qui demeurent après combustion complète du charbon vert. Il contient des éléments activés comme le potassium (K⁺), le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺).

1.4.3. Taux de matières organiques

Le taux de matières organiques est la part de matières organiques, composée de carbone (C), hydrogène (H), oxygène (O), azote (N), phosphore (P), soufre (S), contenue dans une masse sèche de fines poudres de charbon vert.

La chaleur de combustion dégrade certains de ces éléments comme l'oxygène. Aussi, pour la production du charbon vert, il faut repérer parmi ces matières organiques, celles qui présentent un taux d'humidité faible et un taux de carbone élevé.

1.4.4. Teneur en lipides totaux

La teneur en lipides totaux est la quantité d'huile contenue dans une matière première biodégradable. Elle détermine le taux d'huile de pyrolyse que l'on obtiendra à la fin de la carbonisation. Ces huiles de pyrolyse déterminent le renouvellement énergétique d'une matière première.

2 | La fabrication du charbon vert

2.1. Principes généraux

Le charbon vert est une ressource énergétique issue de la biomasse. Il présente beaucoup d'avantages par rapport aux combustibles traditionnels que sont, en Afrique, le bois et le charbon de bois (80% des besoins pour la cuisson et le chauffage). Le potentiel énergétique de ces deux combustibles n'est que partiellement exploité. Le bois encore frais, donc humide, dont la valeur énergétique est faible, est encore trop souvent utilisé. Quant au charbon de bois, les techniques traditionnelles n'optimisent pas sa production et beaucoup de résidus de fabrication sont inutilisés. Les consommations augmentent en raison notamment de la forte croissance démographique que connaît l'Afrique. De plus, en milieu urbain, les prix de ces combustibles augmentent à un rythme rapide car ils deviennent de plus en plus rares.

Il est à noter aussi que la fumée produite pendant la combustion contient des particules fines et du monoxyde de carbone ; cela est la cause de maladies respiratoires, surtout parmi les femmes, qui en sont les principales utilisatrices.

D'un autre côté, les autres biomasses telles que les matières organiques issues des plantes, de résidus agro-industriels et de déchets, sont sous-exploitées. Récemment, on a commencé à établir un rapport entre le problème énergétique et celui de la gestion des ordures (jusqu'à maintenant ce sujet n'était abordé qu'en termes de santé publique) en explorant les possibilités économiques liées à leur valorisation. Les biomasses et les déchets organiques peuvent être assez facilement transformés en énergie via un procédé de carbonisation. L'avantage du charbon vert, s'il est de bonne qualité, est son meilleur rendement énergétique. De plus, il contribue à la protection de la santé et de l'environnement ; son coût est abordable. Son aspect et son utilisation diffèrent peu de ceux du charbon de bois, traditionnellement utilisé par les ménages et les restaurateurs. Cela assure un bon taux d'acceptation de l'innovation.

L'emploi du charbon vert, associé à des techniques d'amélioration du rendement énergétique, par exemple aux foyers améliorés, peut permettre une économie globale de combustible de plus de 80%. L'énergie ainsi économisée permet de réduire la charge de travail des femmes et d'épargner les ressources financières des ménages.

Pour produire du charbon vert de façon artisanale, il suffit d'un four et d'une presse et de quelques petits outillages (foyer, marmite, sacs, gants...). Le produit de la carbonisation est malaxé avec une pâte d'amidon (par exemple résidus de farine de manioc) et pressé dans un moule pour en faire des briquettes.





2.2. Les matières premières

La quantité de déchets solides produits quotidiennement dans les villes africaines est élevée. Leur absence de traitement pose des difficultés en termes d'hygiène et de santé.

En effet, dans la plupart des pays africains aucun système de tri n'est opéré aussi les ordures organiques sont-elles mélangées aux autres types d'ordures et déversées dans des décharges souvent sauvages. Des déchets peuvent être repérés dans les rues de nombreuses villes africaines, ainsi que dans les systèmes de drainage des eaux de pluie (collecteurs naturels et artificiels). De plus, les décharges existantes constituent des sources de pollution des eaux de surface et des nappes souterraines par percolation issues de la décomposition des déchets. La gestion des déchets solides, souvent laissée à l'initiative personnelle des habitants, se traduit par des systèmes non contrôlés d'élimination : les ménages recourent à l'enfouissement ou au brûlage sur leurs parcelles ou dans les rues.

De plus, la décomposition anaérobie (en absence d'oxygène) des ordures ménagères a des effets néfastes sur le changement climatique car elle provoque des émissions de méthane, un gaz à effet de serre 25 fois plus puissant que le CO₂.

Parmi les déchets solides produits en milieu urbain, il existe un stock important de résidus organiques ou de biomasse. A cela s'ajoutent aussi les résidus agro-industriels peu valorisés. Une partie de ces résidus organiques pourraient être transformés en briquettes de charbon vert. Une autre partie pourrait être valorisée sous d'autres formes : compost et biogaz par exemple.

Alors qu'une grande quantité d'arbres sont coupés chaque année pour produire du charbon de bois (5 à 6 kg de bois sont nécessaires pour fabriquer 1 kg de charbon de bois), des millions de tonnes de déchets organiques constituent une ressource non valorisée et entraînent de fortes nuisances. La fabrication de briquettes de charbon vert est une contribution à la préservation du couvert forestier et à l'amélioration de l'assainissement.

Il n'existe pas de standard qui définit à partir de quel type de résidus organiques peut être produit le charbon vert. Différentes matières premières, dont une grande quantité n'est pas valorisée, peuvent être utilisées :

- Les résidus organiques agricoles ou issus de la biomasse : paille, feuilles, résidus de tiges (mil, sorgho, coton, maïs, tomates, poivrons...), rafles de maïs, résidus de noix de palme, coques de noix de coco, bagasse de canne à sucre, peaux de bananes, cabosses de cacao...
- Les résidus agro-industriels : coques de graines de coton, coques d'arachide, grignons d'olive, coques de noix d'argan, sciure et copeaux de bois...
- Les plantes aquatiques nuisibles à forte prolifération, comme le *Typha Australis* ou la jacinthe d'eau ;
- Les déchets ménagers organiques.

Tous ces résidus organiques, dont la liste énoncée ci-dessus n'est pas exhaustive, peuvent être transformés en briquettes de charbon vert. Même un combustible produit à partir de déchets ou de poussière de charbon de bois négligé peut être considéré comme du charbon vert. Il existe donc une grande variété de déchets biodégradables, qui peuvent être carbonisés pour faire du charbon vert, mais tous ne donnent pas un charbon de même qualité.

Les déchets les plus intéressants pour la fabrication du charbon vert sont les résidus organiques qui ont beaucoup de masse, tels qu'épluchures de bananes, manioc, rafles de maïs, différentes coques, etc. Le choix même des matières premières à partir desquelles sera produit le charbon vert est un point essentiel pour la réussite du projet. L'autre aspect important est la disponibilité de la ressource dans le temps et son accessibilité.

La qualité de la matière première est un aspect à prendre en compte. Tout résidu organique peut être carbonisé et moulé en briquettes de charbon vert, mais tous les résidus organiques ne donnent pas un charbon vert avec le même pouvoir calorifique. Ainsi, le charbon produit à partir d'épluchures de bananes et de manioc donne un charbon vert avec une cuisson longue et vive, alors que le charbon produit à partir de tiges de céréales a un pouvoir calorifique inférieur à celui du charbon de bois.

2.2.1. Sources d'approvisionnement

Les résidus organiques et ceux issus de la biomasse sont disponibles en grande quantité partout sur notre planète, or la gestion des déchets est une grande préoccupation notamment pour les villes africaines. En effet, il y a actuellement prolifération de déchets de toute nature dans les villes. Les capitales africaines en pleine croissance connaissent d'énormes difficultés liées à la collecte et au traitement des déchets. Une politique ambitieuse devrait non seulement viser à limiter la production de déchets nuisibles, mais aussi à valoriser les déchets comme source d'énergie ou de matières réutilisables via le recyclage. De plus, les industries agroalimentaires génèrent d'importantes quantités de déchets organiques, qui peuvent entraîner de sérieux problèmes environnementaux : impacts négatifs sur les sols et les eaux (eaux de surfaces et eaux souterraines), émissions de méthane, dégagement d'odeurs nauséabondes et problèmes d'ordre sanitaire. Les unités de transformation de canne à sucre, de fruits et de légumes en sont une bonne illustration.

La quantité des déchets générés augmente régulièrement et progressivement d'année en année à cause du développement industriel en pleine expansion. Cela représente une source d'approvisionnement pour les producteurs de charbon vert, sans oublier les autres sources (déchets ménagers et ceux issus de la biomasse collectés dans la nature).



Coques de noix de coco qui, une fois broyées, peuvent être compactées. Bénin.

2.2.2. Collecte et tri des déchets

Avant de commencer un projet de production de briquettes de charbon vert, il est indispensable d'évaluer la quantité de matières premières réellement mobilisable, sa régularité et sa disponibilité. Trop souvent la quantité est surestimée et les coûts de collecte et de transport sont sous-estimés.

Cependant d'autres résidus peuvent être obtenus gratuitement. Toutefois, il ne faut pas sous-estimer la pénibilité et le coût de la collecte. Il s'agit notamment des dépenses pour la manutention et le transport. Sous-estimer les coûts de collecte ou surestimer la quantité de matière première effectivement disponible peut compromettre l'équilibre financier du projet. Le coût de la collecte et du transport est à évaluer avec précision.

Pour réduire le coût du transport, on recherche des résidus organiques qui ont, de préférence, une masse assez élevée. Pour produire 1 kg de charbon vert, il faut disposer de 3 à 6 kg de résidus organiques. Or, 10 kg de coques de noix de coco représentent un faible volume à transporter si on les compare à 10 kg de paille. Le transport de résidus organiques volumineux nécessite l'emploi d'un « pousse-pousse », d'une moto-tricycle ou d'un autre véhicule.

Si la matière première n'est pas disponible toute l'année, il faut prévoir un grand espace pour le stockage. Ce qui engendre des coûts et nécessite la construction d'un magasin de stockage. Il est donc préférable que la matière première soit disponible tout au long de l'année, que le gisement de déchets soit assez proche du site de production et que le prix de revient soit assez bas (ce prix comprend l'achat éventuel si le déchet n'est pas gratuit ainsi que ses coûts de collecte et de transport). Ces aspects sont essentiels car le prix de revient de la matière première peut varier de manière importante.

La fabrication des briquettes exige une quantité assez importante de déchets. Pour permettre un approvisionnement régulier des déchets, il convient d'adopter une stratégie de collecte des ordures ménagères « gagnant-gagnant » ou d'encouragement à la collaboration libre pour la réussite de l'opération. L'objectif est d'inciter le plus grand nombre de partenaires à participer à la collecte.

En milieu urbain, un premier type de collecte peut se faire auprès des ménages volontaires. Ceux-ci devront trier les ordures organiques à l'aide

de sacs-poubelles mis à leur disposition : un sac pour les déchets organiques ou les bio-déchets (épluchures, herbes coupées, feuilles mortes...) et un autre pour les autres déchets, qui seront dirigés vers des décharges contrôlées par la localité où le projet est implanté. En contrepartie, les ménages se débarrassent gratuitement de leurs déchets et ils peuvent, s'ils le souhaitent, acheter du charbon vert à un prix préférentiel. Cependant, il est nécessaire que les déchets collectés ne soient pas en voie de décomposition avancée.

Un autre type de collecte peut s'effectuer sur les marchés où généralement les déchets organiques abondent : dans les grandes villes d'Afrique, le gisement peut représenter des centaines, voire des milliers de tonnes par mois. Souvent, par manque de volonté politique ou de moyens, les municipalités n'assurent pas l'évacuation de ces déchets ou bien le font de façon imparfaite. Les producteurs de charbon vert trouveront sur les marchés différents types de déchets ; ils devront néanmoins en assurer la collecte et le transport.

En milieu rural, les agriculteurs peuvent être associés à la collecte des résidus agricoles qui ne sont pas déjà valorisés en compost ou en aliments pour les animaux. La contrepartie peut être faite par une remise gratuite de charbon vert. De plus, les groupements villageois peuvent s'organiser pour la collecte dans les champs ou la brousse. C'est ce que font par exemple des groupements de femmes productrices de charbon vert au Burkina Faso, au Cameroun ou bien encore au Sénégal.



Déchets collectés sur des marchés (feuilles et rafles de maïs, peaux de banane, tiges de canne à sucre). Cameroun.

Focus sur : Le tri des déchets

- Dans la plupart des cas, les déchets secs qui se trouvent sur des terrains contiennent de la poussière, de petites pierres, des morceaux de métal, etc. ;
- Toute la matière inorganique doit donc être retirée avant l'étape de carbonisation afin d'assurer une combustion en toute sécurité et en douceur ;
- Il est important de mettre uniquement le même type de déchets organiques dans le carboniseur pour obtenir un produit uniforme et de qualité ;

NB : les résidus de terre ralentissent la combustion et augmentent le temps de carbonisation.

2.3. Les techniques de production

2.3.1. Méthode 1 : compactage et carbonisation

Cette première méthode permet de produire des briquettes de biomasse densifiées qui peuvent être utilisées directement comme combustibles. Les résidus employés doivent être préalablement réduits en poudre. La sciure de bois, les coques de noix de coco ou bien encore la balle de riz sont particulièrement adaptées. Pour réaliser cette opération, il convient de disposer d'une extrudeuse. La matière première, dont le taux d'humidité doit être de 8 à 12%, est versée dans une trémie. Une vis sans fin entraîne les résidus dans une filière entourée de résistances électriques dont la fonction est d'agglomérer la matière (la lignine facilite cette transformation) afin d'obtenir des briquettes compactes et résistantes. Le produit, éjecté de l'extrudeuse de façon continue et d'une forme correspondant à celle de la filière, est coupé à la longueur souhaitée. L'extrusion nécessite de fortes pressions ; elle se fait avec des machines électriques de forte puissance. Aussi entraîne-t-elle une usure rapide de la vis sans fin et des filières. Il s'agit de prendre en compte ces éléments afin de se prémunir contre tout problème qui engendrerait l'arrêt de la production.

Les briquettes ainsi produites peuvent aussi être carbonisées. Ce qui leur confèrera une valeur marchande plus élevée que les briquettes non carbonisées.

Cette méthode de fabrication n'est pas très courante car elle nécessite un investissement assez conséquent et une connexion à un réseau d'électricité (avec un compteur alimenté en triphasé). Cependant elle permet de produire avec des rendements conséquents.



Une extrudeuse de fabrication chinoise. Bénin.

2.3.2. Méthode 2 : carbonisation et pressage

a. Le séchage des déchets

L'étape qui suit le tri des déchets est celle du séchage. C'est une phase importante de la production car si tous les déchets organiques solides peuvent produire des briquettes, seuls des déchets denses et secs permettront d'obtenir une poussière de charbon de qualité. Le degré d'humidité doit être compris entre 15 et 20 %. Cette valeur peut être mesurée à l'aide d'un testeur d'humidité. La durée du séchage varie de deux à sept jours. Dans certaines régions, comme en zone tropicale humide, il peut être nécessaire de faire sécher les déchets dans un four.



Four d'une capacité de deux tonnes pour carboniser les briquettes déjà compressées. Bénin.



Disposition des déchets sur des claies pour les faire sécher dans un four. Cameroun.

Focus sur : Le séchage optimal des déchets

- Les principaux facteurs bénéfiques pour le séchage sont l'exposition à la chaleur et la circulation de l'air ;
- Différents types de déchets ont un temps de séchage équivalent. Cette durée peut être de deux jours à plus d'une semaine ;
- Le séchage peut être amélioré par le découpage préalable des déchets ;
- Différentes techniques de séchage sont possibles : Table-Reed, treillis métallique, bâche en plastique, etc. ;
- En saison des pluies, il convient de disposer les déchets sous un auvent bien ventilé.



Carbonisateuse fabriquée à l'aide d'un simple fût. Burkina Faso.

b. La carbonisation

L'étape la plus délicate de la production des briquettes de charbon vert est la phase de carbonisation. Il s'agit de provoquer la décomposition chimique de la matière première, résidus agricole ou végétaux, par l'action de la chaleur. Dans le cadre d'une production artisanale, le processus se déroule dans un carbonisateuse fabriqué avec un fût métallique de 200 litres. De la biomasse sèche (résidus végétaux ou agricoles) est introduite dans le fût transformé en chaudière (carbonisateuse), qui comprend un couvercle (parfois surmonté d'une cheminée), une porte, des ouvertures sur les côtés qui permettent de régler le débit d'alimentation de l'air, ainsi que des pieds et des poignées soudés pour la manipulation du carbonisateuse. Avant le début du processus de carbonisation, il faut disposer de tout le matériel nécessaire : un four à carboniser, une pelle, des gants en cuir, un masque de protection, un arrosoir rempli d'eau et une bâche ou une tôle.

Voici les différentes étapes de l'opération de carbonisation :

- Introduire progressivement les résidus à carboniser dans le four jusqu'en haut, tout en les pressant légèrement pour remplir au mieux l'espace ;
- Eviter toutefois de trop presser les résidus pour faciliter le passage de l'air chaud. En effet, en pressant la biomasse, on crée des espaces isolés qui ne facilitent pas le passage de la chaleur ;
- Allumer le feu et attendre que le four soit bien chaud avant de fermer avec le couvercle ;
- A la fin de la carbonisation, enlever le couvercle surmonté de la cheminée et laisser refroidir ;
- Déverser le poussier obtenu (produit carboné) sur une bêche ou sur une tôle (si la température est encore élevée) ;
- Répéter les opérations autant que souhaité.

Il est nécessaire de choisir un site de production éloigné des habitations afin de protéger les habitants des fumées dégagées et des accidents possibles en raison de la chaleur.

Focus sur : La bonne carbonisation

Les résidus organiques à l'intérieur de la chaudière ne doivent pas brûler entièrement ; ils doivent seulement se carboniser.

Le contrôle consiste à observer la fumée. Si elle est jaune, cela signifie que de l'humidité s'échappe encore. Si elle est blanche, la carbonisation est parfaite. Par contre si la fumée est bleue, cela signifie que la température est trop élevée, il faut alors réduire les arrivées d'air pour ralentir la combustion, en obstruant, au moins partiellement, les ouvertures prévues à cet effet.

Les résidus organiques ne doivent pas être brûlés, seulement carbonisés, c'est-à-dire transformés en charbon. Toute la difficulté de la carbonisation est, en effet, de contrôler l'arrivée de l'air (oxygène) afin d'obtenir la plus grande quantité d'un charbon de qualité.

Focus sur : La qualité des poussières

- La qualité des briquettes produites dépend de la qualité de la poussière de charbon (appelée « poussières ») obtenue lors de la carbonisation ;
- La qualité est déterminée par la sélection des résidus, un temps de séchage approprié et une carbonisation soignée ;
- Le temps de carbonisation est important en effet :
 - Si le temps est trop court, une partie de la matière n'est pas carbonisée ;
 - Si le temps est trop long, on obtient trop de cendres.

Focus sur : La protection, la santé et la sécurité

- Il est impératif de réaliser la carbonisation à l'air libre et de porter un masque de protection respiratoire pour se protéger de la fumée ;
- La température du four de carbonisation peut être très élevée ; la prudence est donc requise autour de cet outil, surtout pour les enfants. Il est conseillé d'utiliser des gants de protection et d'éloigner des fours toute personne qui ne participe pas à la production ;
- La poussière de charbon est très volatile et dangereuse pour les voies respiratoires en cas d'inhalation. Il est nécessaire de porter un masque de protection respiratoire.

La carbonisation peut se faire près des lieux où les résidus sont disponibles si ceux-ci sont éloignés de l'unité de compactage. Le volume des matières à transporter est ainsi réduit. Pour rendre cette carbonisation possible près des résidus disponibles, il faut que des personnes soient en mesure de la réaliser sur place. Pour cela, le producteur de charbon vert doit dispenser une formation à un groupe de personnes. Un accord sera passé entre lui et ce groupe pour déterminer le prix d'achat des poussières.



LES EXPLICATIONS SCIENTIFIQUES

La carbonisation est une technique qui consiste à placer les résidus organiques dans des conditions de chaleur définies (de 400°C à 600°C) et dans un milieu pauvre en oxygène, pour produire du charbon.

Le bon déroulement du processus de carbonisation dépend de la bonne gestion de l'apport en oxygène dans le système. Un trop fort apport en oxygène risque de brûler la matière première au lieu de produire la matière carbonée souhaitée.

Après l'allumage du contenant du four, la température monte progressivement jusqu'à 100°C. Dès lors, l'humidité (environ 10%) contenue dans la biomasse s'évapore.

La température monte ensuite jusqu'à 280°C. Cette phase, dite endothermique, nécessite de l'énergie. Celle-ci est apportée par la combustion complète d'une petite partie de la biomasse contenue dans le carbonisateur. Si cette biomasse est sèche, la combustion nécessitera moins d'énergie.

A partir de 280°C, commence la phase de pyrolyse. La biomasse se décompose en charbon, goudron et autres éléments. Cette réaction est dite exothermique ; elle libère de l'énergie. Il faut donc limiter l'apport en oxygène en obstruant les ouvertures afin d'éviter la combustion totale du contenu du four. La chaleur dégagée par la pyrolyse fait monter la température à 400°C, jusqu'à ce que toute la matière soit transformée en charbon.

c. Le broyage

Après la carbonisation, le charbon est encore partiellement en morceaux. Or, pour la fabrication des briquettes, il est nécessaire de disposer de poussière de charbon. L'opération suivante consiste donc à broyer les poussières issues de la carbonisation. On obtient une poudre de charbon d'un grain régulier lorsque le broyage est fait avec un matériel mécanisé. S'il est fait de façon manuelle, on veillera à tamiser le produit broyé.

Il est recommandé de disposer d'un site de stockage pour la poudre de charbon et d'en disposer d'une quantité suffisante avant de procéder au compactage.

Focus sur : Le broyage et le tamisage

- Il est difficile de compresser les briquettes avec de grosses particules de poussières. Le broyage permet d'écraser ces particules pour obtenir une poussière de charbon assez fine ;
- Il existe différents moyens pour broyer les poussières : outils simples comme un mortier et un pilon, broyeurs manuels ou mécanisés ;
- Pour une petite production, le tamisage peut être réalisé avec un tamis fabriqué avec du grillage métallique.



Moulin pour broyer de la farine de manioc qui est utilisé comme broyeur de poussières pour obtenir de la poussière de charbon vert. Ouganda.

d. Les liants et le malaxage

Une dernière opération doit être effectuée avant de passer au compactage. Il s'agit d'ajouter un liant à la poussière de charbon pour faciliter le compactage et pour que les briquettes obtenues ne soient pas friables. Il existe plusieurs liants : amidon de blé, farine de manioc, gomme arabique, mélasse, argile... La farine de manioc est considérée comme le meilleur liant.

Le mélange s'effectue à la main ou à l'aide d'un malaxeur. On utilise souvent la farine de manioc parce qu'elle contient de la fécule qui a une consistance de colle. Les proportions du mélange sont approximativement les suivantes : 1 kg de farine de manioc, 10 litres d'eau et 20 kg de poudre carbonisée des résidus organiques. On prépare le liant, puis on l'incorpore à la poudre. On obtient ainsi un mélange homogène et compact.

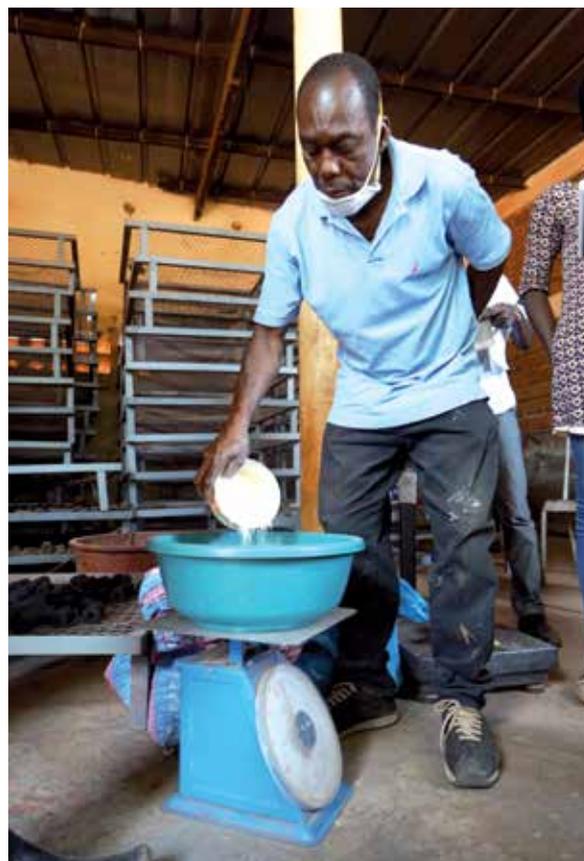
Le choix du liant est important : en fonction du liant choisi, la durée et l'intensité de la combustion du charbon vert peuvent varier.

L'argile est un autre liant intéressant. Elle contribue à augmenter le temps de combustion des briquettes. Mais l'allumage des briquettes fabriquées avec de l'argile est difficile. Le principal liant utilisé dans les grandes unités de production de charbon vert est la farine de manioc.

Focus sur : La préparation du liant : exemple avec la farine de manioc

- Faire bouillir l'eau. Les proportions sont à peu près les suivantes : 10 litres d'eau pour 1 kg de farine de manioc ;
- Verser la farine dans une petite quantité d'eau froide ;
- Verser la pâte dans l'eau bouillante et remuer jusqu'à ce qu'un changement de texture apparaisse, que la préparation jaunisse et qu'elle s'épaississe ;
- Laisser refroidir.

Pour réaliser un test de bonne proportion du mélange : faire une boule avec les mains puis la lâcher d'un mètre de hauteur : la boule doit se tenir. Si elle se casse, il n'y a pas assez d'eau. Si elle s'écrase de façon importante, il y a trop d'eau.



Pesage de la farine de manioc qui sert de liant. Burkina Faso.



Préparation du liant à base de farine de manioc. Burkina Faso.

Focus sur : La réalisation du mélange et le malaxage

- Peser la poussière fine, ajouter la quantité appropriée de liant et mélanger jusqu'à ce que le mélange soit uniforme ;
- Le liant doit représenter environ 5 % du poids sec des briquettes. Il est donc recommandé d'incorporer 1 kg de farine de manioc à 20 kg de poussière sèche. Pour les autres liants, des tests doivent être effectués ;
- Il est parfois nécessaire d'ajouter un peu d'eau pour faciliter le malaxage ;
- Le mélange peut se faire sur une bâche ou bien dans des cuvettes. Il peut aussi être fait à l'aide d'un malaxeur manuel ou motorisé ;
- La poussière fine est dangereuse pour le système respiratoire, il est donc important de prendre les précautions nécessaires en portant un masque. Il est conseillé aussi de se munir de gants fins.

NB : Au-delà de 7 % de liant à base de farine de manioc (en poids sec), les briquettes produiront de la fumée. En deçà de 4 %, elles se briseront au séchage.



Malaxeur électrique fabriqué au Bénin.



Ajout du liant à la poudre obtenue après carbonisation et broyage. Burkina Faso.

e. Le compactage / pressage

Cette étape a pour but de compresser le mélange obtenu pour obtenir des briquettes de charbon vert. Le compactage s'effectue à l'aide d'une presse, appelée aussi compacteur, dont la capacité dépend du volume de production attendue.

La qualité des briquettes de charbon vert dépend de la nature du liant, de la vitesse de compactage et de la granulométrie de la poussière de charbon.

Le choix de la forme des briquettes et de la pression exercée lors du compactage sont importants. En effet, la combustion ne se réalisera pas de la même façon si le charbon se présente sous forme de boulets ou de briquettes. La force de compactage a une incidence sur la vitesse de combustion. Celle-ci sera moins homogène dans le cas d'un compactage manuel que dans celui d'un compactage mécanique.



Machine fabriquée en Ouganda, qui produit plus d'une tonne de charbon vert par heure.



Une presse de compactage manuelle. Cameroun.



Charbon vert sous forme de boulets, Ouganda.



Opération de compactage avec une presse manuelle. République Démocratique du Congo.

f. Le séchage

La dernière opération dans la chaîne de production, juste avant la commercialisation, est le séchage des briquettes.

Pour faire sécher les briquettes compressées on les dispose sur des claies ; elles sont exposées au soleil ou bien disposées sous un abri, une serre par exemple.

L'objectif est de diminuer le niveau d'humidité pour améliorer la combustion des briquettes. Le séchage peut se faire à l'air libre si la pluviométrie est faible. Le temps de séchage d'une briquette est d'un ou de plusieurs jours, en fonction du taux d'hygrométrie et de la saison. Le taux d'humidité final des briquettes doit être de l'ordre de 8 à 10%.

Il faut prendre des précautions pour que les briquettes ne soient pas exposées à l'eau. Dans ce cas le liant se décomposerait et les briquettes deviendraient friables. Si elles ne sont pas complètement sèches, les briquettes s'allument mal et leur pouvoir calorifique est plus faible.

Il faut faire des tests réguliers sur les briquettes produites pour s'assurer d'une constance dans la qualité.

Focus sur : Le contrôle qualité

- Le contrôle qualité doit être effectué à chaque étape ;
- Une briquette de qualité brûle bien et ne s'effrite pas. De plus, elle ne se brise pas avant d'être livrée au client.

NB : les briquettes ne s'allument pas bien si elles ne sont pas complètement sèches.



Séchage au soleil des galettes de charbon vert sur des claies. Burkina Faso et Cameroun.



Séchage des briquettes sur des claies et sous abri. Côte d'Ivoire.

g. Le contrôle qualité

Le contrôle qualité est l'ensemble des opérations effectuées par les producteurs de charbon vert depuis les matières premières jusqu'au produit fini. En ce qui concerne la matière première, l'opérateur s'intéressera à plusieurs éléments :

- Le taux de fermentation de la matière première ;
- Le taux de pourrissement (hormis le pourrissement par fermentation) de la matière première ;
- Une éventuelle infection au mildiou (un champignon qui colonise la matière première abandonnée dans l'environnement) ;
- L'aspect général de la matière première.

En ce qui concerne le produit fini l'opérateur contrôlera :

- Le taux d'humidité de sortie du produit fini (généralement de l'ordre de 8 à 10 %). Si le taux est supérieur à 10 %, il faudra faire sécher à nouveau les briquettes ;
- Une éventuelle colonisation du produit par les champignons qui peuvent provenir du liant ;
- Le grammage et la régularité de la forme du charbon vert ;
- Le pouvoir calorifique, qui devra être testé ; les contrôles peuvent être faits en laboratoire ou par les producteurs eux-mêmes en utilisant des kits de mesure.

Les producteurs doivent s'assurer que leur production est de qualité constante et que leur charbon vert a une qualité équivalente à celle du charbon de bois.

Voici quelques étapes à suivre pour le contrôle de la qualité de la matière première :

- Peser la masse ;
- Mesurer le taux d'humidité à l'aide d'un hygromètre ;
- Mesurer la quantité de chaleur de cette matière première, à l'aide d'un thermoflash (thermomètre laser sans contact) ;
- Analyser par la vue s'il y a des taches noires sur les pelures ou bien un revêtement blanchâtre (un champignon).

Voici quelques étapes à suivre pour le contrôle des briquettes de charbon vert :

- Peser les échantillons ;
- À l'aide d'un hygromètre, mesurer la quantité d'eau dans le produit fini (le taux d'humidité ne doit pas dépasser 10 %) ;
- Vérifier par la vue si les formes sont régulières ;
- Vérifier qu'il n'y a pas de développement blanchâtre sur la surface externe.

h. Le conditionnement

Les pratiques en matière de conditionnement varient en fonction des politiques des Etats. Par exemple au Congo Brazzaville, les emballages en plastique sont interdits, alors qu'en Ouganda ils sont autorisés. Plusieurs types de conditionnements sont alors utilisés : sacs à farine ou à aliments pour bétail pour des quantités de 25 ou 50 kg, cartons pour 5 à 7 kg de charbon et sacs en papier résistant pour des lots de 1 kg, 2 kg, 3 kg ou 5 kg.

Si les producteurs disposent de moyens financiers suffisants, ils peuvent faire des impressions sur leurs emballages afin de donner de la visibilité à leur produit.

Pour créer un message publicitaire, il est possible de s'inspirer des idées ci-dessous. Par exemple, il est possible de retenir le côté « avantages » du charbon vert.

Caractéristiques	Avantages
Absence de fumée et de suie	Le charbon vert préserve la santé de votre famille
Combustion longue	Le charbon vert vous fait faire des économies
Faibles émissions de gaz à effet de serre	Le charbon vert respecte l'environnement
Qualité standardisée	Le charbon vert de bonne qualité est un produit de confiance
Usage similaire au charbon de bois	Le charbon vert est aussi efficace pour la cuisson que le charbon de bois

Voir aussi paragraphe « Publicité » dans le chapitre 4.1 La commercialisation.

Emballage en sacs plastique en Ouganda. Dans de nombreux pays d'Afrique francophone les sacs plastiques ne sont pas autorisés.



Hangar de stockage du charbon vert en sacs de 50 kg. Ouganda.

Conditionnement pour la vente au détail. Cameroun.

Emballage pour des livraisons de 1 ou 2 kg. Congo.

3 | Les matériels

3.1. Les carbonisateurs



Carbonisateurs fabriqués localement. Cameroun.

La carbonisation est la décomposition thermique de matières organiques en l'absence d'oxygène ou en atmosphère pauvre en oxygène. Il existe une grande variété de matériels pour effectuer cette opération. La plupart du temps, les petits producteurs utilisent de simples fours construits à partir de vieux fûts métalliques de 200 litres. Différentes adaptations sont faites pour permettre le réglage du débit d'alimentation de l'air : ouvertures sur les côtés, couvercle avec charnière et cheminée, trous autour du fût, poignées soudées pour faciliter le déplacement du four, pieds à la base du four pour assurer sa stabilité et régler le débit d'air, etc. Une porte peut être aménagée dans la partie basse du four pour faciliter la récupération des poussières.

Des plans sont disponibles sur simple demande :
initativesclimat@gmail.com

Ces fours présentent plusieurs inconvénients : un faible rendement, une usure rapide en raison des hautes températures, et des conditions de travail difficiles pour les opérateurs en raison du dégagement d'une forte chaleur.

Des fours plus sophistiqués permettent de procéder par pyrolyse. Celle-ci consiste à récupérer les gaz de combustion lors de la carbonisation : le rendement obtenu est meilleur (45 % dans le cas d'une pyrolyse contre 25 % dans le cas d'une simple carbonisation) et les poussières sont de qualité. La pyrolyse nécessite plus de temps qu'une simple carbonisation.

Un autre type de four, de plus grande capacité, comprend une structure en tôle d'acier isolée à l'aide de sable et de briques réfractaires. La carbonisation est plus lente mais de très bonne qualité (absence de cendres notamment) et la contenance du four est grande si on la compare avec celle des fours réalisés avec des fûts métalliques. Ce four a été conçu lors d'un atelier de Recherche & Développement organisé par Initiatives Climat.

Des informations sur ce four sont disponibles :
initativesclimat@gmail.com

Enfin, dans les unités semi-industrielles, on utilise des fours de plus grande capacité, qui nécessitent du carburant ou de l'électricité pour leur fonctionnement.



Four de carbonisation d'un volume de 1 m³. Côte d'Ivoire.



3.2. Les compacteurs

Un compacteur permet de presser la poudre carbonisée des résidus organiques mélangée avec un liant pour fabriquer des briquettes.

La production par heure varie fortement suivant la force motrice utilisée (manuelle, mécanique sans moteur ou bien motorisée), la capacité et la puissance du compacteur (nombre de moules, vitesse d'éjection...), le mode d'alimentation (manuel ou automatique) et le nombre d'opérateurs. La production peut varier de quelques kilos à plusieurs centaines de kilos par heure.

Suivant les modèles de presse, les briquettes sortent en morceaux cylindriques, en cubes ou sous la forme de boulets.

Des informations sur cette presse, conçue par Initiatives Climat (ICAF) au Burkina Faso en avril 2019, sont disponibles : initativesclimat@gmail.com

Fabrication d'un prototype de presse. Burkina Faso.



Presse de compactage 36 moules. Côte d'Ivoire.



Production de briquettes avec la presse d'Initiatives Climat. Burkina Faso.



Matériel qui effectue deux opérations : le broyage et le compactage. Maroc.



Presse de 60 moules fabriquée au Bénin.

3.3. Les appareils de mesure

Il est nécessaire de se doter d'une balance pour le pesage des liants par exemple, d'un testeur d'humidité et d'un thermomètre infrarouge numérique dont la gamme de mesure est de 32 à 400 °C bien utile pour suivre la montée en température lors de la carbonisation.

Le testeur d'humidité permet de connaître le degré d'humidité des résidus à carboniser et aussi celui des briquettes de charbon vert. Le thermomètre permet de suivre la montée en température lors de la carbonisation, en particulier pour les fours isolés avec des briques réfractaires.

4 | L'emploi du charbon vert

4.1. La commercialisation

Une partie de la production de charbon vert, surtout lorsqu'elle est faite par des groupements de femmes, permet de couvrir les besoins en combustibles pour la cuisine des producteurs eux-mêmes. Toutefois, la partie « autoconsommée » ne représente généralement qu'une faible partie du volume total produit. La question de la commercialisation se pose donc afin de couvrir les coûts de production et de générer des revenus pour les producteurs.

La vente du charbon vert se fait généralement près des lieux de production. Cela s'explique d'une part, par l'existence d'un marché important (le charbon vert étant un substitut au charbon de bois, dont l'usage est répandu), d'autre part par la nécessité de réduire les coûts de livraison.

L'étude préalable à la création d'une unité de production doit intégrer une étude de marché, même si celle-ci n'est pas effectuée dans les règles de l'art par un expert : cf. chapitre 7-1 « Etude préalable en rapport avec les besoins en énergie ».

4.1.1. Les différents circuits de vente

A titre indicatif, voici des exemples de circuits de vente employés par différents producteurs.

Les ventes en direct :

- Vente sur le lieu de production : un espace peut être aménagé dans un local ou sous un auvent pour y accueillir les clients et vendre le charbon vert au poids. Il est suggéré aux clients d'apporter leurs contenants ;
- Vente aux restaurateurs : compte tenu de leurs besoins importants en combustible, une vente par sac de 25 kg est envisageable. Toutefois, il est nécessaire d'assurer la livraison et de mettre en place un système de commandes par téléphone ;
- Vente aux cantines : il peut s'agir de cantines d'entreprises, de collectivités publiques, d'écoles, etc.



Vente au détail sur un marché. Cameroun.

La distribution via des revendeurs :

- Vente auprès des distributeurs de combustibles (vendeurs de charbon de bois) ; ceux-ci ont déjà une clientèle fidélisée. Il s'agit de les convaincre de proposer un nouveau produit à celle-ci. Un prix concurrentiel par rapport au charbon de bois peut être un bon argument de vente ;
- Vente « à la sauvette » dans les villes en particulier, où de petits vendeurs peuvent proposer le charbon vert dans un quartier, au coin d'une rue. Le charbon vert peut aussi être mis en vente à des endroits stratégiques, le long des voies de circulation et des aires d'arrêt des véhicules. Ces vendeurs peuvent aussi cibler les préparateurs de grillades ou de maïs grillé qui exercent leur activité dans les rues, souvent à partir de la fin de l'après-midi ;
- Vente sur les marchés : un réseau de petits revendeurs peut assurer l'écoulement du charbon vert auprès des consommateurs ;
- Ventes ambulantes à l'aide de triporteurs, de « pousse-pousse » ;
- Ventes exceptionnelles lors de salons ou d'événements particuliers, nationaux ou régionaux.

Les actions promotionnelles

Ces actions permettent à la fois d'informer les utilisateurs potentiels sur l'existence du charbon vert, d'en faire connaître les avantages et d'effectuer des ventes. Le choix de telle ou telle forme d'actions variera en fonction de la localisation et des personnes ciblées. Il peut s'agir de :

- Animations commerciales sur un stand dans les lieux publics ;
- Animations par le biais de groupes constitués : groupements de femmes, groupements villageois, associations de quartiers, établissements scolaires...

Lors de ces actions, il est possible de remettre des échantillons et d'indiquer aux consommateurs potentiels les différents lieux où ils pourront s'approvisionner par la suite.

4.1.2. Publicité

Pour les producteurs qui peuvent affecter un budget à la publicité, il est possible de réaliser un kakemono pour les animations commerciales, des affiches ou bien encore des dépliants.

La radio est un bon media pour faire la promotion du charbon vert. Les producteurs ont la possibilité de se faire inviter dans des émissions et aussi de faire diffuser des spots publicitaires (payants). Il est possible aussi de suggérer à des télévisions locales ou à des blogueurs de réaliser des reportages.

Les réseaux sociaux permettent de diffuser des informations de façon rapide et gratuite, illustrées par des photos et des vidéos. Il peut s'agir d'informations sur la production, les usages du charbon vert ou bien encore sur les différents points de vente.

Retenir un ou des slogans peut rendre les ventes plus efficaces. Il est toujours souhaitable d'adapter le slogan utilisé au public visé. A titre d'exemples :

- « *Protégez votre famille, économisez de l'argent et protégez les forêts sans effort* » ;
- « *Produit bénéfique pour un avenir meilleur* » ;
- « *La nouvelle génération du charbon* » ;
- « *Le charbon bio, c'est bon* » ;
- « *Réjouissez-vous d'une nouvelle expérience de cuisson* » ;
- « *Propres et moins chères, les briquettes c'est une affaire* ».

4.1.3. Contacts et partenaires

Il est indispensable de contacter différents acteurs qui s'intéressent aux énergies renouvelables. C'est le cas, notamment, d'institutions publiques, de sociétés privées, d'organisations internationales, d'associations et d'ONG qui s'impliquent dans la diffusion des foyers améliorés.

A l'heure où les questions des changements climatiques préoccupent un grand nombre d'acteurs, il est intéressant de présenter les avantages du charbon vert en termes d'adaptation et d'atténuation lors de réunions ou d'événements consacrés à ces questions.

4.2. La sensibilisation des utilisateurs

La grande majorité des ménagères et des autres utilisateurs de biocombustibles ne connaissent pas le charbon vert ; sa fabrication est en effet limitée, parfois même inexistante, dans certains pays. La priorité a été donnée au cours des dernières décennies à la diffusion des foyers économes en énergie ; ceux-ci permettent de réaliser des économies de bois et de charbon de bois. Cependant, ces ressources énergétiques s'épuisent et leur achat peut représenter une part non négligeable du budget des familles.

Aussi les producteurs doivent-ils relever le défi de faire accepter un nouveau combustible qui présente de nombreux avantages. Les utilisateurs sont souvent réticents car ils sont encore peu informés sur les caractéristiques du charbon vert. Il est nécessaire de conduire des actions d'information à la fois auprès des utilisateurs et des distributeurs. Le moyen le plus efficace est sans doute de réaliser des démonstrations (sur des marchés, à l'occasion d'événements particuliers) et de remettre des échantillons gratuits pour que chacun fasse ses propres essais. Une campagne de communication plus ambitieuse, avec le support des médias, est envisageable, sous réserve de disposer d'un budget.



Animation dans un lycée de Douala pour faire découvrir le charbon vert. Cameroun.

4.3. Les allume-feu



Allume-feu écologique produit par Eco Bio Africa (Simone MBOULE AKOMO), au Cameroun.

Une enquête menée sur quelques marchés et dans des quartiers proches de l'Université de Douala a permis de savoir ce que la population utilise pour allumer le foyer traditionnel : latex, pétrole et ses dérivés plastiques, vieilles babouches, vieux vêtements, etc. Ces combustibles couramment utilisés émettent des odeurs nauséabondes et des gaz toxiques. Ils modifient le goût des aliments cuits à la braise et nuisent à la santé des hommes et des animaux ainsi qu'à l'environnement.

Un allume-feu écologique a été conçu ; il est fabriqué à l'aide de déchets ménagers, de déchets d'agrumes et de déchets de bois. Il résiste à l'eau et il est disponible en toute saison car la matière première est abondante. Il ne dégage pas d'odeur toxique, mais plutôt un parfum naturel agréable, celui d'agrumes. Pour sa fabrication, une fois la collecte des déchets effectuée, il faut débarrasser ceux-ci de toute matière plastique ou limaille de fer, puis procéder au compactage à l'aide de moules. Le produit obtenu est économique : une rondelle d'allume-feu permet de procéder à dix allumages ; un morceau brûle dix minutes, ce qui donne au bois ou au charbon le temps de s'enflammer ou de s'embraser.

5 | Les données économiques

5.1. Le prix de revient

Pour estimer le prix de revient, il faut prendre en compte un ensemble de postes de dépenses.

Coûts directs

Approvisionnement en résidus organiques	Formation et suivi	Fabrication du charbon vert	Commercialisation
<ul style="list-style-type: none">• Achat des résidus organiques (s'ils ne sont pas gratuits) ;• Coût du transport ;• Frais de personnel pour la collecte et le transport.	<ul style="list-style-type: none">• Coût de participation à une formation ;• Achat d'une prestation de formation sur le lieu de l'unité ;• Achat d'une prestation d'accompagnement (sur une année).	<ul style="list-style-type: none">• Achat de matériels de protection ;• Achat de consommables (liants...) ;• Frais d'eau et d'électricité ;• Amortissement du matériel (sur trois ans par exemple) ;• Frais de maintenance du matériel (qui peuvent être une somme forfaitaire par mois) ;• Location des locaux (ou amortissement) ;• Frais de personnel pour la fabrication.	<ul style="list-style-type: none">• Emballage ;• Frais de communication et de publicité ;• Coût des échantillons remis gratuitement ;• Frais de livraison ;• Frais de personnel pour la commercialisation.

Coûts indirects

Frais financiers	Frais de gestion	Marge bénéficiaire
Remboursement des intérêts des prêts contractés.	En pourcentage des coûts directs, par exemple 5%.	A déterminer en fonction du prix des combustibles sur le marché afin d'être concurrentiel.

REMARQUE : certaines de ces dépenses peuvent être nulles (si par exemple les résidus organiques sont gratuits) ou très faibles.

5.2. Les coûts d'investissement

Ils varient fortement en fonction de la taille de l'unité de production : unité artisanale, unité intermédiaire, unité semi-industrielle et unité industrielle (il s'agit souvent dans ce cas d'usines livrées « clés en main » qui ne font pas l'objet d'étude dans le présent guide).

Des éléments chiffrés sont donnés dans le paragraphe « Choix de la taille de l'unité de production ».

6 | Les avantages du charbon vert

Le charbon vert, en tant que substitut au charbon de bois, présente des avantages dans plusieurs domaines.

6.1. Les avantages sur le plan social

- La corvée de bois pour les femmes et les jeunes filles est allégée ; celles-ci peuvent ainsi s'adonner à d'autres activités ;
- Le statut social des femmes qui produisent du charbon vert s'améliore grâce à la formation dont elles bénéficient et aux revenus qu'elles perçoivent. Grâce à ces revenus, les enfants peuvent aller à l'école et bénéficier de soins plus facilement ;
- Les populations sont mieux informées sur les risques liés aux changements climatiques, qui vont modifier profondément la vie quotidienne des Africains.

6.2. Les avantages sur le plan sanitaire

- Les femmes et leurs enfants sont moins exposés aux maladies respiratoires dues à l'inhalation des fumées de combustion du bois et du charbon de bois. En effet, la combustion d'un charbon vert de bonne qualité émet peu de fumée ;
- La collecte des déchets organiques sur les marchés et dans les rues permet d'assainir les villes.

6.3. Les avantages sur le plan économique

- Les ménages et les professionnels de la restauration réalisent des économies sur l'achat des combustibles car, en général, le charbon vert est vendu moins cher que le charbon de bois ;
- Des plus-values sont générées grâce à la transformation des résidus agricoles ;
- Des emplois locaux sont créés ;
- Des revenus sont générés, en particulier pour les femmes et les jeunes ;
- L'économie locale est dynamisée ;
- Lorsque le charbon vert est exporté, il rapporte des devises au pays.

6.4. Les avantages sur le plan écologique

Le charbon vert contribue à la préservation des forêts et à la lutte contre les effets négatifs des changements climatiques. Cela a plusieurs conséquences positives pour l'environnement :

- Les émissions de gaz à effet de serre (CO₂/dioxyde de carbone, CH₄/méthane et N₂O/protoxyde d'azote) sont réduites car la production de charbon vert émet moins de GES que celle du charbon de bois ;
- Le couvert forestier est préservé et se reconstitue naturellement ;
- Les puits de carbone constitués par les arbres sont préservés car la pression sur les zones boisées est moindre ;
- Les zones de mangroves sont mieux préservées ;
- Le maintien d'un couvert forestier favorise la biodiversité.



LE POTENTIEL EN MATIÈRE DE LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

- Déforestation évitée par tonne de charbon de bois : 5,5 tonnes de bois sec ;
- Emission de CH₄ évitée par tonne de charbon de bois produite : 3,5 tonnes CO₂-équivalent ;
- Les calculs évaluant les crédits de carbone générés par une machine Piro-7 donnent 11,6 tonnes de CO₂-équivalent par tonne de charbon vert.

Source : *L'encyclopédie de la Francophonie*.

6.5. Les avantages sur le plan politique

- Les Etats peuvent prendre des mesures plus strictes en matière de préservation du couvert forestier (par exemple la limitation de la coupe du bois) car le charbon vert offre une alternative pour la cuisson des aliments ;
- L'emploi du charbon vert contribue à l'atteinte des contributions déterminées au niveau national (CDN/NDCs).



7 | Les conditions de réussite de la création d'une unité de production de charbon vert

7.1. Étude préalable en rapport avec les besoins en énergie

Toute étude de création d'une unité de production de charbon vert doit être précédée d'une analyse de la situation de la région sur le plan énergétique. Cette analyse permet de :

- Cerner les lois et les réglementations en vigueur en ce qui concerne l'exploitation du bois de feu et la fabrication du charbon de bois ;
- Connaître les sources d'énergie employées par différents utilisateurs : ménages, établissements collectifs (restaurants, hôtels, établissements scolaires, PME, etc.) ;
- Évaluer les différents usages et les besoins des utilisateurs pour le charbon de bois et le bois de feu, par exemple la consommation mensuelle moyenne d'un ménage ou d'un restaurant ;
- Apprécier les circuits de production, d'approvisionnement et de vente du charbon de bois : charbonniers, vendeurs à la sauvette, distributeurs, magasins... ;
- Se renseigner sur les prix de vente du charbon de bois aux utilisateurs finaux et aux grossistes (pour connaître leur marge) ;
- Identifier, le cas échéant, les producteurs de charbon vert de la région ou du pays.

Les éléments collectés servent à :

- Apprécier la faisabilité de la création d'une unité de production de charbon vert ;
- Élaborer un business plan (pour les projets d'une certaine envergure qui requièrent la recherche d'investisseurs ou l'obtention de prêts) ;
- Dimensionner l'unité de production afin de couvrir les besoins du marché ;
- Déterminer les éléments du prix du charbon vert : coûts de l'achat ou de la collecte des résidus, transport, amortissement du matériel, liants et autres consommables, électricité, personnel, packaging et commercialisation (publicité, livraison, marge pour les grossistes).

7.2. Choix des déchets organiques et des résidus agricoles

Comme mentionné précédemment, une grande variété de déchets et résidus peuvent être utilisés pour la fabrication du charbon vert. Il convient de :

- Identifier les gisements de résidus disponibles, de préférence près de la future unité de production de charbon vert ;
- Préciser la nature de ces résidus. A noter que le taux d'humidité est un des éléments à prendre en compte dans le choix des déchets à transformer : il est préférable de transformer les résidus qui ont le plus faible taux d'humidité ;
- Évaluer les quantités de résidus utilisables (poids et volume) ;
- Apprécier les distances à parcourir pour le transport des résidus et les moyens de transport qui sont nécessaires (véhicules et voies de communication) ;
- Évaluer : les coûts d'achat (si les résidus sont vendus, ce qui est le cas parfois par les entreprises de transformation de produits agricoles), les coûts de collecte (par exemple si les déchets sont collectés sur les marchés ou dans les champs), les coûts d'acheminement jusqu'au lieu où se pratique la carbonisation.

7.3. Choix de la structure juridique

Tout groupe déjà constitué peut s'engager dans la production de charbon vert. Cependant, il devra au préalable se mettre en conformité avec les lois de son pays qui régissent la production et la commercialisation des biocombustibles.

Les producteurs qui n'ont pas de structure juridique peuvent s'organiser en :

- Organisation communautaire de base ;
- Association, ONG ;
- Coopérative ;
- Jeune entrepreneur vert (auto-entrepreneur, entreprise individuelle, société personne physique, SARL, etc.).

Une production artisanale peut se faire de façon informelle, avec l'appui de membres de la famille ou d'amis. Quant à la recherche de financements (subventions ou prêts) et la commercialisation de la production, elles nécessitent souvent de disposer d'un statut juridique.

7.4. Choix de la taille de l'unité de production

7.4.1. Unité artisanale

La production de charbon vert peut se faire de façon artisanale avec de petits matériels manuels fabriqués sur place pour quelques centaines d'euros qui permettent de produire quelques centaines de kilos par mois. La surface de travail peut être d'environ 50 m².



EXEMPLE D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION ARTISANALE D'UN GROUPEMENT FÉMININ AU BURKINA FASO

Terrain

Le groupement disposait déjà d'un terrain et d'une construction. Il a suffi de faire des travaux d'aménagement pour un montant de 600 €.

Matériels

- Trois carbonisateurs au prix unitaire de 115 € ;
- Une presse manuelle de 20 moules, au prix de 500 € ;
- Des claies de séchage métalliques mobiles pour un montant de 450 € ;
- Du petit matériel pour 340 € ;
- Et l'installation de l'atelier pour 600 €.

Soit un total de 2.235 €.

Ce prix peut être minoré si les claies sont fabriquées localement en bois. A noter toutefois qu'elles seront moins durables. Ce prix ne tient pas compte de l'acquisition éventuelle d'un moyen de transport des résidus organiques.



Groupement de femmes de l'ONG SOS Energie, Burkina Faso.

7.4.2. Unité intermédiaire

Pour une production plus importante, de plusieurs tonnes par mois, il convient de :

- Disposer d'une subvention ou d'un capital de départ pour se procurer le matériel de production (celui-ci peut être manuel mais il est préférable qu'il soit électrifié) ;
- D'un espace de travail en partie couvert : de 100 à 200 m² ;
- D'un approvisionnement en électricité le cas échéant ;
- D'une main-d'œuvre qualifiée.



EXEMPLE D'UNE UNITÉ DE PRODUCTION TYPE POUR UN GROUPEMENT DE FEMMES AU CAMEROUN

Terrain

L'achat d'un terrain et la construction de locaux s'avèrent parfois nécessaires.

Voici une estimation des coûts :

- Achat du terrain : 1.500 € ;
- Construction d'un magasin : 2.600 € ;
- Construction d'un hangar : 460 €.

Soit un total de 4.560 €

Il faut s'assurer que le terrain dispose d'un point d'eau. Dans le cas contraire, le creusement d'un puits ou des travaux d'adduction sont nécessaires.

Matériels

- Cinq carbonisateurs au prix unitaire de 60 € ;
- Un broyeur motorisé au prix de 600 € ;
- Une presse de compactage électrifiée au prix de 1.275 € ;
- Un malaxeur manuel au prix de 250 € ;
- Des claies de séchage pour un total de 150 € ;
- Du petit matériel* pour un prix total de 600 € ;
- Cinq « porte-tout » ou « pousse-pousse », qui permettent de transporter les résidus des champs vers l'unité de production au prix unitaire de 130 €.

Soit un total de 3.825 €.

Moyen de transport

Prix d'une moto-tricycle pour le transport du charbon vert jusqu'aux lieux de vente : 4.500 €.

* Balance, bassines, brouettes, seaux, pelles, balances, râtaux, arrosoirs, bâche de séchage, blouses de travail, bottes, gants en cuir, masques anti-poussières, sacs vides de 50 kg.



Groupe de femmes de l'ONG INFO HORIZON, Cameroun.

7.4.3. Unité semi-industrielle

Pour une production semi-industrielle, qui permet de produire plusieurs dizaines de tonnes par mois, il est nécessaire de disposer d'une chaîne de production qui permette la réalisation de toutes les étapes de fabrication. L'investissement peut être estimé entre 50.000 et 100.000 €. Ces éléments sont donnés à titre indicatif ; ils peuvent varier en fonction des pays et des choix faits pour l'acquisition des matériels (fabriqués localement ou importés).



EXEMPLE DE L'UNITÉ DE PRODUCTION SEMI-INDUSTRIELLE DE KEMIT ECOLOGY À DOUALA AU CAMEROUN

L'unité semi-industrielle de la société KEMIT ECOLOGY SARL au Cameroun transforme 120 tonnes de matière première chaque mois en 22 tonnes de charbon vert ainsi que des produits connexes (gommage, charbon actif, savon noir, etc.).

Site de production

Il est nécessaire de disposer :

- D'un site ouvert d'au moins 600 m² dallé pour l'accueil et le prétraitement des matières premières ;
- D'un bâtiment d'une surface minimum de 400 m² pour la transformation des matières premières en charbon vert.

Matériels

- Un camion 6 roues ou un pick-up grand modèle pour la collecte des résidus ;
- Deux ou trois triporteurs pour assurer la collecte dans les endroits difficiles d'accès ;
- Un carbonisateur à tambour rotatif d'une capacité de séchage et de carbonisation d'une tonne à l'heure (environ 15.000 € y compris les accessoires : compresseur à air, tuyauterie, tableau de commande) ;
- Un broyeur à sec d'un moteur de 10 chevaux vapeur et d'une capacité deux tonnes à l'heure (1.500 €) ;
- Un broyeur à frais pour les matières premières dont le taux d'humidité est élevé (environ 1.500 €) ;
- Un convoyeur d'une capacité de largage illimitée (environ 8.000 €) ;
- Un malaxeur de grande capacité (environ 7.000 €) ;
- Un compacteur multi-paramètres d'une capacité d'une tonne à l'heure, avec système de radiateur à la sortie et à plusieurs moules (environ 12.000 €) ;
- Une chambre à sécher qui fonctionne au charbon, d'une capacité de finition de séchage de deux tonnes toutes les quatre heures avec un aspirateur géant et des charriots de rechange (environ 15.000 €) ;
- Un broyeur à frais pour les matières premières dont le taux d'humidité est élevé (environ 1.500 €) ;
- Des ustensiles de production et des intrants pour un montant de l'ordre de 8.000 €.

Soit un total de 68.000 €, hors véhicules de transport et locaux.

Une unité qui dispose d'un tel équipement peut produire de 32 à 70 tonnes par mois, soit de 380 à 840 tonnes par an.



L'équipe de production de KEMIT ECOLOGY comprend 15 personnes.

7.5. Choix de l'implantation de l'unité

7.5.1. Espace de travail

L'espace de travail doit comporter plusieurs zones :

- Une zone de stockage des résidus collectés : celle-ci peut être à l'air libre, ce qui permet de bénéficier de la chaleur du soleil pour accélérer la baisse du taux d'humidité des résidus. Elle peut aussi être sous abri pour éviter que les résidus ne soient exposés à l'eau pendant les saisons des pluies. Dans les régions où le taux d'humidité est très élevé une bonne partie de l'année (en particulier dans les zones de forêts tropicales), les résidus doivent parfois être séchés dans des fours ;
- Une zone pour la carbonisation : celle-ci doit être située un peu à l'écart des constructions et des espaces de travail afin que le personnel et le voisinage ne soient pas incommodés par les fumées issues de la carbonisation. Dans certains pays, il convient de disposer des autorisations nécessaires auprès des autorités compétentes pour effectuer la carbonisation ;
- Une zone pour la fabrication des briquettes, où sont réalisées les opérations de broyage, malaxage et compactage ;
- Une zone pour le séchage des briquettes qui peut être à l'air libre pour bénéficier de la chaleur directe du soleil ou bien sous auvent lors des saisons des pluies ;
- Une zone de stockage, où sont réalisées les opérations d'emballage et de stockage de la production finale. Le local fermé qui est alors nécessaire, peut aussi servir pour l'entreposage des matériels et des consommables, les liants et les sacs par exemple.

REMARQUE : en milieu rural, on peut remarquer que certains producteurs fabriquent peu de charbon vert car ils sont très occupés par les travaux des champs ou bien parce que les pluies ne permettent pas d'effectuer des opérations à l'air libre. Dans ce cas, la production de charbon vert est considérée comme une activité de saison sèche.

7.5.2. Situation géographique de l'unité

Un producteur s'installe en priorité dans un lieu qu'il possède ou bien dont il a l'usufruit, par exemple les locaux d'un groupement villageois ou d'une coopérative. Cependant, il faut s'assurer que les gisements de résidus qui seront collectés ne sont pas trop éloignés du lieu de production. En effet, les coûts de transport peuvent être élevés en temps et en argent.





Presse d'ICAF de 25 moules.

7.6. Choix du matériel

7.6.1. Matériels fabriqués localement

Pour des unités artisanales ou intermédiaires, il est recommandé de faire fabriquer localement les matériels nécessaires à la production du charbon vert. Le présent manuel donne des informations qui permettent à des artisans locaux de fabriquer les matériels en question. Il est conseillé d'utiliser de l'acier de bonne qualité afin que les matériels construits soient durables. Les artisans et autres ateliers de mécano-soudure qui ont l'habitude de fabriquer des huisseries métalliques ou des matériels de culture et de post récolte sont en principe qualifiés pour produire les matériel de production du charbon vert. Une mise en concurrence est toujours possible afin d'obtenir le meilleur rapport qualité / prix.

Des matériels fabriqués localement seront toujours moins chers que des matériels importés. De plus, il sera plus facile d'en assurer la maintenance et la réparation.

De l'avis de plusieurs producteurs africains de charbon vert, l'achat de matériels chinois comporte un ensemble de risques : taxes à l'importation parfois élevées, pièces d'usure non disponibles localement, puissance des moteurs électriques (en triphasé parfois) pas toujours compatible avec les puissances délivrées par les réseaux d'électricité, coût de fonctionnement (électricité notamment) non négligeable. Il est nécessaire de disposer d'une solide expérience avant d'avoir recours à ce type de matériels.

7.6.2. Matériels importés

Il existe des fabricants dans plusieurs pays, notamment au Brésil, en Chine ou bien encore en France. L'acquisition de ces matériels ne peut s'envisager que dans le cas d'une production assez conséquente. Le prix du premier modèle de presse est de l'ordre de 5.000 €.

Certaines entreprises proposent aussi la livraison d'usines clés en main, qui permettent de produire plusieurs centaines de tonnes de charbon vert mensuellement.

Des chaînes de production sont aussi conçues et fabriquées en Afrique. C'est le cas notamment de l'installation de Kemit Ecology, au Cameroun.

7.7. Formation et accompagnement

7.7.1. Les autodidactes

De nombreux groupes ou personnes se sont lancés sans soutien extérieur dans la fabrication du charbon vert. Ils ont collecté, ici ou là, notamment sur internet, des informations souvent délivrées avec parcimonie et sans validation scientifique et technique. La plupart de ces initiateurs ont échoué dans leur entreprise car ils n'ont pas rassemblé toutes les conditions nécessaires pour produire un charbon de qualité.

De nombreux projets collectifs de production de charbon vert ont vu le jour en Afrique au bénéfice de coopératives et de groupements. Mais certains de ces projets n'ont pas survécu à la fin des subventions dont ils ont bénéficié. Faut-il rappeler qu'une unité de production n'est pérenne que si elle est rentable sur le plan économique ? Et que cette donnée doit être prise en compte dès la conception du projet ?

Cependant, quelques pionniers ont réussi à asseoir leur unité car ils disposaient d'un bon bagage technique, d'un environnement favorable (incubateur, laboratoire universitaire, etc.) ou bien encore d'une solide expérience de charbonnier (fabricant traditionnel de charbon de bois). Et bien sûr aussi de la motivation et de la persévérance pour surmonter les nombreux obstacles qui peuvent survenir.

Certains de ces producteurs sont rassemblés maintenant au sein du « Cluster Africain Charbon Vert », dont l'objectif est de « *contribuer au développement de la filière charbon vert en Afrique francophone* ». Voir chapitre 10 : « Le Cluster Africain Charbon Vert ».

7.7.2. Avec l'appui de producteurs

Les producteurs de charbon vert qui disposent d'une unité de production fonctionnelle sont très sollicités par des associations et des personnes individuelles pour découvrir les techniques de production. Ils acceptent souvent de faire ce travail bénévolement. Par manque de structure de formation, c'est la principale voie qui s'offre à toute personne qui veut découvrir les choses de visu, en plus de la prise de connaissance de la littérature qui existe sur le sujet.

7.7.3. Avec l'appui de formateurs

Des formations pour des groupes constitués commencent à être organisées dans différents pays afin de répondre à la forte demande. Une première formation, de quelques jours à une semaine, permet de sensibiliser les publics bénéficiaires à l'intérêt du charbon vert et de faire découvrir les étapes de la fabrication. Toutefois, cela n'est pas suffisant pour se lancer seul dans la création d'une unité de production. Afin de ne pas connaître l'échec, il est vivement recommandé de se faire accompagner par une personne expérimentée pour un ensemble de tâches : dimensionnement de l'unité, choix des matériels, implantation de ceux-ci, mise en route de la chaîne de fabrication, formation in situ de l'équipe, évaluation de la qualité de la production, appui à la gestion et à la commercialisation. Cela nécessite un accompagnement régulier sur une période de plusieurs mois à une année. C'est une des conditions de succès du projet.

Le « Cluster Africain Charbon Vert » dispose d'un pool de formateurs et de personnes expérimentées, en capacité d'accompagner des démarches de ce type.



UNE EXIGENCE : LA QUALITÉ DE LA PRODUCTION

Une condition majeure à remplir pour pérenniser une activité de production est celle de la qualité du charbon produit. Un charbon trop cassant, un charbon qui fume ou dont le pouvoir calorifique est inférieur à celui du charbon de bois ne sera pas adopté par l'utilisateur final. Ce dernier sera enclin à l'employer si le charbon présente des avantages indéniables pendant la cuisson et s'il est vendu à un prix inférieur à celui du charbon de bois. La qualité est le critère essentiel d'acceptation. Aussi un nouveau producteur doit-il tout mettre en œuvre pour satisfaire à cette condition.

7.8. La commercialisation

- **Éléments de mercatique** : inventer une marque, et le cas échéant la déposer auprès d'une institution compétente (s'assurer de l'antériorité), concevoir un logotype, imaginer un slogan, élaborer une affichette, des prospectus, des cartes de visite, photos, vidéo ;
- **Emballages** : disposer de sacs de différentes dimensions, de préférence en papier (1 kg, 2 kg, 3 kg et 5 kg) ainsi que de sacs réutilisables de grande dimension pour la livraison à des distributeurs qui vendent au poids ;
- **Distribution d'échantillons tests** aux utilisateurs finaux afin de recueillir leurs avis. Une petite enquête peut être conduite à l'aide d'un simple QCM (questionnaire à choix multiple) qui comporte différents éléments : facilité d'emploi (en particulier allumage), possibilité d'approvisionnement (proximité), efficacité (pouvoir calorifique), prix d'achat (en comparaison avec les autres combustibles), confort d'utilisation (fumée) ;
- **Modes de vente** : vente directe sur le lieu de production, réseaux de petits revendeurs, magasins, vente à des collectivités et à des grossistes ;
- **Niveau de stock** : il est important de bien gérer son stock afin de pouvoir répondre dans des délais courts aux demandes des clients fidèles et d'éviter les ruptures de stocks.

8 | La formation

8.1. Les objectifs visés

La formation des futurs producteurs de charbon vert revêt une grande importance. Dans les faits peu de personnes ou d'organismes dispensent des formations qui couvrent l'ensemble des domaines de compétences à acquérir pour créer et gérer une unité de production.

Les besoins en formation sont de deux types :

- Des formations de base : techniques d'animation de groupes, gestion des ressources humaines, gestion administrative et financière, étude de marché, élaboration d'un budget prévisionnel (voire d'un business plan pour les projets d'une certaine envergure), montage de projets, marketing et stratégies de communication et de commercialisation...
- Des formations plus spécifiques sur les techniques de production du charbon vert.

Les formations de base sont généralement dispensées par des organismes d'appui à la société civile, des organisations de coopération internationale ou bien encore des incubateurs. Il convient aux porteurs de projet d'identifier les offres existantes et de se mettre en rapport avec les organismes de formation.

Les formations plus spécifiques sur le charbon vert visent un ensemble d'objectifs pour les porteurs de projet :

- Acquérir des notions de base sur les propriétés physiques et chimiques du charbon vert et comprendre les transformations opérées lors de sa fabrication ;
- Rechercher quels sont les déchets organiques ou résidus agricoles les plus intéressants du point de vue technique, financier et logistique (transport) pour une production optimale ;
- Choisir les matériels adéquats en fonction du volume de production envisagé ;
- Réaliser une installation rationnelle de l'unité de production ;
- Maîtriser les différentes étapes de la fabrication du charbon vert ;
- Superviser la production lorsque celle-ci est effectuée par un groupe de personnes ;
- Assurer la maintenance régulière des matériels de production ;
- Contrôler la qualité du charbon vert avant sa mise sur le marché ;
- Disposer des notions de base pour la commercialisation des combustibles.

Il est vivement recommandé de s'entourer de la collaboration d'un formateur qui dispose d'une grande expérience en la matière. Cette personne devra aussi accompagner le porteur de projet, à périodes régulières, lors de la première année de fonctionnement de l'unité.

8.2. Un module de formation type

Il est suggéré de conduire la formation en deux temps :

- Sur une période de trois jours (phase de découverte) pour découvrir le charbon vert, sa technique de fabrication, les avantages qu'il présente et les conditions de création d'une unité de production ;
- Sur une période d'une semaine (phase d'approfondissement) auprès d'un producteur pour approfondir la technique de fabrication.

Il est indispensable que ces formations initiales soient complétées par un accompagnement, par exemple sur une durée d'une année, par une personne expérimentée.

La phase découverte

Celle-ci se décompose en quatre temps :

- Temps 1 : découverte du charbon vert ;
- Temps 2 : la technique de fabrication ;
- Temps 3 : mise en pratique ;
- Temps 4 : évaluation et points de vigilance.

Temps 1 : Découverte du charbon vert - 0,5 jour

Cette séquence, qui se passe en salle, permet d'aborder les questions suivantes :

- Définition et usage du charbon vert ;
- Propriétés physiques et chimiques du charbon vert ;
- Intérêts que présente le charbon vert.

Ces présentations sont suivies par la projection de reportages vidéo sur les expériences de trois producteurs au Bénin, au Cameroun et au Maroc. Cela permet de faire le lien avec la technique de fabrication.

Temps 2 : La technique de fabrication - 1 jour

Les différentes séquences, qui se passent sur le terrain et dans l'unité de production, permettent de faire découvrir les différentes étapes de fabrication :

- Les matières premières : différents déchets utilisables, collecte et préparation de ceux-ci (séchage, calibrage...) ;
- La carbonisation : explication du principe, découverte des carbonisateurs, essai de carbonisation, collecte de la matière carbonisée ;
- Le broyage : obtention de la poussière carbonée ;
- Le malaxage : préparation des liants, ajout d'un liant et d'eau à la matière carbonée, malaxage ;
- Le compactage : explication du principe, découverte du matériel, essais de compactage ;
- Le séchage ;
- Test du produit obtenu pour en vérifier la qualité. Il est recommandé aux futurs producteurs de solliciter un laboratoire pour le calcul du PCI de leur charbon vert.

Toutes ces opérations sont effectuées par le formateur. Les stagiaires observent et prennent des notes.

Temps 3 : Mise en pratique - 1 jour

Par groupe de quatre ou cinq, les stagiaires mettent en pratique leurs acquis. Il s'agit pour chaque groupe de produire des échantillons de charbon vert sous la supervision du formateur.

Temps 4 : Évaluation et points de vigilance - 0,5 jour

Cette séquence, qui se déroule en salle, permet d'échanger sur le processus de fabrication à partir des tests menés le jour précédent par les stagiaires.

De plus, elle permet d'aborder les questions suivantes :

- Les conditions de réussite de la création d'une unité de production de charbon vert ;
- Les données économiques : montant de l'investissement, prix de revient, prix de vente ;
- Les services apportés par le cluster africain charbon vert.



Participants à une formation animée par Initiatives Climat, à Bobo-Dioulasso. Burkina Faso.

9 | L'annuaire en ligne des producteurs d'Afrique francophone

Un annuaire des producteurs de charbon vert en Afrique francophone est disponible en ligne. Il fournit un certain nombre de données, telles que le type d'organisation (associations villageoises, coopératives, jeunes entrepreneurs...), le volume de production, quelques-unes des caractéristiques des produits proposés et parfois le mode de production. Les fiches des producteurs sont illustrées avec des photos représentatives de leurs activités.

La première édition de l'annuaire comporte quinze producteurs, de dix pays d'Afrique francophone. Elle sera enrichie de nouveaux producteurs au fil du temps.

L'annuaire est un outil précieux pour faciliter les échanges de pratiques entre les producteurs, faire part de conseils, des difficultés rencontrées. Il comporte donc les coordonnées des producteurs afin de faciliter les échanges.

<http://www.initiativesclimat.org/Cluster-Charbon-Vert/Missions-et-activites>



10| Le Cluster Africain Charbon Vert

10.1. Justification de sa création

Depuis 2016, l'association Initiatives Climat réalise un recueil d'initiatives climat consultable en ligne (www.initiativesclimat.org), qui comprend 250 initiatives conduites par 240 porteurs de projets. Parmi ceux-ci, des producteurs de charbon vert.

Afin de favoriser les échanges de pratiques, une formation collaborative s'est tenue au Maroc, en mars 2018. Elle a rassemblé à la fois des producteurs de charbon vert de huit pays africains et des membres de coopératives marocaines intéressés pour découvrir le procédé de fabrication du charbon vert. Lors de cette rencontre, les producteurs ont échangé sur leurs modes opératoires, dispensé des conseils et réfléchi à des pistes d'amélioration pour leurs activités. Les représentants des coopératives ont bénéficié des expériences des producteurs.

De plus, les participants ont exprimé le souhait de renforcer leur collaboration en créant un cluster « charbon vert » au niveau de l'Afrique francophone, qui pourrait fournir un ensemble de services.



Participants à la formation collaborative organisée par Initiatives Climat, qui s'est tenue au Maroc, en mars 2018.

10.2. Sa structure et les services proposés

L'objectif général du cluster est de contribuer au développement de la filière « charbon vert » en Afrique francophone.

Les objectifs opérationnels (OP) sont les suivants :

- OP1 : Animer un cluster régional des producteurs ;
- OP2 : Renforcer les capacités ;
- OP3 : Réaliser des publications de référence ;
- OP4 : Communiquer sur les activités du cluster et favoriser les échanges.



CLUSTER AFRICAIN CHARBON VERT : LES SERVICES

OBJECTIF GÉNÉRAL

Contribuer au développement de la filière charbon vert en Afrique francophone

PORTAGE

Association Initiatives Climat

STRUCTURE DE FONCTIONNEMENT

Des membres, un comité de pilotage et des coordinateurs

LES SERVICES

1

Capitalisation et diffusion
des bonnes pratiques

2

Echanges entre les producteurs
(auto-fertilisation)

3

Recherche
et développement

4

Formation
(pool de formateurs)

5

Conseil et
accompagnement des producteurs

6

Travail de veille

7

Appui financier

8

Communication

RESSOURCES

Annuaire

Un annuaire des producteurs est en ligne :

- <http://www.initiativesclimat.org/Cluster-Charbon-Vert/Missions-et-activites>

Reportages vidéo

Vidéos sur la production du charbon vert et la fabrication de matériels de production :

- Presse de compactage manuelle à vérin : <https://vimeo.com/460589501>
- Presse de compactage électrique : <https://vimeo.com/460587020>
- Préparation de la matière à compacter : <https://vimeo.com/460584579>
- La carbonisation dans des fûts métalliques : <https://vimeo.com/460580733>
- Fabrication d'un carbonisateur métallique : <https://vimeo.com/460577101>
- La carbonisation avec un four en briques réfractaires : <https://vimeo.com/460579030>

Reportage sur des activités conduites dans le cadre du « Cluster Africain Charbon Vert » :

<http://www.initiativesclimat.org/Mediatheque/Reportages/Cluster-Africain-Charbon-Vert>

Reportages sur des producteurs de charbon vert réalisés par Initiatives Climat :

- Kemit Ecology, au Cameroun :
<http://www.initiativesclimat.org/Mediatheque/Reportages/Production-de-charbon-vert-au-Cameroun>
- Biochar, au Maroc :
<http://www.jeunes-entrepreneurs-verts.org/Mediatheque/Reportages/Hassan-EL-HEMER-producteur-de-biochar-et-de-briquettes-de-charbon-vert>
- Almighty Services Plus, au Bénin :
<http://www.jeunes-entrepreneurs-verts.org/Mediatheque/Reportages/Romeo-AZONHOUMON-le-specialiste-des-energies-renouvelables>

Sites internet des éditeurs :

www.initiativesclimat.org

www.4c.ma

www.ma.undp.org

