

REPUBLIQUE DU SENEGAL

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR



ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE
Centre de THIES

DEPARTEMENT GENIE ELECTROMECHANIQUE

PROJET DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR DE CONCEPTION

Titre :

**« ETUDE DE FAISABILITE D'UNE UNITE DE PRODUCTION
DE CHARBON VERT »**

Auteur : Patrick D. E. MFOUAPON

Directeur Interne : Dr Banda NDOYE

Directeur Externe : Mr Amadou SOW

Examineur : Dr M.S. GUEYE

Juillet 2007

DEDICACES

Je rends grâce à DIEU et dédie ce modeste travail :

- A toute la famille LOUGNE, particulièrement à Grand-père Philip MOUMIE, Oncle Théodore NSANGOU, Oncle Jean NJOYA et Oncle Guillaume NDAM Daniel pour leur soutien inconditionnel tout au long de ma formation
- A ma mère Sarah NGEANI, tu as assuré avec loyauté et courage tout mon cursus. Tu es pour moi « un phare au bon milieu de l'océan », toute ma vie je ne saurai te remercier. Je t'aime maman.
- A mon frère jumeau Maxime Olivier et ma petite sœur Annick Maryvonne. Vous m'avez épaulé en tout temps.
- A toute la promotion 2004 – 2007 de l'ESP
- A tous les enseignants qui ont contribué à ma formation
- A tous mes proches.

REMERCIEMENTS

Je veux par ces quelques lignes d'écritures dire ma reconnaissance à l'endroit de toutes les personnes qui ont œuvré de près ou de loin, pour la réalisation de ce travail.

Mes remerciements vont tout d'abord être adressés à l'équipe dirigeante de l'Ecole Supérieure Polytechnique, qui a su mettre à notre disposition les moyens nécessaires à une formation professionnelle et civique bien complète. Je leur rends un hommage particulier.

Je pense ensuite au corps professoral de l'Ecole Supérieure Polytechnique, et particulièrement aux enseignants du département Génie Electromécanique, pour la qualité des enseignements que nous avons reçus tout au long de notre formation.

Et nommément, j'exprime ma gratitude :

- ✓ A mes Directeurs internes, M. Banda NDOYE, professeur de Froid et Climatisation et M. Ngor SARR, professeur de Gestion de Projets tous deux enseignants au département génie électromécanique de l'ESP, dont les conseils ont contribué à m'inculquer un état d'esprit positif tout au long de ce travail
- ✓ A mon Directeur externe, M. Amadou SOW, comptable, chef du projet pilote du charbon vert, pour sa grande contribution et sa précieuse collaboration.
- ✓ A tous mes amis et camarades de l'Ecole Supérieure Polytechnique au Centre de Thiès.

Sincèrement

Patrick

SOMMAIRE

Le but de ce travail est d'élaborer une étude de faisabilité d'une unité de production de charbon vert. En effet, le charbon vert est un combustible fabriqué à partir de la biomasse végétale (balle de riz, coque d'arachide, roseau de typha, etc.).

Ce projet ambitionne de fournir à la population un combustible de très bonne qualité à un prix défiant toute concurrence. Sa réalisation permettrait ainsi de combler le déficit énergétique que traverse le pays, et également de lutter contre la déforestation et la destruction de la couche d'ozone.

L'utilisation de la nouvelle technologie (pyro-7) développée par l'ONG Pro-Natura pour la carbonisation en continu des matières végétales est envisagée pour la fabrication du charbon vert. Sa présentation et son diagnostic ont d'abord été faits, puis une comparaison de cette technologie avec les équipements (technologie) existants a suivi, ensuite nous procédons au diagnostic global de l'unité de production de Ross Béthio, ce qui a permis d'élaborer un plan d'affaires utilisable par les investisseurs.

Tous les résultats obtenus montrent que le projet est très rentable. En effet, le prix de revient maximal d'un kilogramme de charbon vert, quelque soit la matière première utilisée (balle de riz, coque d'arachide ou typha) est de 95 Fcfa. Ce qui est deux fois moins cher que le kilogramme de charbon de bois.

Il est également à noter que les différents seuils de rentabilité obtenus en fonction des différentes matières premières sont inférieurs à la capacité de production de la machine.

TABLE DE MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
SOMMAIRE	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES ABREVIATIONS	x
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre 1: Procédé de carbonisation développé par Pro-Natura et comparaison des caractéristiques du Pyro-5 et du Pyro-7	4
1-1- Aperçu et généralités sur la pyrolyse	4
1-2- Techniques de carbonisation	7
1-3- Choix et avantages du procédé de carbonisation en cornue	9
1-4- Description du réacteur (Pyro-7)	10
1-5- Fonctionnement du réacteur	14
1-6- Agglomération des fines de charbon végétal	14
1-7- Formation du personnel opérationnel	16
1-8- Fonctionnement	17
1-9- Description de la technologie existante (pyro-5)	17
1-10- Comparaison des deux procédés de carbonisation	24
Chapitre 2 : Diagnostic global de l'unité de production de type pyro-5 à Ross Béthio	26
2-1- L'unité de production et son environnement	26

2-2-	La biomasse expérimentée	29
2-3-	Le produit fabriqué	33
2-4-	Evaluation du coût de revient d'un kilogramme de charbon vert	34
2-5-	Test de consommation du charbon vert	36
2-6-	Synthèses du diagnostic	38
Chapitre 3 : Elaboration du Business Plan de la future unité de production de Charbon vert		40
3-1-	Généralités	40
3-2-	Qu'est ce qu'un Business Plan?	40
3-3-	Elaboration du plan	42
3-3-1-	Vue d'ensemble de l'unité de production	42
3-3-2-	Environnement de l'activité	45
3-4-	Etude de marché	62
3-5-	Description de l'unité de production	67
3-6-	Stratégie de l'unité de production	69
3-4-	Démarche d'investissement dans les conditions de réalisation	73
CONCLUSION GENERALE		78
BIBIOGRAPHIE		80
ANNEXES		82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 :	Principaux paramètres de l'huile de pyrolyse	5
Tableau 2 :	Evolution de la teneur en carbone	6
Tableau 3 :	Comparaison du pyro-5 et du pyro-7	25
Tableau 4 :	Test comparatif de carbonisation	31
Tableau 5 :	Test du produit pour chaque agglomérateur	35
Tableau 6 :	Charges totales annuelles de l'unité	36
Tableau 7 :	Résultat de consommation sur 6 foyers testés à Ross-Béthio	38
Tableau 8 :	Charges totales annuelles si le carbonisateur est fabriqué à l'étranger	54
Tableau 9 :	Charges totales annuelles si le carbonisateur est fabriqué au Sénégal	55
Tableau 10 :	Les cinq étapes du processus d'adoption par les consommateurs	66
Tableau 11 :	Coûts de génie civil	76
Tableau 12 :	Remboursement de l'emprunt	77
Tableau 13 :	Compte d'exploitation prévisionnel	78

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Bilan global d'une carbonisation	6
Figure 2 :	Taux de carbone en fonction de la température	7
Figure 3 :	Pyro-7 en Afrique du Sud	11
Figure 4 :	Pyro-7	11
Figure 5 :	Pyro-5 à Ross-Béthio	18
Figure 6 :	Pyro-5 à Ross-Béthio	19
Figure 7 :	Bio-carbonisateur Pyro-5	19
Figure 8 :	Agglomérateur à vis	22
Figure 9 :	Biomasse expérimentée	30
Figure 10 :	Reserve de balle de riz	32
Figure 11 :	Charbon vert	34
Figure 12 :	les quatre composantes principales de l'analyse d'une branche d'activité	47
Figure 13:	Hiérarchie des besoins	64
Figure 14:	Segment de marché en un clin d'œil	67
Figure 15:	La grille SWOT	69
Figure 16:	Tendances en un coup d'œil	70
Figure 17 :	Plan de masse de l'unité de production de charbon vert.	75
Figure 18 :	Besoin en financement	76
Figure 19 :	Financement	77

LISTE DES ABREVIATIONS

ONG : Organisation non Gouvernementale

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

SAED : Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres de Delta du Fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé

CIFA : Centre International de Formation aux métiers de l'Agriculture

ADEME : Agence de L'environnement et de la Maîtrise de l'Energie

SODEFITEX : Société de Développement des Fibres Textiles.

ENDA SYSPRO/ ACEP : Alliance de Crédit et d'Epargne pour la Production

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

BDR : Balle de riz

PID : Pôle Intégré de Développement

UICN : Union Mondiale pour la Nature

FEPRODES : Fédération des Femmes Productrices du Delta Sénégal

CORAF : Conseil Ouest et centre Africain pour la Recherche et le Développement

SOGAS : Société de Gestion des Abattoirs du Sénégal

VAN : Valeur Actuelle Net

TRE : Taux de Rendement Externe

SISMAR : Société Industrielle Sahélienne de Mécanique, de Matériels Agricoles et de Représentation

SWOT : Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats

UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine

DMP : Decision-Making, Process

INTRODUCTION GENERALE

L'accès à l'énergie, qui est de plus en plus considéré comme un droit fondamental, est une condition nécessaire à tout processus de développement. En Afrique, en Amérique Latine et en Asie (y compris en Inde et en Chine) le bois devient de plus en plus difficile à trouver et les énergies de substitution n'existent pas. Deux milliards de personnes à travers le monde dépendent donc du bois pour leur besoin en énergie domestique. En Afrique plus particulièrement, il représente 89% des sources d'énergie [3]. Un exemple à Dakar, capitale du Sénégal, l'approvisionnement en bois se fait à partir de massifs forestiers qui se trouvent aujourd'hui à plus de 500 kilomètres. Il ya 30 ans, l'approvisionnement se faisait à Tieste, dans une région située à 30 kilomètres. La forêt recule à mesure qu'on coupe les arbres. Or ces populations n'auront pas les moyens de se payer les énergies dites modernes (à base d'hydrocarbures ou d'énergie solaire), ce qui signifie qu'elles n'auront bientôt plus la possibilité de cuire leurs aliments.

Cette déforestation accentue la sécheresse, la désertification ainsi que les changements climatiques. Dans de nombreux pays, de larges zones de forêts communales sont ainsi rasées pour faire place, sous la pression démographique, à une agriculture non durable, ou sont au profit de l'exploitation forestière commerciale : ce sont 9 millions d'hectares de forêts qui sont ainsi détruites chaque année à travers le monde. L'utilisation exclusive du bois comme combustible domestique présente de nombreux autres inconvénients majeurs :

- ✓ A mesure que la déforestation progresse, le fardeau des femmes et des enfants augmente : ils doivent parcourir une distance toujours plus grande pour s'approvisionner en bois et en autres produits forestiers. Cette charge supplémentaire diminue le temps qu'ils pourraient consacrer à d'autres tâches pourtant indispensables. Dans le Sahel, par exemple, les femmes ont parfois à parcourir 20 kilomètres par jour pour trouver le bois nécessaire à la cuisson des aliments ;
- ✓ Avec moins de combustible, la quantité et la qualité de la nourriture diminuent ;

- ✓ L'approvisionnement en combustible absorbe une part de plus en plus importante des revenus ;
- ✓ Enfin, les fumées dégagées sont nocives pour les yeux et les poumons. L'OMS estime que 1,6 millions de femmes et d'enfants meurent prématurément à cause des fumées du bois [3].

L'ensemble de ces graves contraintes liées à l'utilisation du bois par les populations réduit les perspectives d'amélioration de leurs conditions de vie ainsi que de progrès économiques.

L'organisation non gouvernementale Pro-Natura a gagné en 2002 le 1^{er} prix d'innovation technologique de la fondation ALTRAN pour avoir trouvé la solution à ce problème [3]. Cette solution consiste à récupérer des résidus agricoles ou de la biomasse renouvelable qu'on ne peut pas valoriser autrement et à les transformer en briquettes de charbon vert qu'on utilise de la même manière que du charbon de bois. Pro-Natura propose ainsi un combustible domestique constitué de charbon végétal, obtenu grâce à un procédé de carbonisation original, dont l'efficacité a été démontrée. Chaque machine permet de produire de façon économique et écologique l'énergie domestique pour 20000 personnes environ chaque année [1].

Ce procédé est fondé sur la carbonisation de végétaux en continu. Les pailles de savane, roseaux, pailles de blé, de riz, tiges de coton, de mil, cannes de maïs, balle de riz, parches de café, bambous peuvent être utilisés pour fabriquer le charbon vert.

Différents prototypes ont fonctionné au Sénégal depuis 1997 et des essais ont été faits à relativement grande échelle en 1999 et 2000. Deux carbonisateurs (Pyro-5) ont été construits localement et une mission d'inventaire de la biomasse a été effectuée en collaboration avec la Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux. Il apparaît que tous les pays possèdent un potentiel suffisant en résidus agricoles et en biomasse sauvage renouvelable pour fournir la totalité des besoins de la population.

Depuis trois ans, en collaboration avec les ingénieurs d'ALTRAN, Pro-Natura a développé la version Pyro-7 qui donne lieu actuellement à une industrialisation en Afrique du Sud.

Les essais faits au Sénégal ont démontré que le charbon vert est très apprécié des utilisateurs et que les prix de revient sont inférieurs à ceux du charbon de bois. En effet, on n'estime que ce charbon vert est deux fois moins chers par unité de chaleur produite (à Dakar, le charbon de bois tourne autour de 200 Fcfa le kilo [2]. En 2000 on a calculé que le kilo de charbon vert tournait autour de 110 Fcfa, et il devrait être le même aujourd'hui). La production du Pyro-7 est au minimum de 1100 tonnes par an et le payback est de moins d'un an en comptant les revenus des crédits de carbone.

En effet, contrairement au charbon de bois, ce procédé de carbonisation n'émet pas de méthane ni de gaz pyrolygneux, le CO₂ est recyclé, les gaz de pyrolyse toxiques sont brûlés et utilisés comme source d'énergie, ce qui rend la production et l'utilisation du charbon vert neutre en matière de changement climatique. Des crédits de carbone peuvent être produits et valorisés dans le cadre du Mécanisme de Développement Propre à hauteur de 4 tonnes de CO₂ par tonne de charbon vert produit.

Les essais faits précédemment pour carboniser la biomasse par les bottes entières ont échoué à cause de problèmes mécaniques et de mauvais rendement énergétique. La carbonisation en continu proposée par Pro-Natura, développée en collaboration avec la société Eco-Carbone, permet de résoudre ce problème.

Ce mémoire de fin d'étude porte sur l'élaboration d'un diagnostic et sur une évaluation du procédé de carbonisation en continu des végétaux développé par Pro-Natura (Pyro-7). Nous y comparons les caractéristiques de ce procédé innovant avec ceux des équipements existants (Pyro-5). Par suite, nous élaborons une étude de faisabilité d'une unité de fabrication de charbon vert en rapport avec la disponibilité des matières premières et la taille du marché prévisible.

Auparavant, l'étude bibliographique sur les techniques de carbonisation existantes et sur le charbon vert d'une part, et l'analyse des données et informations collectées auprès du maître d'œuvre du projet pilote (données sur les équipements et les matières premières comme sur le marché et sur les principaux enseignements de la phase pilote) d'autre part, ont permis de dégager les idées maîtresses.

Chapitre 1 :**PROCEDE DE CARBONISATION DEVELOPPE PAR PRO-NATURA ET COMPARAISON DES CARACTERISTIQUES DU PYRO-5 ET DU PYRO-7****1-1- Aperçu et généralités sur la pyrolyse ou carbonisation**

La pyrolyse ou carbonisation est le processus dans lequel un échantillon est soumis à des températures élevées sous atmosphère inerte, de manière à obtenir un produit carboné solide, ainsi que des composés volatils (liquides et gazeux) [15].

Le but de la pyrolyse est d'obtenir un produit fortement carboné, avec une microporosité rudimentaire qui pourra ensuite être développée dans le processus d'activation.

Lorsqu'on chauffe des substances organiques comme le bois et la biomasse en l'absence d'oxygène, ces matières se décomposent thermiquement [5]:

- ✓ Jusqu'à environ 200°C se dégagent de l'eau libre, liée physiquement, sous forme de vapeur d'eau ainsi que des traces d'acide formique et acétique.
- ✓ A partir de 180°C commencent les réactions de décomposition des polymères de biomasse organiques.
- ✓ Entre 200 et 280°C s'échappent de la vapeur d'eau, de l'acide formique et acétique, du glyoxal, du CO₂ et un peu de CO. La plupart des gaz sont incombustibles, la réaction est endotherme.
- ✓ A partir de 280°C commence une réaction exotherme violente pendant laquelle environ 880 kJ/kg de bois sont libérés. Des gaz combustibles comme le CO, le CH₄, le formaldéhyde, l'acide formique et acétique, le méthanol et l'hydrogène se dégagent. Seul le squelette carboné subsiste en résidu.
- ✓ A des températures de 500 à 600°C a lieu la pyrolyse complète du bois.

- ✓ Lorsque les gaz libérés sont refroidis, certains se condensent pour former un liquide riche en énergie, utilisable comme substitut du diesel (huile de pyrolyse). Cette huile pyrolytique représente environ 8 à 13% du produit de la carbonisation, 1 kg d'huile de pyrolyse renferme autant d'énergie que 0,6 kg de fioul lourd. Elle se caractérise surtout par sa faible teneur en soufre. En outre, l'huile de pyrolyse est utilisée comme matière première dans l'industrie chimique et cosmétique (acides organiques, alcools, etc....).

Pouvoir calorifique :	20 - 30 MJ/kg
Poids spécifique :	1,15 - 1,25 g/cm ³
Viscosité :	200 – 260 Cp à 60°C
Teneur en eau :	8 – 20% en poids

Tableau 1 : Principaux paramètres de l'huile de pyrolyse

- ✓ Les liaisons restant en phase gazeuse à température ambiante (méthane, hydrogène, monoxyde de carbone etc.) sont utilisées comme gaz pauvre pour alimenter des moteurs. Ceci permet de couvrir les besoins électriques de l'installation de carbonisation tout en produisant un excédent non négligeable d'énergie électrique.

➤ Bilan global d'une carbonisation

A titre indicatif, dans la figure ci-dessous, les résultats globaux d'une carbonisation dans une cornue à 500°C d'une tonne de biomasse à 20% d'humidité sur brute donne :

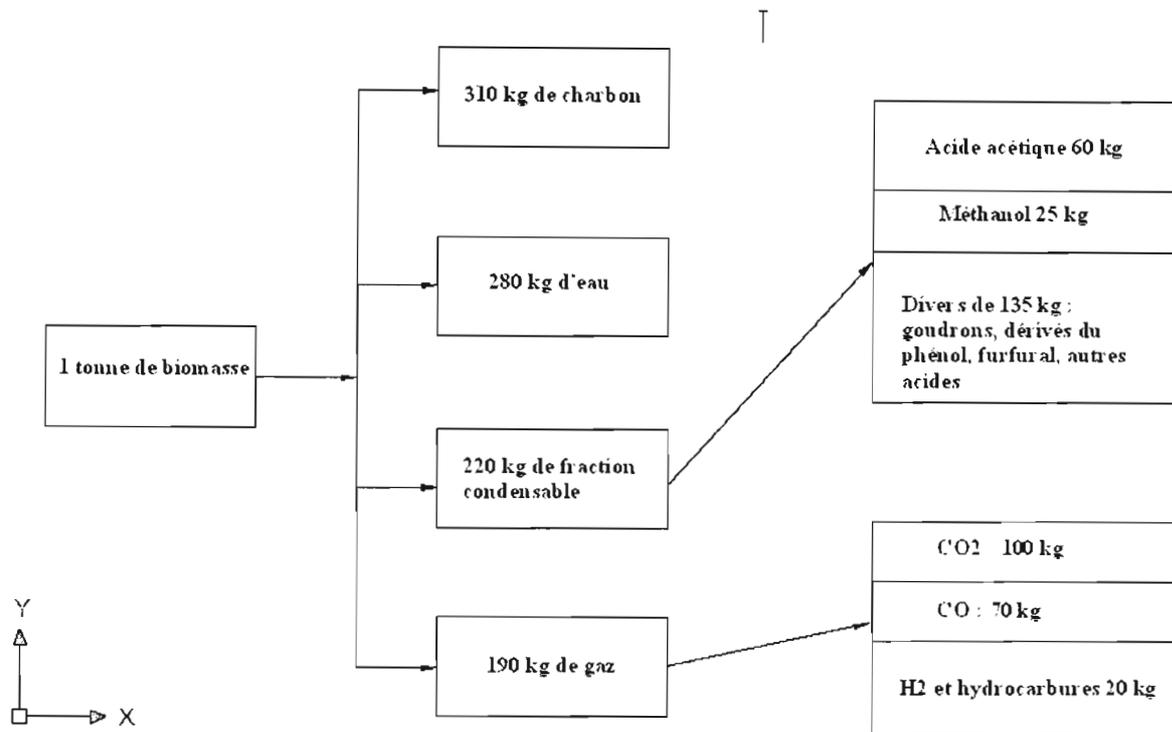


Figure 1 : Bilan global d'une carbonisation

- **Différentes phases d'une carbonisation en fonction des températures et compromis entre l'aspect qualitatif et quantitatif.**

Dans le tableau et figure ci-après, étude effectuée par BRIANE et DOAT, on résume l'évolution de la teneur en carbone et du pouvoir calorifique en fonction des températures au cours d'une carbonisation.

Périodes de carbonisation	Départ de l'eau	Dégagement gaz oxygénés	Début du départ des hydrocarbures	Phase à hydrocarbures CmHn	Dissociation
Température °C	150-200	200-280	280-380	380-500	500-700
Teneur en carbone (%)	50-60	60-70	70-78	78-85	85-90
Pouvoir calorifique (kcal/m3)	1100	1210	3920	4780	3630

Tableau 2 : Evolution de la teneur en carbone

Ces résultats montrent donc que la composition du charbon produit, dépend de la température de réaction obtenue lors de la combustion.

La qualité chimique du charbon (% en carbone fixe) augmente avec la température au détriment du rendement de production (biomasse/charbon).

En effet, la perte de matières volatiles est d'autant plus importante que la température de réaction est élevée, ce qui induit une augmentation du taux de carbone fixe et une baisse de rendement de production (figure ci-après).

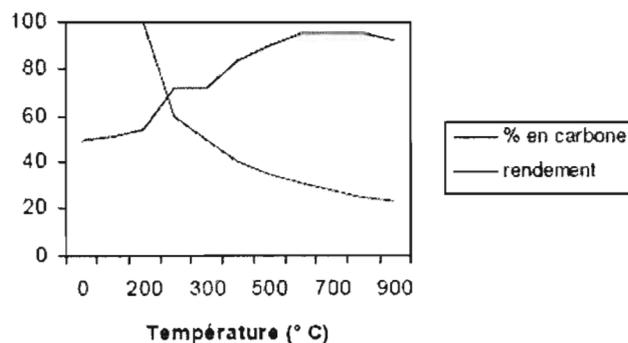


Figure 2 : Taux de carbone en fonction de la température

Par conséquent, pour la production de charbon vert, un compromis doit être fait entre les aspects qualitatif et quantitatif.

1-2- Techniques de carbonisation

On distingue trois modes opératoires de carbonisation :

- ✓ Carbonisation par combustion partielle ;
- ✓ Carbonisation par injection de gaz chauds dans la charge ;
- ✓ Carbonisation en vase clos ou cornue.

➤ Fours à combustion partielle

Pour cette technique, l'énergie nécessaire à la carbonisation est fournie par la combustion d'une partie de la charge, disposée à l'intérieur d'une enceinte étanche quelconque, réduisant d'autant le rendement en charbon de bois.

Tous les produits condensables ainsi que les gaz ne sont généralement pas récupérés.

La transformation du bois en charbon selon ce mode opératoire est mauvaise, puisque plus de 50% de l'énergie initiale est perdue. En outre, l'inconvénient de cette méthode, est de ne pas permettre la carbonisation des pailles, des roseaux, des tiges de coton ainsi que la biomasse de faible granulométrie comme la balle de riz, la parches de café et la sciure de bois. Les principales raisons sont :

- ✓ Mauvais transfert thermique dans la charge à carboniser ;
- ✓ Formation de cheminés dans la charge empêchant le transfert thermique latéral dans le cas des pailles ;
- ✓ Difficultés de contrôle des entrées d'air pouvant entraîner l'inflammation totale de la charge.

➤ **Carbonisation par contact de gaz chauds**

L'énergie nécessaire à la carbonisation est fournie par des gaz chauds provenant d'un foyer externe et mis en contact direct avec la charge.

Cette méthode a un bon rendement de production de l'ordre de 30 à 35 % mais le coût de l'installation reste assez élevé. Il faut noter aussi que le fonctionnement de ces réacteurs est difficile à contrôler sans une instrumentation adaptée.

➤ **Carbonisation en cornue**

La charge est placée dans une enceinte close, l'énergie nécessaire à la carbonisation provenant d'un foyer de chauffe externe est transmise par l'intermédiaire des parois de l'enceinte. Le foyer peut être alimenté par tout combustible.

Une fois que le processus de carbonisation est amorcé, les gaz de pyrolyse peuvent être injectés dans le foyer pour entretenir la pyrolyse.

L'avantage de ces réacteurs est de pouvoir carboniser des matières végétales de faible granulométrie et d'avoir un rendement de production de l'ordre de 35 %.

1-3- Choix et avantages du procédé de carbonisation en cornue.

L'ONG Pro-Natura a orienté facilement son choix sur la technique de carbonisation en cornue. Les principales raisons sont les suivantes :

- ✓ La valorisation de tous types de matières végétales ligneuses de valeurs énergétiques non négligeables, donc une biomasse qui peut être de faible granulométrie ;
- ✓ Un meilleur rendement de production (biomasse/charbon) ;
- ✓ Un meilleur rendement énergétique grâce à la récupération des gaz de pyrolyse.

➤ Technologie développée par Pro-Natura

En plus des avantages du procédé de carbonisation en cornue, Pro-Natura est arrivée non seulement à abaisser le coût de fonctionnement du réacteur par une production en continu, évitant ainsi l'arrêt de la machine chaque fois que l'on veut récupérer le charbon.

Ce procédé permet aussi d'obtenir un rendement énergétique optimum, en ce qui concerne la carbonisation en cornue, grâce à l'excellente maîtrise de la combustion complète des gaz de pyrolyse assurant l'autonomie de fonctionnement du réacteur.

La combustion complète des gaz de pyrolyse, avec cette technologie, permet non seulement d'avoir en permanence une température de carbonisation autour de 550°C pour une biomasse ayant une humidité de 15 % maximum, mais aussi de pouvoir faire un soutirage de chaleur servant soit :

- ✓ Au préchauffage d'un second réacteur et au fonctionnement d'un séchoir ;
- ✓ A la production de vapeur surchauffée permettant de faire tourner une turbine et donc un alternateur pour la production d'électricité.

➤ **Le principe**

La technologie développée par Pro-Natura et Eco-Carbone est basée sur l'utilisation d'une ou plusieurs cornues chauffées à 550°C au travers de laquelle s'écoule la biomasse de façon continue. La température est maintenue constante par la combustion des gaz de pyrolyse qui sont recyclés et brûlés dans une chambre de post-combustion.

Une des originalités du procédé est qu'une fois la machine préchauffée, le processus produit sa propre énergie, à part l'agitation de la biomasse qui est obtenue par un moteur électrique de faible consommation.

Ce processus est donc pratiquement autonome en termes d'énergie et son rendement (poids de charbon vert par rapport au poids de la biomasse) atteint 30 % à 50 % suivant le type de biomasse (poids de charbon par rapport au poids de la biomasse à 15 % d'humidité).

➤ **L'écologie**

- ✓ Le fonctionnement de ce réacteur se fait sans émissions de gaz à effet de serre ;
- ✓ Le charbon produit n'émet pas en brûlant de gaz toxique pour l'homme grâce à sa bonne qualité chimique (très bonne teneur en carbone) ;
- ✓ L'utilisation de biomasse autre que le bois comme combustible domestique, protège les forêts et lutte en conséquence contre la désertification.

1-4- Description du réacteur (Pyro-7). (Voir figure 3 et 4)

➤ **Alimentation**

Elle est composée d'une trémie de 1 m³ monté en amont d'une vis sans fin entraînée par un motoréducteur d'une puissance de 2.2 kW. En aval, cette vis, de 5 m de long et de 350 mm de diamètre, est raccordée à la cornue par une conduite de section rectangulaire.

➤ **Chambre de carbonisation ou de pyrolyse**

Elle est composée de deux cornues, chacune d'un diamètre hydraulique de 45 cm et 3,6 m de long, disposées parallèlement et reliées par une conduite démontable dite de liaison d'une hauteur de 15 cm.

La surface d'échange, pour chaque cornue, qui correspond à 2,6 m de long pour un diamètre hydraulique de 45 cm est logée dans un cylindre dit « enveloppe » de 1,2 m de diamètre.

L'assemblage des cornues et de l'enveloppe est effectué sur presses étoupes pour assurer les dilatations de l'ensemble mais aussi un démontage facile des cornues.

Dans l'espace annulaire, entre les cornues et l'enveloppe, sont logées des chicane pour augmenter la durée de séjour des gaz de combustion. L'acier utilisé est de la tôle réfractaire 25/20 de 3 mm d'épaisseur et l'isolation thermique est assurée par la fibre de céramique.

Une couche de nappe, de 25 mm d'épaisseur, à base de fibre de céramique haute température, est disposée sur la surface interne de l'enveloppe pour la protéger du rayonnement.

Dans les cornues sont logées des vis transporteuses entraînée par un moto réducteur d'une puissance de 3 kW. Le montage des vis est effectué d'un côté sur paliers étanches avec bagues en fonte spéciale haute température et de l'autre côté sur presses étoupe.

➤ **Chambre de combustion**

Elle est en acier ordinaire avec une protection intérieure en béton réfractaire isolant type firelite 2500. Dans cette chambre, de 1,2 m de diamètre sur 600 mm de long puis convergente sur 1 m de long pour être assemblée à la chambre de carbonisation, se produit la combustion des gaz de pyrolyse pendant la carbonisation mais aussi celle de fioul grâce à un brûleur utilisé uniquement pour le préchauffage.

Une chambre de postcombustion, de 600 mm de long et 400mm de diamètre, montée tangentielle sur la chambre principale assure le bon mélange de l'air chaud, issu du récupérateur de chaleur, et des gaz de pyrolyse provenant de la carbonisation de la biomasse.

➤ **Chambre de combustion pour le traitement des excédents de gaz de pyrolyse**

De 700 mm de diamètre et 800 mm de long, elle est conçue en acier ordinaire avec une protection intérieure en béton réfractaire. Le traitement de ces gaz en excès est assuré par un apport d'air chaud, issu du récupérateur de chaleur.

Les gaz de combustion (fumées) produits peuvent servir comme un complément d'énergie calorifique au fonctionnement d'un séchoir.

➤ **Cheminée et récupérateur de chaleur**

La cheminée de 80 cm de diamètre sur 4 m de haut puis 40 cm de diamètre sur 2 m de haut est en acier ordinaire et est isolée de l'intérieur par une couche de nappe en fibre de céramique de 25 mm d'épaisseur.

Dans cette cheminée est logé un récupérateur de chaleur monté en forme d'épingle et composé de tubes en inox de 88 mm de diamètre.

L'air circulant dans cet échangeur, nécessaire à la combustion des gaz de pyrolyse, est soufflé par un ventilateur centrifuge.

➤ **Récupération et refroidissement du charbon pulvérulent**

La technique utilisée pour refroidir la fine de charbon à 500°C, est un échangeur thermique constitué d'un auget double enveloppe avec chicanes internes et d'un rotor à arbre creux équipés de palettes, dans lesquels circule un fluide caloporteur (de l'eau à 3 bars dans ce cas). La fine de charbon à 60°C peut-être soit agglomérée soit stockée.

Ce réacteur a une consommation énergétique équivalente :

- ✓ En électricité de : 0,75 kW
- ✓ En eau de : 0.8 m³/h

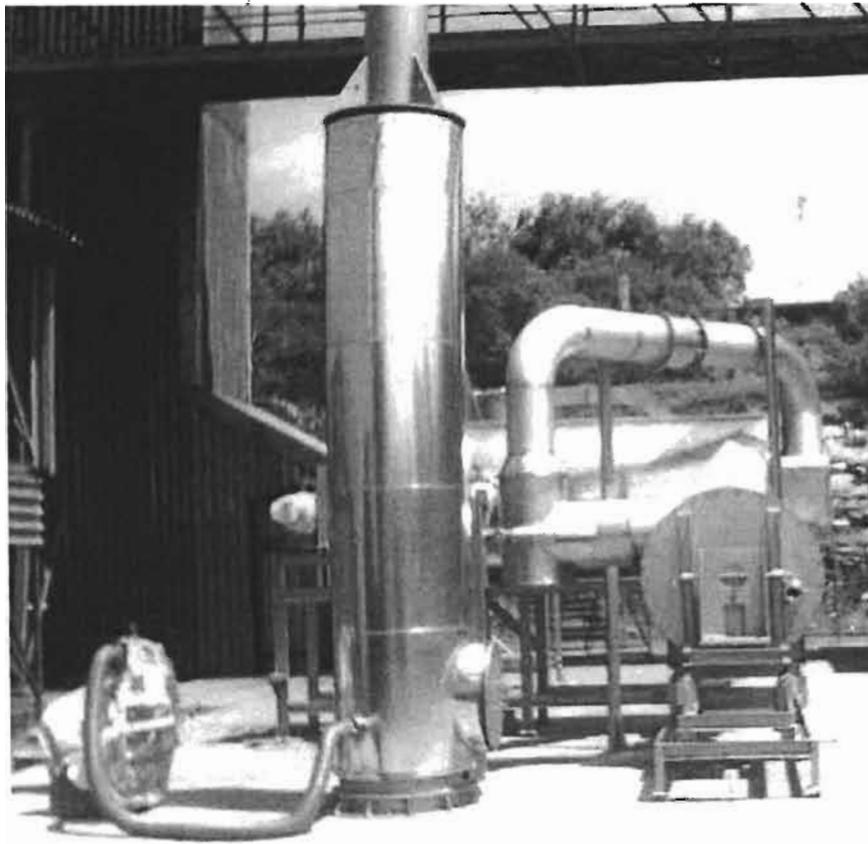


Figure 3 : Pyro-7 en Afrique du Sud

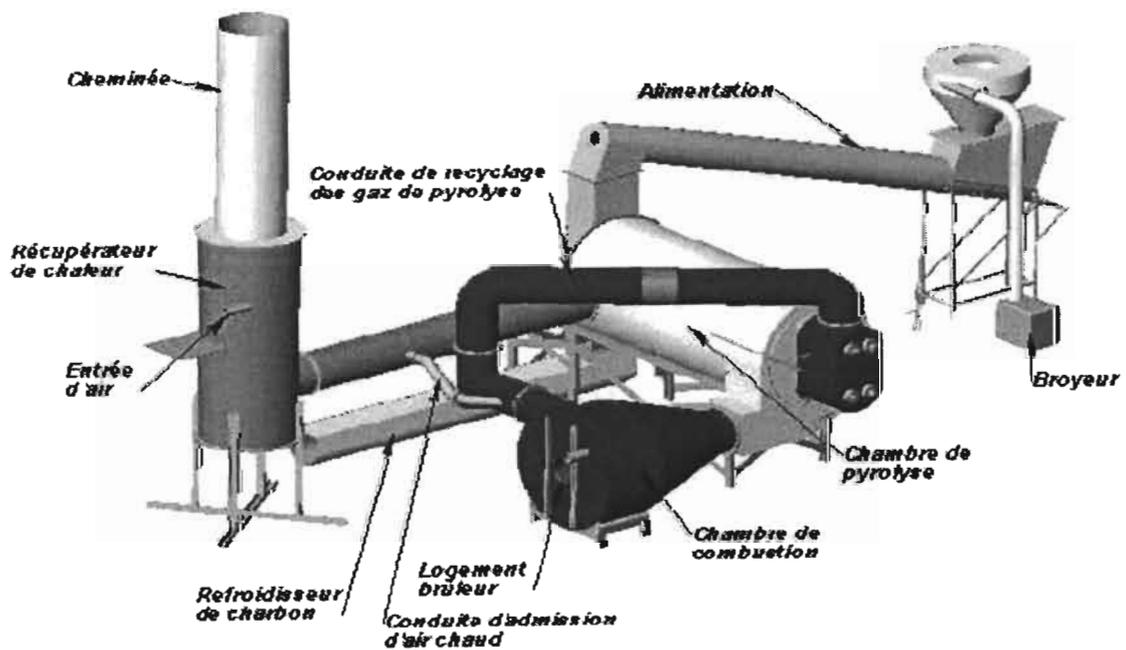


Figure 4 : Pyro-7

1-5- Fonctionnement du réacteur

➤ Circuit thermique

La mise en marche du réacteur consiste en son préchauffage au moyen d'un brûleur à fioul pour atteindre la température de 560°C dans la chambre de carbonisation.

Une fois cette température dite de carbonisation est obtenue, on alimente les cornues en biomasse à 15 % d'humidité.

Le maintien de cette température et le fonctionnement autonome du réacteur n'est assuré que par la combustion des gaz issus de la pyrolyse de la biomasse présente dans les cornues. Par conséquent, pour un bon fonctionnement de la machine et un rendement optimum, il est conseillé d'avoir une alimentation bien régulière.

La combustion parfaite des gaz de pyrolyse est assurée par le bon mélange gaz-air chaud dans un brûleur spécialement conçu pour ces gaz pauvres. Cet air à 400°C est issu du récupérateur de chaleur logé dans la cheminée.

➤ Circuit mécanique

Le transport et la carbonisation complète de la biomasse sont assurés par le profil des vis et de la vitesse de transfert. Cette vitesse varie en fonction de la biomasse utilisée.

Une alimentation régulière de biomasse à 10% d'humidité permet d'avoir un débit de production maximum mais aussi une stabilité thermique du réacteur garantissant un fonctionnement totalement autonome sans intervention humaine.

1-6- Agglomération des fines de charbon végétal

Après carbonisation, le charbon végétal produit brûle difficilement dans les foyers. Une agglomération de ces fines de charbon sera donc nécessaire pour faciliter la combustion et le transport des briquettes obtenues.

Ces techniques d'agglomération se rattachent à deux grandes familles : les techniques comprimantes et le bouletage (technique non comprimante).

A l'exception du procédé par extrusion, la fabrication des briquettes ou de boulets de charbon demande un liant à mélanger au poussier. Le produit sortant du procédé d'agglomération encore très humide, passe ensuite dans un four de séchage pour l'élimination de l'eau résiduelle, de sorte qu'il soit assez solides pour pouvoir être utilisés dans les fourneaux et foyers domestiques.

➤ **Techniques comprimantes**

✓ **Le briquetage**

C'est la production de briquettes ou de produits comprimés de taille moyenne par une action de compression.

La technique de briquetage la plus couramment utilisée consiste à comprimer le mélange de poussier avec 8 à 10% de liant entre deux rouleaux tournants munis d'alvéoles sur leur face externe.

Il existe aussi la presse Rassant mais le débit de production reste modeste. Le procédé consiste à comprimer, jusqu'à 15 tonnes/cm², le poussier avec 10 % de liant logé dans une chemise. La briquette est ensuite récupérée par simple extraction dans le bac inférieur de la presse.

➤ **L'extrusion**

Elle se réalise en poussant la matière à agglomérer au travers d'orifices de dimensions et de formes données. Une vis sans fin ou un piston peut forcer le substrat dans l'orifice d'extrusion légèrement conique.

Dans une extrudeuse à vis, il existe généralement autour de la filière des résistances électriques pour permettre d'élever la température du produit non carbonisé. Les dégagements

de goudrons par la torréfaction de cette biomasse serviront de liant. Le produit sort sous forme d'une file continue qui sera coupée à la longueur désirée.

➤ **Le bouletage**

Cette technique non comprimante est l'agglomération des particules et leur mise sous forme de boulets ou de billes. La transformation est réalisée dans un plateau granulateur qui est un cylindre de faible hauteur, incliné sur l'horizontale de quelques degrés et entraîné par un moteur à vitesse variable.

Sous l'action de rotation et grâce à l'adjonction d'un agent mouillant, un mélange d'eau et de 6% d'amidon, les fines particules s'agglomèrent et forment des corps sphériques.

➤ **L'agglomération générale**

Certaines de ces techniques d'agglomération sont encore très utilisées dans le milieu industriel mais elles restent assez difficiles à rentabiliser dans certains domaines d'activité.

En effet, dans certains cas d'agglomération de fines de charbon par exemple, le bilan entre le prix d'achat des machines, le coût de fonctionnement et des réparations dues essentiellement à l'usure provoqué par certains produits très abrasifs reste difficilement équilibré avec la production de briquettes.

Par conséquent, il est absolument nécessaire de bien étudier l'ensemble des paramètres à savoir : le type et la qualité de charbon à agglomérer, le marché de la demande et le coût de fonctionnement des machines pour choisir la technique d'agglomération la plus adaptée.

Le choix du liant est aussi un élément essentiel en ce qui concerne la qualité des briquettes mais son choix est limité par plusieurs contraintes : disponibilité sur place, accessibilité du coût et toxicité pendant la combustion.

1-7- Formation du personnel opérationnel

En ce qui concerne la maîtrise totale du fonctionnement du pyrolyseur, il est prévu une formation d'une semaine et un encadrement pendant 10 jours de production.

Par ailleurs, dans le cas du typha ou roseaux en général, il est nécessaire d'organiser deux équipes de quatre opérateurs pour la coupe et la préparation de cette biomasse pour le séchage au soleil.

1-8- Fonctionnement

Pour un rendement de production optimum, il est conseillé de faire fonctionner le pyrolyseur pendant 24 heures et 6 jours sur 7, avec un arrêt mensuel de 8 heures pour l'entretien.

Cette durée de fonctionnement permettant le minimum de dépense en fioul pour le préchauffage, évite les problèmes de corrosion plus active à température ambiante.

1-9- Description de la technologie existante (Pyro-5)

➤ Technique de carbonisation utilisée

La carbonisation est faite dans une cornue munie d'un agitateur qui conduit la biomasse en cours de carbonisation vers la sortie de l'appareil.

➤ Description du prototype (voir figure 5, 6 et 7)

Le Pyro-5 a les dimensions suivantes : Hauteur : 2,4 m ; Longueur : 4 m ; Largeur : 1,8 m ; Poids : 1200 kg.

Il est constitué de deux convertisseurs concentriques. Dans le convertisseur intérieur se trouve la matière première à carboniser (pailles de riz et roseaux hachés) qui est chauffée à près de 560°C par les gaz de fumée brûlants provenant de la combustion des gaz de la carbonisation à basse température. Ces derniers sont brûlés dans une chambre de combustion séparée et conduits à travers l'aire d'admission entre les deux convertisseurs de sorte qu'ils apportent l'énergie thermique nécessaire au processus de carbonisation dans le convertisseur intérieur.

Le cylindre intérieur (cornue) comprend un agitateur, accouplé à un motoréducteur, qui assure le transport de la biomasse. Le préchauffage se fait par un brûleur alimenté en gaz ou en

gasoil, puis le chauffage est assuré uniquement par la combustion des gaz de pyrolyse mélangés à de l'air chaud provenant de l'échangeur.

➤ Description du procédé

Le bio-carbonisateur est préchauffé jusqu'à 500°C pour la paille et 650°C pour la balle de riz. Une fois que la température est atteinte, la machine est alimentée en biomasse. La carbonisation de celle-ci produit une quantité de gaz suffisante pour maintenir cette température pendant toute la production. L'avancement et l'extraction de la matière en cours de carbonisation se fait grâce à un agitateur. Le produit (charbon vert) sortant de la cornue se présente sous forme de fines particules végétales carbonisées qu'il faut agglomérer pour obtenir un combustible prêt à l'emploi.

L'idée fondamentale du bio-carbonisateur est d'entretenir le processus de carbonisation uniquement par la remise en circulation des gaz de pyrolyse. De cette façon, on fait appel à une source d'énergie externe uniquement pour mettre en route le processus. La source d'énergie en question est un brûleur à mazout qui fonctionne au fioul de qualité courante. Les gaz d'échappement issus de la chambre de combustion (1200°C) chauffent la biomasse à environ 560°C. A cette température est produite une quantité suffisante de gaz pyrolytiques qui sont reconduits dans la chambre de combustion à une température de 500°C et y fournissent la chaleur nécessaire pour entretenir le processus. A partir de ce moment, le brûleur à mazout peut être arrêté, le processus s'autoalimente.

Le brûleur de gaz pyrolytiques fonctionne avec un rapport air-gaz (3.5/1). L'alimentation en air de combustible est assurée par un ventilateur, l'air étant aspiré dans la chambre de combustion. Pendant cette aspiration, l'air de combustion est conduit à travers l'aire d'admission entre les convertisseurs et préchauffé par échange de chaleur avec les gaz d'échappement de la combustion selon le principe du contre-courant.

Le gaz de fumée évacué par une cheminée sort à environ 200°C et peut servir pour le séchage ultérieur du Typha puisque la matière première doit contenir moins de 16% d'humidité. Ce taux n'est pas toujours possible à atteindre par séchage à l'air libre (sur des aires de séchage par énergie solaire).

Le charbon sort de l'installation sous forme de granulats à environ 400°C.

Ce prototype expérimental a fonctionné de façon satisfaisante et a démontré la fiabilité du procédé. La combustion des gaz de pyrolyse, notamment facile à observer par un huloit vitré disposé sur la chambre de combustion, s'effectue de façon continue et régulière. Des modifications ne sont apparues nécessaires que pour faciliter l'entrée de la biomasse et la sortie du charbon. Tel quel, il a permis de tester diverses espèces végétales disponibles notamment la balle de riz dont la carbonisation a donné les résultats suivants :

- ✓ Durée de carbonisation : 1 heure 02 minutes
- ✓ Quantité traitée : 205 kg
- ✓ Charbon vert produit : 101 kg
- ✓ Soit un rendement de 49,26%

Or ce prototype de carbonisateur a été conçu pour traiter la paille et d'autres éléments végétaux de comportements analogues.

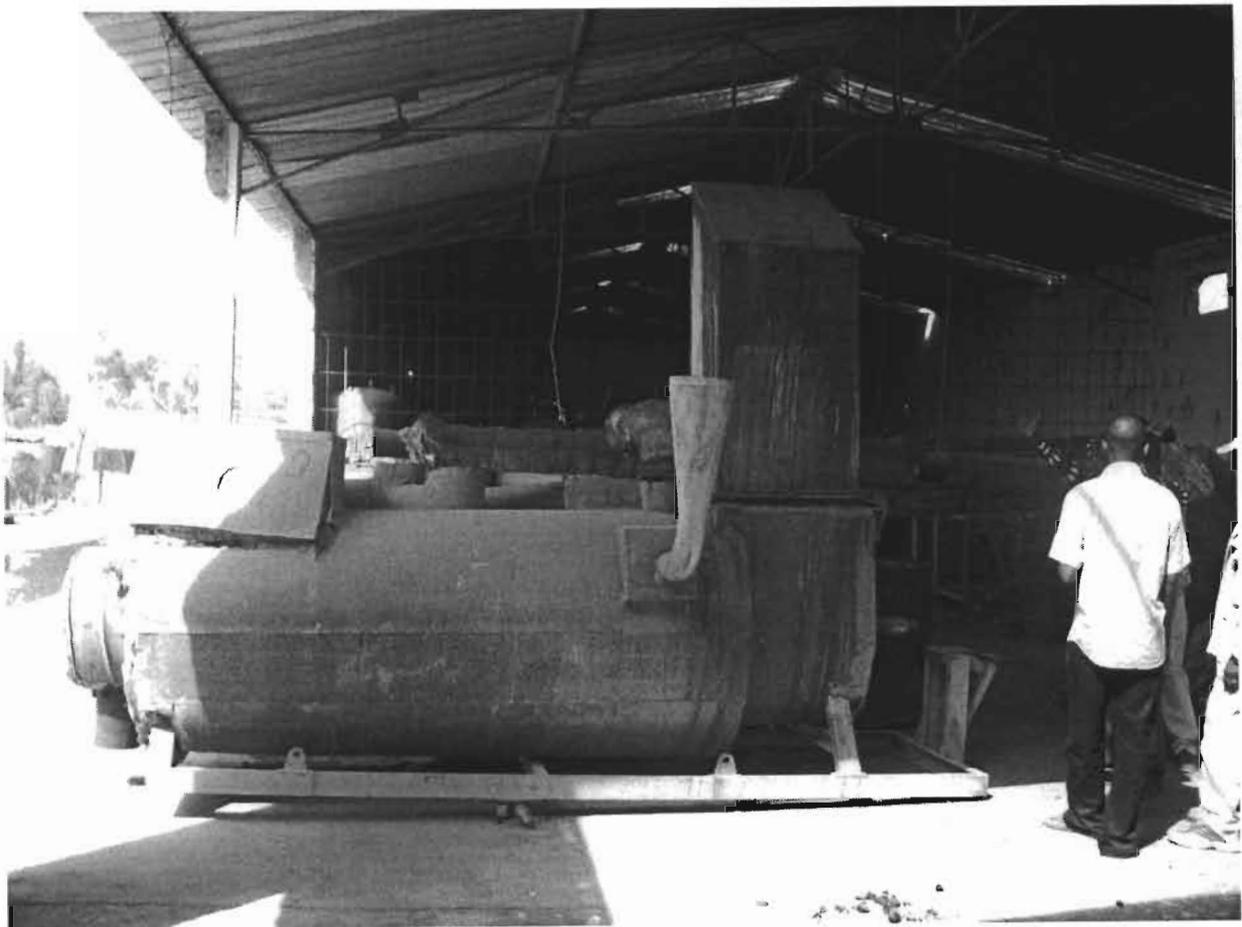


Figure 5 : Pyro-5 à Ross-Béthio



Figure 6 : Pyro-5 à Ross-Béthio

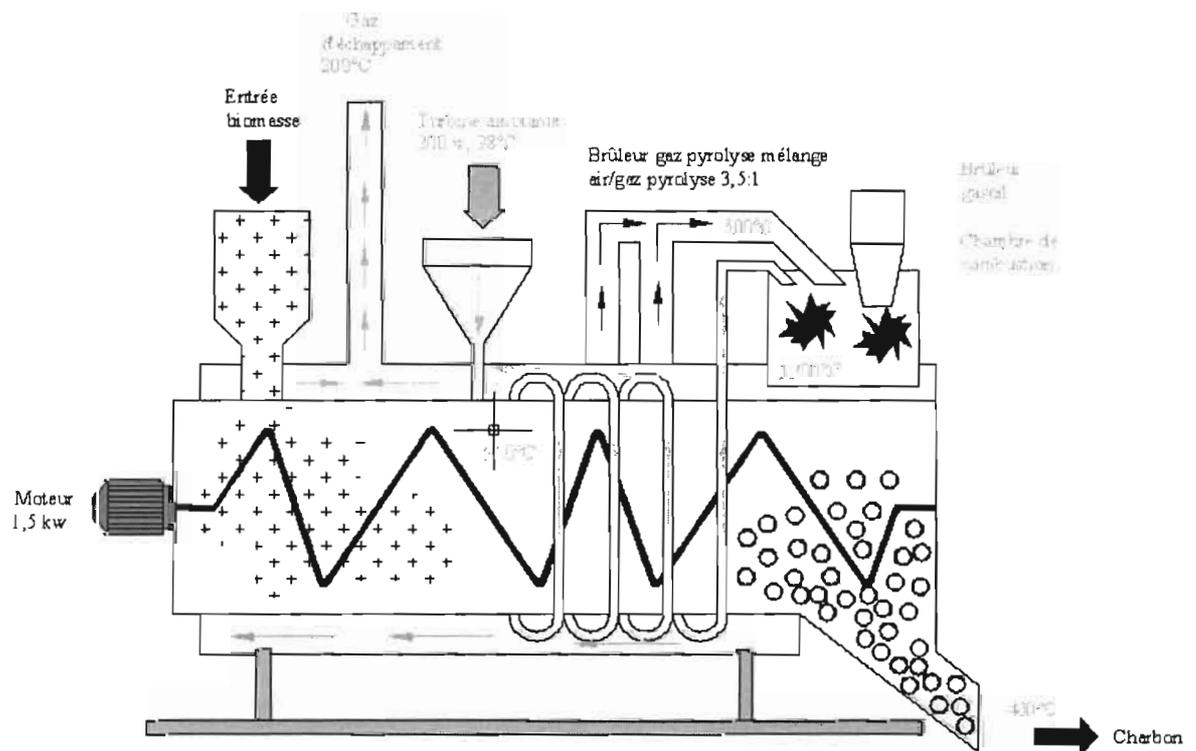


Figure 7 : BIO-CARBONISATEUR PYRO-5

➤ Technique d'agglomération utilisée

Le charbon est produit sous forme de fines particules. Il doit ensuite être aggloméré. Pendant cette phase expérimentale, Pro-Natura a testé 2 types d'agglomérateurs :

✓ L'agglomérateur à plateau rotatif

Il produit des boulets de charbon. Ce mode d'agglomération est simple et fonctionne très bien, mais est réservé à une production artisanale. Des boulets produits ont été testés dans les ménages.

✓ L'agglomérateur par extrusion (Delta 2000)

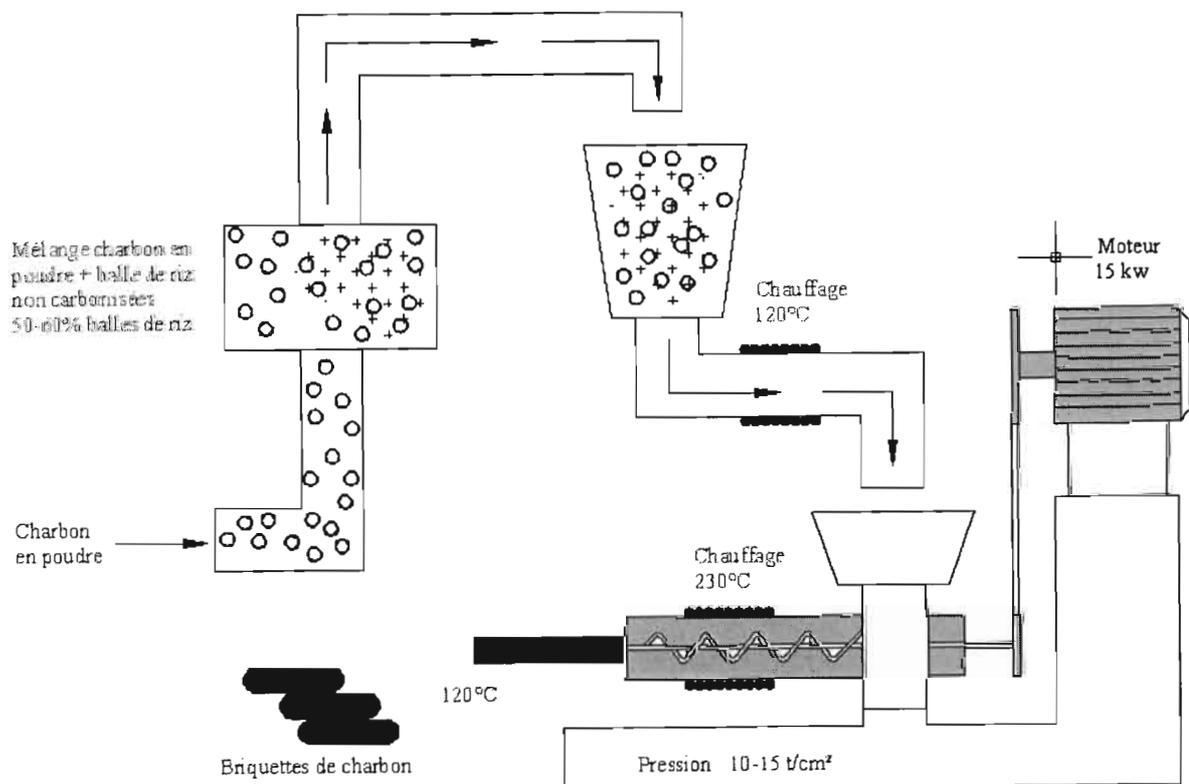


Figure 8 : Agglomérateur à vis

Son principe consiste en un préchauffage de la matière traitée, soumise ensuite à une forte compression par vis qui provoque l'agglomération. Sa capacité de production est de 150 kg à l'heure pour la biomasse carbonisée.

Cet agglomérateur a été conçu pour les produits non carbonisés et offrant une consistance solide (balle de riz, copeaux de bois) alors que le charbon de biomasse, pulvérulent, n'offre pas assez de résistance à la compression pour pouvoir être aggloméré. Le mélange de charbon de biomasse et de la balle de riz non carbonisée offre plus de résistance et donne le comportement suivant : sous l'effet du préchauffage et de la chaleur produite par la compression, la partie non carbonisée du mélange émet des gaz de pyrolyse et des goudrons qui font office de liant et provoquent l'agglomération de l'ensemble.

Plusieurs taux de mélange ont été essayés. C'est évidemment le mélange : 30% de balle de riz non carbonisée, 70% de charbon de balle de riz qui a donné les meilleurs résultats : chauffage rapide, longue ébullition, très peu de fumée. Ce taux de mélange n'est pas aisé à agglomérer dans l'état actuel de l'appareil, mais comme pour le carbonisateur, des modifications sont prévues qui permettront un mélange plus riche en charbon, et donc une amélioration du produit.

➤ **Coût de la technologie**

La fiabilité du procédé de carbonisation de biomasse en continu et la bonne conception du carbonisateur ont été démontrées. Ces carbonisateurs ont été fabriqués par une industrie locale (SISMAR). Le coût de fabrication était de l'ordre de 5 millions de francs CFA, accessoires et moteur compris et devait s'amortir sur 5 ans.

L'Agglomérateur est prévu pour subir une contrainte mécanique sévère. La forte teneur de la balle de riz en silice provoque une importante abrasion sur la vis, qui doit être rechargée et remplacée régulièrement. Le traitement thermique préalable à la compression atténuera cette abrasion. Cet agglomérateur a coûté 7 800 000 Fcfa (sept millions huit cent mille) et a été livré avec des pièces d'usure. Son amortissement était prévu pour 5 ans.

➤ Le personnel et la formation

Pendant la phase pilote, 6 personnes ont travaillé sur l'unité, réparti comme suit :

- ✓ 2 personnes au mélangeur
- ✓ 2 personnes au niveau de l'agglomérateur
- ✓ 1 personne au niveau du broyeur
- ✓ 1 gardien pour surveiller les installations

Mais lorsque l'unité est passée en phase d'industrialisation, seulement 4 personnes ont travaillé sur l'unité, 3 opérateurs et un gardien :

- ✓ 1 opérateur pour entrer la matière première
- ✓ 1 opérateur pour récupérer le produit
- ✓ 1 technicien pour surveiller

Ces opérateurs avaient presque les mêmes qualifications. Ils permutaient les postes à tour de rôle suivant un calendrier.

Ces opérateurs avaient pour rôle de suivre l'approvisionnement en biomasse, son entrainement, les températures intérieures indiquées par un thermomètre, le débit d'air chauffé produit par le ventilateur, et coordonner ces quatre éléments. Cela ne comporte pas de difficultés majeures, mais requiert une vigilance permanente pour éviter des passages de carbonisation excessive ou insuffisante qui nuiraient à la régularité du produit.

En ce qui concerne la formation des opérateurs, la SAED dispose d'un cadre et des formateurs avec le Centre Interprofessionnel de Formation aux Métiers de l'Agriculture (CIFA).

1-10- Comparaison des deux procédés de carbonisation

	Pyro-5	Pyro-7
Technique de carbonisation	En cornue	En cornue
Alimentation en matière première	Manuelle	Avec une trémie de 1 m ³ monté en amont d'une vis sans fin entraînée par un motoréducteur d'une puissance de 2,2 kW
Production de chaleur	Externe par combustion de fioul et de gaz de pyrolyse	Externe par combustion de fioul et de gaz de pyrolyse
Température d'exploitation	500 – 650°C	560°C
Consommation énergétique	1 motoréducteur de 1,5 kW accouplé à l'agitateur	1 motoréducteur de 2,2 kW pour l'alimentation 1 motoréducteur de 3 kWh pour entraîner les vis transporteuses
Produits finaux	Fines de charbon	Fines de charbon
Matières premières utilisables	La paille et la balle de riz, les petits roseaux, les roseaux « typha », la tige de mil et la coque d'arachide	Les pailles de savane, roseaux, pailles de riz, de blé, tiges de coton, de mil, cannes de maïs, balle de riz, parches de café, bambous.
Rendement de la production	35% à 55% suivant le type de biomasse	30% à 50% suivant le type de biomasse
Qualité du produit fini	Bonne qualité, mais cause un peu de fumée à allumage	Très bonne qualité, sans fumée
Production annuelle	480 tonnes	1100 tonnes

Tableau 3 : Comparaison du pyro-5 et du pyro-7

Par rapport au prototype testé à Ross-Béthio (pyro-5), la nouvelle version (pyro-7) offre les avantages suivants [8]:

- ✓ **La modularité du système** : La chambre de combustion est séparée du récupérateur de chaleur et de la cheminée. Cette nouvelle option permet d'éviter l'accumulation des goudrons dans la chambre de combustion qui à la longue diminue la performance thermique de la machine.
- ✓ **L'optimisation du brûleur** : Le dégagement du gaz de pyrolyse responsable du maintien de la chaleur dans la machine est optimisé avec le nouveau brûleur.
- ✓ **L'alimentation en continue** : Alors que pour l'ancienne machine l'alimentation de la biomasse se faisait directement dans la cornue, pour la nouvelle machine, elle se fait d'une manière continue en biomasse grâce à la vis sans fin de 5 mètres.
- ✓ **Taux de production** : la nouvelle version de la machine (pyro-7) produit 2,29 fois plus que le pyro-5.

Avec l'appui de ALTRAN technologie, des additifs seront apportés en amont pour sécher la biomasse à 20 % d'humidité et en aval pour rendre le système de refroidissement du charbon plus performant.

Chapitre 2 :

DIAGNOSTIC GLOBAL DE L'UNITE DE PRODUCTION DE TYPE PYRO-5 A ROSS BETHIO

2-1- L'unité de production, son environnement et sa stratégie

➤ Historique de l'unité de production

En charge de l'environnement et de la mise en valeur du Delta et de la vallée du fleuve Sénégal, et dans le cadre du « **programme national pour la promotion des énergies nouvelles et renouvelables** » (compte tenu de l'intérêt particulier que présente la transformation de la balle de riz pour les agro-industriels de la vallée), la SAED (Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres de Delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé) a porté son attention sur l'expérimentation, dans cette région, d'une technologie nouvelle permettant de produire un combustible à partir d'éléments végétaux autres que le bois (notamment la balle de riz et les roseaux de typha) et donc susceptible d'être intégrée dans le dispositif mis en œuvre pour lutter contre la désertification [7].

Pro-Natura International, une ONG d'origine brésilienne dont le siège est présent à Paris, et dont la vocation est la sauvegarde de la forêt, a entrepris de rechercher une technologie répondant à la recommandation de la convention internationale pour la lutte contre la désertification.

Cette recherche a abouti à un procédé de carbonisation de biomasse en continu. Elle s'est déroulée dans le cadre du Laboratoire de machinisme agricole de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon, et a été dès le début encouragée et subventionnée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (ADEME). Elle a porté essentiellement sur la paille de blé, en fonction de laquelle a été construit le prototype de carbonisateur, mais aussi sur la balle de riz fournie par une coopérative de riziculteurs de Camargue, intéressés par son utilisation possible.

Dès 1994, ce projet a été porté à la connaissance de la Présidence de la République du Sénégal, qui en a confié l'étude au Ministère de l'Environnement. Celui-ci, par lettre du 18 janvier 1995 a invité Pro-Natura à lui soumettre un document de projet.

En parallèle au Sénégal, en 1994, le directeur de la rizerie Delta 2000 à Ross-Béthio, Mr. Amadou NDIAYE, a entrepris des recherches dans le même but : proposer un combustible domestique constituant une alternative au bois et au charbon de bois en utilisant la balle de riz. Le produit, aggloméré par un préchauffage et une forte compression, présentait une bonne qualité de combustible. Mais, du fait qu'il n'avait pas subi de carbonisation, émettait une quantité de fumée jugée gênante. Cet inconvénient a empêché une large diffusion du produit.

Fin 1996, Pro-Natura étant arrivée à la phase de l'expérimentation en dimensions réelles, et les deux parties ayant été mises en rapport, elles ont convenu d'une opération en partenariat pour :

- ✓ expérimenter le fonctionnement du prototype de carbonisateur
- ✓ Le traitement de la balle de riz et de différentes espèces végétales disponibles dans la région.
- ✓ Rechercher la complémentarité des procédés de carbonisation et d'agglomération.

Cette expérimentation s'est déroulée sur le site de la rizerie Delta 2000 à Ross-Béthio, en février et Mars 1997. Les résultats obtenus ont amené la direction de l'énergie à épauler Pro-Natura dans la recherche de financement du présent projet pilote de 10 mois auprès de la communauté Européenne.

Le projet a débuté en février 1999 avec comme objectif, le perfectionnement de la technologie et la capitalisation d'enseignements devant servir à la formulation d'un projet cadre à l'échelle nationale.

Le Ministère de l'Agriculture, par appui apporté par la SAED, a encouragé cette opération qui répond à sa préoccupation de revaloriser les sous-produits agricoles de la vallée.

Ce projet avait plusieurs enjeux. Le secteur des combustibles domestiques revêt une importance particulière et ce pour plusieurs raisons :

- ✓ D'abord à cause des problèmes environnementaux : la consommation de charbon de bois des villes pèse d'un poids très lourd dans le prélèvement sur les ressources forestières fragiles du pays. On estime, sans avoir de chiffres très précis, qu'entre 20000 et 30000 ha de forêt sont coupés chaque année pour produire du charbon de bois [7].
- ✓ Ensuite à cause des aspects sociaux : bois et charbon de bois représentent encore, malgré une pénétration importante du gaz butane et un taux de couverture en électricité satisfaisante en ville, la principale source d'énergie des ménages. Ils sont de plus en plus utilisés pour satisfaire les besoins fondamentaux de cuisson. La raréfaction des ressources forestières fait ainsi peser un risque grave sur l'approvisionnement énergétique de la grande majorité de la population.

A cette analyse, il convient d'ajouter un enjeu économique à deux niveaux :

- ✓ En raison de leur raréfaction, de l'allongement de leur transport et des taxes instituées pour en réduire l'utilisation, le prix du bois et du charbon de bois devra subir des augmentations. La mise sur le marché d'un combustible moins cher offrira un produit plus accessible aux catégories à moyenne et faibles ressources qui représentent 80% de la population sahéenne rurale [7].
- ✓ Enfin, le projet « charbon vert » en valorisant la balle de riz qui n'est jusqu'ici qu'un rejet d'usine, polluant l'environnement, constitue un facteur de mise en valeur des zones rizicoles.

2-2- La biomasse expérimentée

Les espèces végétales ayant fait l'objet de l'expérimentation sont : la paille et la balle de riz, les petits roseaux, les roseaux « typha », la tige de mil et la coque d'arachide.

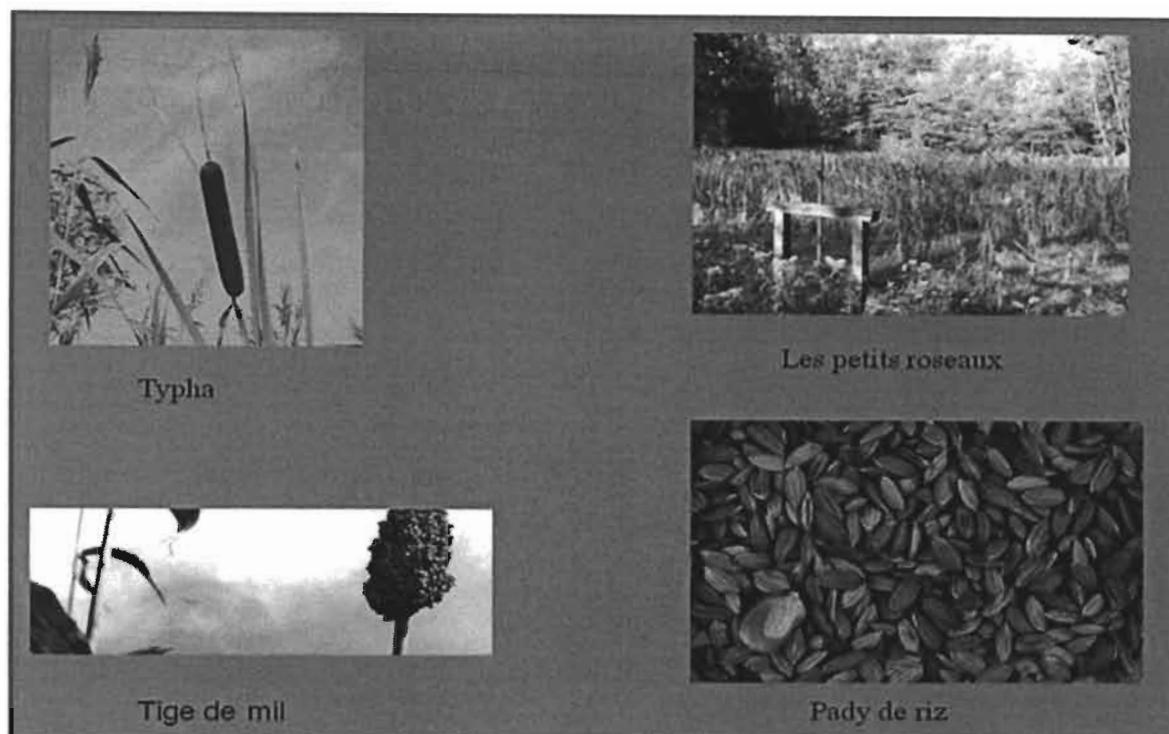


Figure 9 : *Biomasse expérimentée*

L'expérimentation a consisté :

- ✓ A noter lors de la carbonisation le comportement mécanique et le rendement en charbon de ces espèces.
- ✓ Une fois le charbon aggloméré et prêt à l'usage, à mesurer son pouvoir calorifique et sa comparaison avec celui du charbon du bois.
- ✓ Enfin, à procéder à un test de consommation du produit prêt à l'emploi.

Désignation	Durée de carbonisation (minutes)	Quantité traitée (kg)	Charbon produit (kg)	Rendement charbon/bio-masse (%)	Observations
Petit roseau haché	20	30	11	36.67	Paille encore humide et fumée très abondante et gênante entraînant l'arrêt de la carbonisation. Charbon en fragments très durs.
Roseau « typha » haché	55	52	17	32.69	Peu de pyroligneux pour remonter rapidement la température. Collant à l'entrée.
Tige de mil hachée	65	81	39	48.15	Très fluide. Pyroligneux riches.
Paille de riz broyée	55	59	24	40.67	Demande une bonne préparation. Le broyage notamment est à revoir. Difficulté à l'entrée.
Balle de riz nature	62	205	101	49.27	Très fluide. Justifie la fabrication d'un carbonisateur spécialement adapté.
Coque d'arachide	67	95	49	51.57	Beaucoup de fumée. Bonne fluidité.

Tableau 4 : Test comparatif de carbonisation [12]

Remarque :

Dans le tableau des résidus agricoles et agro-industriels du « Guide Biomasse-Energie » réalisé par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'énergie (ADEME, réf. ; INTN

1,108), le pouvoir calorifique inférieure de la balle de riz, de 13,5 kJ/kg à 15,5 kJ/kg se situe dans une bonne moyenne par rapport à ceux de :

- ✓ La paille de blé : 15,6 kJ/kg
- ✓ La paille de riz : 10,5 kJ/kg
- ✓ La tige de coton : 17,2 kJ/kg

Non seulement elle peut être transformée en charbon mais, non carbonisée, elle sert de support à l'agglomération de charbon provenant d'autres espèces végétales.

C'est ainsi que le mélange de 50% balle de riz non carbonisée et 50% charbon de roseau typha a donné de bons résultats (voir tableau 5). La balle de riz représente donc un élément indispensable à la production industrielle de charbon vert.

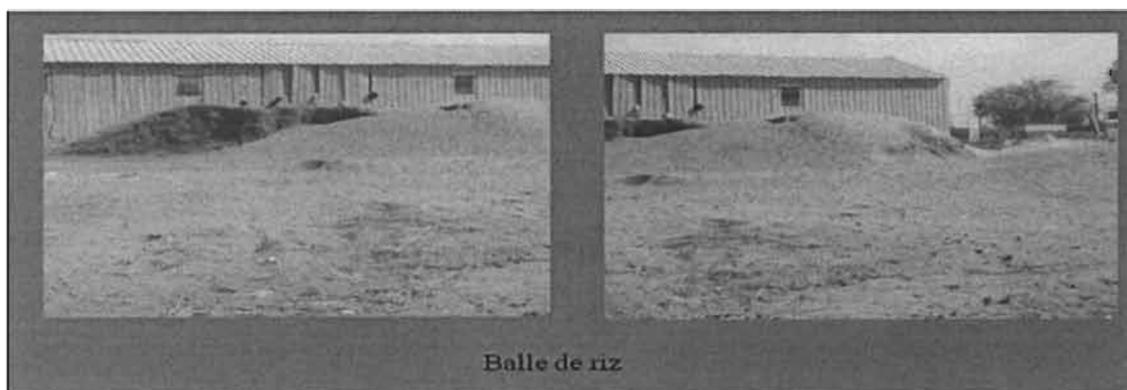


Figure 10 : *Reserve de balle de riz*

➤ **Reserve en biomasse**

- ✓ **La balle de riz :** La masse de balle de riz rejetée et inutilisée par les unités de décorticage du riz est considérable. La production moyenne de riz est estimée à 30000 tonnes par an. La balle de riz représente un poids de 20 % du riz produit, soit une quantité de 6000 tonnes de balle de riz en moyenne par an. Avec un taux de rendement (biomasse/charbon) de 40 %, on a un potentiel de production de 2500 tonnes de charbon vert en moyenne par an [7].

- ✓ **Le typha** : La vue d'une impressionnante étendue de peuplement de typha dans la zone du Delta du fleuve Sénégal (Savoigne), a permis d'apprécier les réels problèmes posés par cette plante, d'où la nécessité de son éradication ou de sa valorisation. Dans l'exécution de la phase pilote du projet, l'Université des Sciences Agronomiques de Gembloux a procédé à un inventaire de cette biomasse qui prolifère d'une manière inquiétante. Cette étude évalue à 200000 tonnes de typha sèche le potentiel existant sur une quarantaine de kilomètres [4].

A la carbonisation, ce potentiel donnerait une production de 64000 tonnes de charbon de biomasse (rendement 32 %) couvrant plus de la moitié des quotas annuels de charbon de bois délivrés par le Ministère de l'Eau et de la Protection de la nature (Service des Eaux et Forêts). A cause des frais liés à la coupe et au transport, le typha est acheté à 10 Fcfa le kilogramme rendu sur le site du projet. Il conviendra de rechercher une technique de coupe moins contraignante et d'installer les unités de carbonisation à proximité de la ressource afin de réduire les coûts de transport.

- ✓ **Les tiges de cotonnier** : Des essais de carbonisation de ce résidu de culture ont été effectués. Ce type de biomasse donne un excellent combustible mais les conditions de son exploitation n'ont pas encore fait l'objet d'une étude suffisamment poussée. Cependant, la SODEFITEX a manifesté sa disponibilité en vue d'une coopération pour la valorisation de cette biomasse jusqu'ici non utilisée.
- ✓ **Le bois** : Des essais de carbonisation des branchages issus de la coupe des brise-vents des périmètres maraîchers de Sébikotane encadrés par ENDA SYSPRO, ont donné aussi des résultats probants. Le traitement sylvicole annuel de 800000 pieds donne 3840 tonnes de branchages transformables avec un rendement de 33 %, à 1280 tonnes de charbon de bois. Il s'agira d'une véritable culture de biomasse-énergie lorsqu'on exploitera tout le peuplement de plantation estimé à 15 millions de pieds. L'une des préoccupations qui consiste à améliorer le taux de rendement de la carbonisation du bois (18 % par la méthode traditionnelle) peut, par cette technologie (bio-carbonisateur) trouver une solution (30 à 35 % de rendement) [8].

2-3- Le produit fabriqué

Le produit fabriqué est du charbon vert. Dans sa version industrielle, il se présente sous forme de barres, percées en leur centre dans le sens de la longueur, faciles à utiliser, à transporter et à commercialiser. La qualité de combustible est fonction à la fois du pouvoir calorifique inférieur (PCI) de la biomasse utilisée, de la proportion du mélange balle de riz non carbonisée et charbon, et de son homogénéité. Plus la teneur en charbon sera forte, meilleure sera la combustion et plus faible la fumée dégagée.

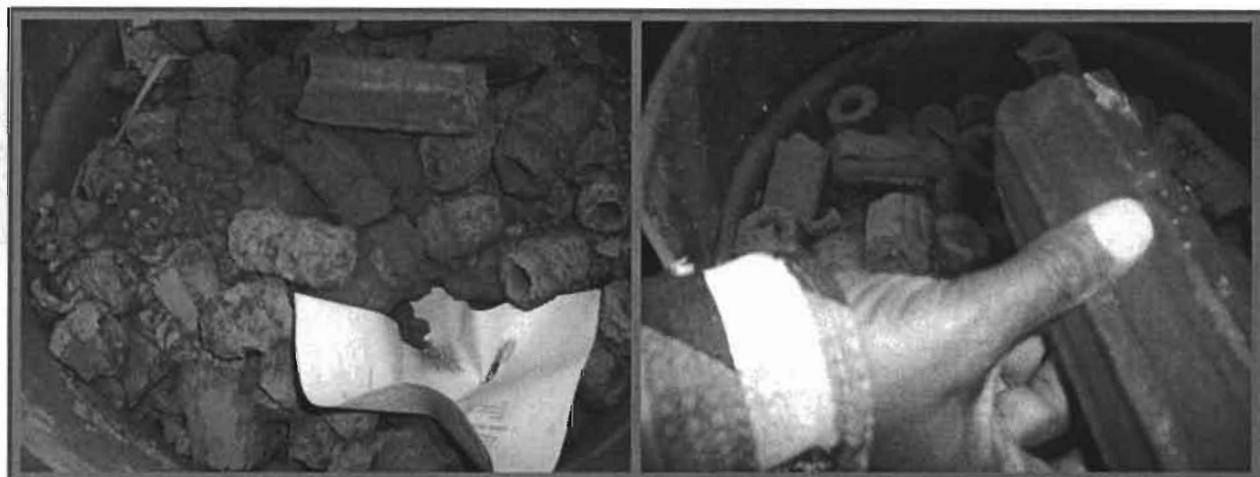


Figure 11 : *Charbon vert*

Sous la forme artisanale, aggloméré au plateau rotatif, le charbon de biomasse (charbon vert) se présente sous forme de boulets aux qualités calorifiques non négligeables. De faible densité et peu commodes à transporter, ces boulets sont réservés à une utilisation à proximité.

Le charbon vert peut être utilisé partout où le charbon de bois et le bois sont utilisés. Par exemple au niveau des pêcheurs pour fumer le poisson et dans les ménages pour la cuisson des repas.

La mesure de la qualité calorifique des divers charbons a été effectuée de la façon suivante. En plein air, dans un fourneau traditionnel, pour 500 grammes de charbon de biomasse, après mise à feu, un récipient couvert contenant 1 litre d'eau à température ambiante (25°C) est placé sur le fourneau. Le temps que l'eau met à atteindre l'ébullition, et la durée de

l'ébullition sont notés. Les mêmes données obtenues avec 500 grammes de charbon de bois servent de référence.

Désignation	Temps pour arriver à l'ébullition (minutes)	Durée de l'ébullition (minutes)	Comparaison avec le charbon de bois (%)	Observations
Charbon de bois	08	60	100%	Référence
1)- Agglomération par préchauffage et vis : Mélange de la balle de riz non carbonisée (BDR) et de charbon de biomasse dans la proportion de 50%				
✓ BDR + charbon de BDR	05	46	76.66	Forte ébullition
✓ BDR + charbon roseau de typha	05	44	73.33	Forte ébullition
✓ BDR + charbon coque d'arachide	06	10	66.66	Très forte ébullition
✓ BDR + charbon de paille de riz	18	14	23.33	Ebullition très faible
✓ BDR + charbon de tige de mil	08	22	36.66	Ebullition médiocre
2)- Agglomération par plateau rotatif (boulets) (liant : 5% de terre)				
✓ Charbon de roseau de typha	11	22	36.66	Très peu de fumée
✓ Charbon de petit roseau	08	39	65	Très peu de fumée
✓ Charbon de paille de riz	08	27	45	Très peu de fumée

Tableau 5 : Test du produit pour chaque agglomérateur [12]

2-4- Evaluation du coût de revient d'un kilogramme de charbon vert

Cette approche est basée sur le coût d'investissement et sur les performances de l'unité de carbonisation [7].

✓ Investissement :

- Carbonisateur : 5 000 000 Fcfa (amortissable sur 5 ans)

- Agglomérateur : 7 800 000 Fcfa (amortissable sur 5 ans)

✓ **Capacité de production**

- 8 heures de fonctionnement par jour et 25 jours par mois, soit 300 jours par an
- 40 tonnes de charbon vert produit par mois, soit 480 tonnes par an

✓ **Les charges**

- Main d'œuvre : 250 000 Fcfa / mois (détails non communiqués)
- Coût de maintenance : 500 000 Fcfa / an
- Coût de l'énergie consommée (électricité + gaz) : 3310 Fcfa (pour 1000kg de charbon produit)
- Coût de l'emballage : 5 Fcfa / kg
- Frais divers d'usinage : 1 Fcfa / kg
- Valorisation de la balle de riz : 5 Fcfa / kg
- Charges diverses de fonctionnement : 2 Fcfa / kg

On en déduit donc les charges totales par an :

Carbonisateur	1 000 000	Fcfa
Agglomérateur	1 560 000	Fcfa
Main d'œuvre	3 000 000	Fcfa
Maintenance	500 000	Fcfa
Énergie	1 588 800	Fcfa
Emballage	2 400 000	Fcfa
Frais divers d'usinage	480 000	Fcfa
Valorisation de la balle de riz	2 400 000	Fcfa
Charges diverses de fonctionnement	960 000	Fcfa
Total	13 888 800	Fcfa

Tableau 6 : Charges totales annuelles de l'unité

Le prix de revient d'un kilogramme de charbon vert est donc :

$$PV = \frac{13888800}{480000} = 28,935 \text{ Fcfa / kg} \quad \text{Arrondi à 29 Fcfa.}$$

En admettant que la marge bénéficiaire de l'industriel est de **10 Fcfa par kg** de charbon vert, le prix de vente sorti d'usine sera de **39 Fcfa par kg**.

Pour une marge des intermédiaires estimée à **21 Fcfa par kg (transport + bénéfice)**, le prix de charbon vert reste très compétitif sur le marché quand il est vendu à **60 Fcfa le kilogramme**.

2-5- Test de consommation du charbon vert

La finalité majeure de la production de charbon vert est sans doute son acceptation par les ménagères au même titre que le charbon de bois d'usage traditionnel. Dans cette optique, le Centre d'Expansion Rural de Ross-Béthio a choisi 6 foyers, et un questionnaire (voir modèle à l'annexe 1) leur a été remis pour avoir les impressions naturelles et quelques données de base pour une première approche de calcul économique.

En milieu urbain, le charbon vert a été expérimenté par deux restauratrices cuisant et vendant des beignets et brochettes.

L'objectif de ce test était de s'assurer que le combustible s'intègre parfaitement dans les habitudes culinaires des foyers Sénégalais pour le même usage que le charbon de bois, sans en modifier le comportement, ni le modèle de foyer utilisé pour la cuisson.

Réactions et opinions des femmes [9]:

- ✓ Le combustible s'insère tout naturellement dans les habitudes culinaires des familles à revenu moyen et faible
- ✓ La quantité de charbon vert utilisée est de 20 à 30 % supérieure à celle du charbon de bois pour le même usage.
- ✓ On constate une fumée qui se dégage lors de la mise à feu et une légère difficulté de mise à feu par rapport au charbon de bois de bonne qualité.

- ✓ Une qualité de cuisson plus rapide et plus constante que le charbon de bois. Les résidus de braise restant plus longtemps incandescent par rapport au charbon de bois permettent une utilisation complémentaire (thé, repassage, encens).
- ✓ L'une des ménagères questionnée a utilisé le charbon vert de la même manière que le bois et elle constate une économie quantitative de 40 % pour la cuisson d'une même quantité de riz au déjeuner.
- ✓ Les ménagères en milieu rural, comme les restauratrices en milieu urbain, ont toutes demandé que le produit qu'elles ont essayé, soit mis d'urgence sur le marché

N°	Combustible d'usage	Quantité/ jour en kg ou en tas	Valeur en Fcfa	Charbon vert/jour en Kg utilisé	Valeur en Fcfa	Economie/jour en Fcfa	Economie/an en Fcfa
1	Charbon de bois	1,5	190	2	170	20	7200
2	Bois	2	200	1,7	144,5	55,5	19980
3	Charbon de bois	1,5	190	2	170	20	7200
4	Bois	2	200	2	170	30	10800
5	Charbon de bois	1,5	190	2	170	20	7200
6	Bois	3	300	2,5	212,5	87,5	31500

Tableau 7 : Résultat de consommation sur les 6 foyers testé à Ross-Béthio[10]

La vente du bois se fait en tas et non en kilogramme comparativement au charbon de bois. Les économies annuelles réalisées ne concernent qu'un repas, et par conséquent la ménagère qui utilise le charbon vert pour chaque repas, se retrouvera avec des économies doublées allant de 14400 Fcfa à 63000 Fcfa par an [10].

Sur le site du Pôle Intégré de Développement (PID) à OUM EL Ghoura dans la Moughatta d'El Mina à Nouakchott en Mauritanie, s'est tenue aussi une réunion consacrée à l'expérimentation du charbon vert au sein de la population mauritanienne qui vit dans les mêmes conditions environnementales et sociales (voir compte rendu de la réunion à l'annexe 2).

L'expérimentation a été faite par Sandra KLOFF de l'Union Mondial pour la Nature (UICN) et les femmes sont venues très nombreuses de tout le quartier. Elles ont très apprécié le produit, qu'elles jugent positives sur tous les plans :

- ✓ Prix : moins cher par rapport au charbon de bois
- ✓ Durabilité : dure plus longtemps
- ✓ Quantité consommée : moins que le charbon de bois pour une même quantité de cuisson

Mais ces femmes ont signalé un inconvénient : la fumée qui se dégage avant la combustion complète, elle dure 3 à 4 minutes.

2-6- Synthèses du diagnostic

D'une façon très schématique, on peut considérer que le charbon de biomasse fournira 70 voir 80 % du service rendu par le charbon de bois, et qu'il sera deux fois moins cher (voir au chapitre 4). Sa commercialisation ne devra donc poser aucun problème, on peut même prévoir que la demande excédera largement l'offre.

La balle de riz dont le coût d'approvisionnement était nul, prendra de la valeur dès qu'elle fera l'objet d'une transformation à des fins commerciales. Cependant, vu l'importance de l'offre du charbon vert, il ne devrait pas se poser de problèmes d'approvisionnement en matières premières.

La carbonisation du bois issu des plantations de Sébikotane est très favorable, car produire du charbon à 35 km de Dakar est incontestablement une opération avantageuse.

La production annuelle de 480 tonnes de charbon vert, pour la seule rizerie de Delta 2000, a sur l'environnement l'impact suivant : 5 kg de bois donne 1 kg de charbon, et le charbon vert équivalent en moyenne pour le même usage représente 75 % de charbon de bois. Cette production annuelle de 480 tonnes de charbon vert représente donc la substitution en énergie

renouvelable à $480T \times 75\% \times 5 = 1800T$ de bois. Promouvoir cette énergie c'est donc lutter efficacement contre la désertification [7].

Pour l'industriel, la mise en place d'une unité de carbonisation entraînerait une plus-value de 40 000 Fcfa ($10Fcfa/kg \times 40000kg$) par jour sur la balle de riz considéré jusqu'alors comme une charge d'exploitation car nécessitant des moyens pour son évacuation en dehors de l'usine. En cas d'exploitation industrielle, une réduction du prix de revient sera obtenue par les effets d'une économie d'échelle de l'ordre de 10 %.

La valorisation de la balle de riz à 5 Fcfa le kilogramme de charbon vert, jouera aussi pour les autres variétés de biomasse telles que le roseau « typha » ou la tige de coton. Cette valorisation amènera la création d'emplois temporaires rémunérés en milieu rural pour le ramassage et le transport. Pour la production annuelle de 480 tonnes de charbon vert pour la seule rizerie Delta 2000 qui a été retenue en référence dans le calcul de prix de revient ci-dessus, cette valorisation correspond à une masse financière de 2 400 000 Fcfa par an distribuée en milieu rural.

Pour la ménagère, malgré les inconvénients de départ pour la mise à feu, le charbon de biomasse assure une économie très significative pouvant indéniablement augmenter son pouvoir d'achat.

Chapitre 3 :**ELABORATION DU BUSINESS PLAN DE LA FUTURE UNITE DE PRODUCTION DE CHARBON VERT.****3-1- Généralités**

La plupart d'entre nous passent leur vie à penser à ce qu'ils vont faire. Nous prévoyons de continuer nos études, nous prévoyons un départ en vacances. Nous avons toujours un plan ou deux en préparation. Pourquoi faisons-nous tant de prévision ? Nous ne pouvons certainement pas prédire ce qui va se passer, et donc pourquoi se donner cette peine ? Il est vrai qu'aucun de nous ne connaît l'avenir. Mais chacun de nous sait que demain sera différent d'aujourd'hui, et qu'aujourd'hui n'est pas comme hier. Se préparer à ces différences est une façon d'avancer en faisant face à des choses qui sont inhabituelles et incertaines. La prévision est une stratégie de la survie.

Les entreprises font des business plan en grande partie pour les mêmes raisons. La prévision est une stratégie visant à améliorer les chances de succès dans un monde des affaires en perpétuel changement. Les business plans ne sont pas une garantie, évidemment. Leur préparation n'est pas une science exacte. Mais la préparation d'un business plan est un processus qui nous prépare à ce qui va arriver. Et la création d'un plan augmente les chances, pour l'entreprise, plus loin sur son parcours, de se trouver au bon endroit au bon moment.

3-2- Qu'est ce qu'un business plan ?

Un *plan* désignait à l'origine une seule chose : une représentation à plat d'un bâtiment, vu d'en haut. Au cours des siècles, cependant, la signification du mot *plan* s'est étendue pour inclure une dimension de temps en plus des dimensions de l'espace. Un plan au sens moderne se réfère également à une vision du futur, à partir du présent [13].

Un business plan est une vue particulière de l'avenir de la société, décrivant :

- ✓ Ce que notre branche d'activité sera devenue

- ✓ Les marchés sur lesquels nous nous battons
- ✓ Les concurrents auxquels nous aurons affaire
- ✓ Les produits et les services que nous offrons
- ✓ La valeur que nous apportons aux clients
- ✓ Les avantages durables dont nous bénéficierons
- ✓ La dimension et la rentabilité futures de la société

Un business plan donne une vue du futur. Que la société soit grande ou petite, que nous soyons seulement en train de créer une entreprise ou que nous fassions partie d'une société qui a traversé les tempêtes, nous avons toujours besoin d'un processus de planning d'un type ou d'un autre pour nous mettre sur la bonne voie et nous guider en cours de route. Dans le cas de ce projet, le business plan sera orienté et utilisé pour obtenir un financement.

Un business plan fait ressortir de nombreux dangers, et nous met en garde contre les chausse-trappes et les obstacles qui nous attendent, nous donnant une chance de les éviter. Il faut noter que les trois quarts de toutes les petites entreprises font faillite au cours de leurs deux ou trois premières années d'existence [13]. Il est un moyen de tenir à jour notre score, en définissant des finalités pour notre société, et en les comparant aux réalisations. Par exemple :

- ✓ Il crée une vue sur l'avenir
- ✓ Il spécifie la direction à suivre et la route à emprunter. Il peut nous servir à jauger notre aptitude à accomplir ce que nous avons prévu de faire.
- ✓ Il prédit à quel endroit nous devons nous trouver à un moment donné. Il peut nous servir à mesurer les écarts entre prévisions et la réalité en ce qui concerne notre branche d'activité, notre marché et nos finances.

Nous pouvons utiliser le business plan pour dire au reste du monde (ou du moins à toute personne intéressée) un grand nombre de choses sur l'entreprise. Quels que soient ceux à qui nous avons affaire et pour quelque motif que ce soit, notre plan est une description qui peut étayer nos affirmations. Il rend bien service face à :

- ✓ Des fournisseurs à qui nous demandons du crédit et des conditions particulières.
- ✓ Des distributeurs désireux d'adjoindre notre produit à leur offre
- ✓ De gros clients espérant établir des relations d'affaires à long terme.
- ✓ Des consultants extérieurs auxquels nous ferons appel pour nous aider à résoudre des problèmes particuliers.
- ✓ Des banquiers qui décident de prêter ou non de l'argent.
- ✓ Des investisseurs intéressés par un investissement dans notre société.

Toutes ces personnes ont leurs propres raisons particulières de désirer plus d'informations, et chacune d'elle est probablement intéressée par une partie différente de notre plan. Un business plan bien écrit satisfait donc tous ces groupes et du même coup renforce la position de la société. Il est donc important de noter que :

- ✓ Un business plan améliore les chances de succès de la société
- ✓ Un business plan fournit un modèle d'action pour l'avenir
- ✓ La planification est un processus continu

3-3- Elaboration du plan

3-3-1- Vue d'ensemble de l'unité de production

La vue d'ensemble de l'unité de production (société) fournit l'emplacement adéquat pour placer d'importantes observations sur la nature de notre activité. Pour composer la vue d'ensemble de notre unité de production, nous allons extraire des éléments de plusieurs documents clés du plan, dont les suivants :

- ✓ La mission de la société
- ✓ Ses finalités et ses objectifs
- ✓ Ses valeurs
- ✓ Sa vision

➤ **La mission de l'unité de production de charbon vert**

L'énoncé de la mission de l'entreprise est le moyen de communiquer la raison d'être de son activité aux gens qui sont à l'intérieur comme à l'extérieur de l'organisation.

La mission de l'entreprise de production de charbon vert est de fournir à la population un combustible à base de biomasses végétales (balle de riz, roseau de typha, tige de mil etc.), de très bonne qualité à un prix défiant toute concurrence ; permettant ainsi de combler le déficit énergétique que traverse le Sénégal en ce moment, mais également de lutter contre la déforestation et la destruction de la couche d'ozone.

➤ **Finalités et Objectifs**

La fixation des finalités et des objectifs de l'entreprise représente une sérieuse police d'assurance pour l'entreprise. Elle permet de prévoir des modalités d'action susceptibles d'être couronnées de succès, et d'en suivre la progression.

Les finalités sont des résultats généraux que l'entreprise s'engage absolument à obtenir. Ces finalités que nous fixerons pour l'entreprise, dicteront en définitive les choix d'entreprise, et piloteront les processus de décision dans toute l'organisation. Les finalités créent un lien indissociable entre les actions de la société et sa mission.

Les objectifs sont des énoncés spécifiques reliés des finalités particulières : Ils fournissent des détails sur ce qui doit être fait et sur le moment de le faire. Les objectifs ne sont jamais isolés. En dehors du contexte de finalité plus large, ils n'ont guère de sens.

Les finalités stratégiques à long terme de l'unité de production de charbon vert sont :

- ✓ Le charbon vert doit, après les deux premières années de production, rendre à 100 % le service du charbon de bois et du bois, à un prix deux fois moins cher que celui de ces derniers au kilogramme.
- ✓ Etre un acteur principal dans la lutte contre la désertification, la protection de la nature, et l'avancée du désert.
- ✓ Devenir après cinq ans une société d'énergie renouvelable de plus 400 millions de chiffre d'affaires par an
- ✓ Augmenter la valeur de la société en investissant dans le personnel
- ✓ Expérimenter d'autres biomasses disponibles dans le pays et dans la-sous-région pour d'éventuelles exploitations.

Nous étayerons ces finalités par trois objectifs clés :

- ✓ S'associer avec de solides associations et groupes locaux, ainsi que les distributeurs et vendeurs de charbon de bois dans toutes régions pour le marketing et la vente du produit.
- ✓ Ouvrir une unité de production dans chacune des régions du pays où la matière première est disponible, pour éviter les coûts de transport dans le prix de revient du produit.
- ✓ Développer les ressources humaines dans ces régions

➤ Valeurs de l'unité de production

Un énoncé de valeur est un ensemble de croyances et de principes sur lequel se règlent les activités de la société. Des valeurs clairement formulées peuvent aider la société à agir rapidement et de manière décisive sous le coup d'un événement inattendu.

Pour l'unité de production de charbon vert, nous serons voués au respect des principes et de conduite suivants :

- ✓ Agir avec intégrité
- ✓ Servir nos clients de la manière dont ils s'attendent à être servis
- ✓ Prendre des initiatives
- ✓ Favoriser le partenariat et la coopération
- ✓ Attacher de la valeur aux capacités individuelles
- ✓ Rendre des comptes
- ✓ Nous améliorer à innover constamment
- ✓ Fournir de la valeur à nos actionnaires.

➤ **Vision de la société**

La vision d'une société est un ensemble de mots précis, bien utiles, annonçant où la société veut aller, et en brossant un tableau de ce qu'elle veut devenir.

Notre activité vise à préserver et à améliorer les conditions de vie des populations. Toutes nos actions devront être mesurées pour notre réussite à cet égard.

3-3-2- Environnement de l'activité

Cette section du business plan relative à l'environnement de l'activité couvre tous les aspects principaux de la situation de notre société qui échappent à notre contrôle immédiat, y compris la nature de notre branche d'activité, l'évolution du marché et l'intensité de la concurrence. Il sera question d'examiner en détail chacun de ces domaines pour aboutir à une liste aussi bien des opportunités offertes par l'environnement de notre activité que des menaces auxquelles notre société sera exposée. A partir de ces observations, nous pourrons ensuite décrire ce qu'il faut pour assurer la réussite de la société.

➤ **Analyse de notre branche d'activité**

Quelque soit notre branche d'activité, le monde qui nous entoure est modelé par des forces que nous devons identifier, dont nous devons nous prémunir et avec lesquelles nous devons compter pour assurer notre réussite à long terme.

La figure 12 ci-dessus présente les quatre composantes principales de l'analyse d'une branche d'activité.

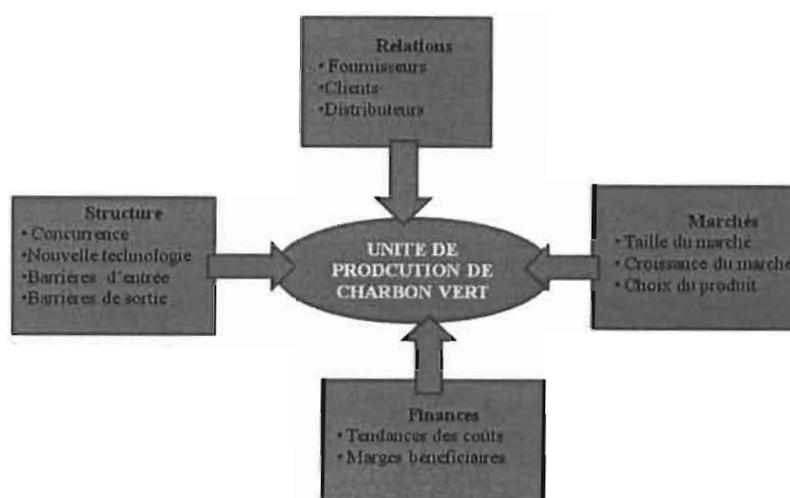


Figure 12: Les quatre composantes principales de l'analyse d'une branche d'activité [13].

Nous présentons maintenant les différents éléments de cette figure

➤ **Structure**

Chaque branche, de la haute technologie à la haute couture, a sa propre forme et sa propre structure.

✓ **La concurrence**

Dans notre branche d'activité, les principaux concurrents sont les producteurs de charbon de bois et les producteurs de gaz butane. Bien que l'approvisionnement en bois soit de plus en plus difficile, le charbon de bois et le bois représentent près de 89 % des sources d'énergie au Sénégal [2].

✓ **Nouvelles technologies**

La première machine utilisée dans notre branche d'activité est le bio carbonisateur (Pyro-5). Bien qu'ayant fait ses preuves, il a montré quelques limites. Une nouvelle technologie a été

développée et est utilisée actuellement en Afrique du Sud. C'est le bio carbonisateur (pyro-7) qui est une version améliorée du pyro-5. Notons néanmoins que le pyro-7 a été mis sur pied trois ans après la mise sur le marché du pyro-5.

✓ **Les barrières d'entrée**

Les barrières d'entrée que nous percevons comme étant des obstacles pour de nouveaux concurrents sont : les nouvelles technologies, une grande loyauté des clients et l'organisation.

✓ **Les barrières de sortie**

Les barrières de sortie pour notre branche d'activité peuvent être : l'équipement spécialisé difficile à vendre, des locations de longue durée accordées à des clients, des contrats de maintenance et les réglementations.

➤ **Marchés**

La concurrence se rapporte à des clients, et les clients créent des marchés.

✓ **La taille du marché**

Pendant la phase pilote du projet, la production de charbon vert a suscité de nombreuses manifestations d'intérêt. Ceci a conduit l'ONG Pro-Natura à conclure des accords de partenariat avec des organismes particulièrement concernés : SAED (encadrement des riziculteurs), ENDA SYSPRO (encadrement des maraîchers de Sébikotane), PSI/CORAF (lutte contre l'invasion de typha) et la Fédération des femmes productrices du Delta (FEPRODES) (commercialisation du charbon vert) [11].

Notre marché sera constitué principalement des ménagères au Sénégal et en Mauritanie (où le produit a été bien apprécié par les femmes, voir résultats du test à l'Annexe 2), mais également des pêcheurs de la côte. Le ministère de l'élevage et de la pêche, dans son programme pour un nouveau combustible pour les pêcheurs a estimé le besoin de ceux-ci pour fumer le poisson à 50 000 tonnes par an. Le charbon vert pourra aussi être vendu aux utilisateurs des fours pour l'électricité au niveau de Touba dont le besoin est important.

✓ **Choix du produit**

Les principaux produits offerts par les concurrents de notre marché sont le bois et le charbon de bois. L'utilisation exclusive de ces derniers comme combustible domestique présente de nombreux inconvénients majeurs :

- A mesure que la déforestation progresse, le fardeau des femmes et des enfants augmente : ils doivent parcourir une distance toujours plus grande pour s'approvisionner en bois et en autres produits forestiers. Cette charge supplémentaire diminue le temps qu'ils pourraient consacrer à d'autres tâches pourtant indispensables.
- Avec moins de combustible, la quantité et la qualité de la nourriture diminuent ;
- L'approvisionnement en combustible absorbe une part de plus en plus importante des revenus ;
- Enfin, les fumées dégagées sont nocives pour les yeux et les poumons. L'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) estime que 1,6 millions de femmes et d'enfants meurent prématurément à cause des fumées du bois [3].

Les avantages du charbon vert par rapport au bois et au charbon de bois sont :

- Il est fabriqué à base de déchets végétaux (biomasse) disponible en quantité. Au Sénégal et en Mauritanie, il ya plusieurs types de biomasse qui ont été testés. La balle de riz représente un problème d'encombrement pour les riziculteurs. La prolifération du typha dans les deux pays pollue l'environnement et cause des problèmes au niveau de l'élevage, de la pêche et de l'agriculture.
 - Au niveau de l'élevage, la prolifération du typha développe la reproduction des moustiques qui est un vrai danger pour le bétail.

- Au niveau de l'agriculture, l'envahissement des tuyaux d'irrigation par le typha, oblige la SAED à dépenser près de 100 millions de Fcfa avant chaque campagne pour libérer les tuyaux.

Au sud du Sénégal on peut considérer, la coque d'arachide qui cause un problème d'encombrement pour les entreprises qui exploitent l'arachide, les tiges de coton et la sciure de bois (présence de nombreuse fabrique de bois dans la zone) qui sont également des biomasses de bonne qualité.

Notons que la biomasse destinée à l'élevage pour le bétail, comme la paille de riz n'est pas utilisées comme matière première, bien qu'elles présentent des bonnes qualités pour la fabrication du charbon vert.

- Il ne dégage pas de la fumée pendant son utilisation, protège ainsi les utilisateurs contre les maladies cardio-vasculaires mais aussi l'environnement.
- Il coûte deux fois moins cher.

➤ Relations

La vie professionnelle est une question de connexions. Les connexions ne concernent pas seulement les gens que nous connaissons. Elles englobent ceux qui fournissent nos matières premières et qui distribuent notre produit ou proposent nos services.

✓ Les fournisseurs

Une manière évidente de se représenter les produits et les services est la façon dont ils sont constitués. Chaque société dépend de fournisseurs extérieurs à un certain stade du processus d'élaboration, pour les fournitures générales ou des matières premières.

Nos principaux fournisseurs seront les riziculteurs (pour la balle de riz) et les entreprises utilisant l'arachide comme matière première. Ces derniers n'ont pas le pouvoir de limiter notre accès à la matière première ou d'augmenter les prix, parce que la balle de riz et la coque d'arachide représentent des déchets encombrants pour eux. Mais nous pourrions forger des

alliances avec ces riziculteurs et ces producteurs ou engager des contrats à long terme avec eux.

Les autres sources d'approvisionnement en matières premières sont les maraîchers dans la ville de Sébikotane, les zones où le typha prolifère d'une manière inquiétante, et les zones de récolte du coton et du blé. Il y'a également la SOGAS (société de gestion des abattoirs du Sénégal) basée à Dakar, qui a un grand problème pour se débarrasser de l'herbe de paille des vaches. Or ces déchets ajoutés au typha ou à de l'eucalyptus représentent une très bonne matière première pour la fabrication du charbon vert.

✓ **Réalisation des ventes**

Quelque soit l'envie des clients pour un produit ou un service, ils ne peuvent l'acheter que s'ils le trouvent dans un magasin, sur un catalogue, sur internet ou devant leur porte.

Les canaux de distributions qui marcheraient le mieux dans notre branche d'activité sont les associations des femmes dans les villes et villages des régions, par exemple la FEPRODES qui a des filiales partout dans la région de Saint-Louis jusqu'au département de Matam. Parce que les femmes dans ces associations aiment bien partager leurs expériences nouvelles.

Les autres moyens de nous rapprocher de nos clients seront les grandes manifestations dans le pays (les cérémonies religieuses). Nous utiliserons aussi le circuit de distribution existant (les vendeurs de charbon de bois).

✓ **Finances**

Enfin, la réussite de la planification d'entreprise dépend d'une approche sensée des questions de gros sous. Nous allons évaluer les coûts de fonctionnement de l'unité de production de charbon vert avec la nouvelle machine (pyro-7). Nous déduirons ensuite le prix de revient d'un kilogramme de charbon, le seuil de rentabilité, la VAN (valeur actuelle net) au bout de 10 ans de fonctionnement et le taux de rendement externe (TRE) qui est le critère utilisé par la filiale SFI de la banque mondiale pour l'évaluation des projets.

Nous allons étudier plusieurs cas de figures. Dans le premier, le bio carbonisateur est fabriqué à l'étranger puis livré au Sénégal avec l'utilisation comme matières premières de la balle de riz, de la coque d'arachide ou du typha, et dans le second le bio carbonisateur est fabriqué sur place par la SISMAR avec l'utilisation comme matières premières de la balle de riz, de la coque d'arachide ou du typha. Notons que dans les deux cas la machine est livrée avec tous les accessoires nécessaires et la formation du personnel est également prise en compte par le fabricant.

- **Carbonisateur fabriqué à l'étranger avec comme matière première la balle de riz ou la coque d'arachide.**

- **Investissement :**
 - Carbonisateur : 163 575 000 Fcfa amortissable en 10 ans

 - Presse hydraulique pour l'agglomération : 3 000 000 Fcfa amortissable en 10 ans

 - On admet l'hypothèse que les locaux qui ont abrité le pyro-5 sont utilisés gratuitement

- **Capacité de production**
 - La machine fonctionnera 16 heures par jour, et six jours par semaine avec un arrêt mensuel de six heures pour l'entretien. On a donc un temps de production annuelle de :
$$(16 \times 6 \times 4 - 6) \times 12 = 4536 \text{ heures}$$

 - La machine produit 1100 tonnes par an pour huit heures de production par jour, soit 2200 tonnes par an pour seize (16) heures de production par jour.

- **Les charges**
 - Personnel

L'unité de production fonctionnera en deux quarts (8h – 16h ; 16h – 24h). Pour chaque quart il faudra 2 opérateurs. Il y aura aussi un superviseur et un gardien. La décision est prise par le promoteur de s'octroyer les services d'un GIE (Groupement d'Intérêt Economique); Ce qui lui évitera de payer les charges sociales du personnel.

On a donc les coûts de la main d'œuvre repartis comme suit :

- Un superviseur : 150 000 Fcfa / mois
- Quatre opérateurs par jour : $4 \times 60000 = 240000$ Fcfa / mois
- Un gardien : 40 000 Fcfa / mois
- Coût de maintenance : 1 635 750 Fcfa / an ou 1 179 000 Fcfa (selon les cas)
- Coût de l'énergie consommée
 - Electricité :

$$0,75 \frac{kw}{h} \times 4536 \frac{h}{an} \times 89,37 \frac{Fcfa}{kw} = 304036,74 Fcfa / an$$
 - Eau :

$$0,8 \frac{m^3}{h} \times 4536 \frac{h}{an} \times 788,67 \frac{Fcfa}{m^3} = 2861925,7 Fcfa / an$$
- Coût de l'emballage : 5 Fcfa / kg
- Frais diverses d'usinage : 1 Fcfa / kg
- Charges diverses de fonctionnement : 2 Fcfa / kg
- Valorisation de la balle de riz ou de la coque d'arachide : 5 Fcfa / kg

On en déduit donc les charges totales annuelles de l'unité de production:

NB : Les coûts sont en Fcfa

Amortissement du carbonisateur	16 357 500
Amortissement de la presse hydraulique	300 000
Main d'œuvre	5 160 000
Maintenance	1 635 750
Énergie	3 165 962
Emballage	11 000 000
Frais d'usinage	2 200 000
Charges diverses de fonctionnement	4 400 000
Valorisation de la balle de riz ou de la coque d'arachide	11 000 000
Total	55 219 212

Tableau 8: Charges totales annuelles si le carbonisateur est fabriqué à l'étranger

On en déduit donc le prix de revient d'un kilogramme de charbon vert si la machine est fabriquée à l'étranger.

$$PV = \frac{55\,219\,212 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 25,0 \text{ Fcfa / kg}$$

En admettant une marge bénéficiaire au niveau de l'industrie de **35 Fcfa par kilogramme**, le prix de vente du charbon vert sorti d'usine sera de **60 Fcfa / kg**.

Pour une marge des intermédiaires estimée à **30 Fcfa par kg**, le prix de charbon vert sera très compétitif sur le marché s'il est vendu à **90 Fcfa le kilogramme**.

- **Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR avec comme matière première la balle de riz ou la coque d'arachide.**

Tout ce qui change dans ce cas c'est le coût du carbonisateur. Il vaut 117 900 000 Fcfa. Le total des charges annuelles dans ce cas est de :

NB : Les coûts sont en Fcfa

Amortissement du carbonisateur	11 790 000
Amortissement de la presse hydraulique	300 000
Main d'œuvre	5 160 000
Maintenance	1 179 000
Énergie	3 165 962
Emballage	11 000 000
Frais d'usinage	2 200 000
Charges diverses de fonctionnement	4 400 000
Valorisation de la balle de riz ou de la coque d'arachide	11 000 000
Total	50 194 962

Tableau 9: Charges totales annuelles si le carbonisateur est fabriqué au Sénégal

Le prix de revient du kilogramme de charbon vert dans ce cas est de :

$$PV = \frac{50\,194\,962 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 22.81 \text{ Fcfa / kg arrondi à } 23 \text{ Fcfa / kg}$$

On remarque donc, qu'au prix de **90 Fcfa** le kilogramme dans le marché, et pour une marge des intermédiaires estimée à **30 Fcfa** par kg, on a une augmentation de **2 Fcfa par kg** sur la marge bénéficiaire de l'industriel, par rapport au cas précédent.

▪ **Carbonisateur fabriqué à l'étranger avec comme matière première le typha.**

Dans ce cas, seul le coût de la matière première change. A cause des frais liés à la coupe et au transport, le typha est acheté à 10 Fcfa le kilogramme. Nous déduisons donc :

- le coût annuel de la valorisation du typha : 22 000 000 Fcfa.
- Les charges totales annuelles dans ce cas : 66 219 212 Fcfa
- Le prix de revient du kilogramme de charbon vert dans ce cas :

$$PV = \frac{66\,219\,212 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 30,00 \text{ Fcfa / kg}$$

En admettant une marge bénéficiaire au niveau de l'industrie de **35 Fcfa par kilogramme**, le prix de vente du charbon vert sorti d'usine sera de **65 Fcfa / kg**.

Pour une marge des intermédiaires estimée à **30 Fcfa par kg**, le prix de charbon vert reste très compétitif sur le marché s'il est vendu à **95 Fcfa le kilogramme**.

- **Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR avec comme matière première le typha.**

Seul le coût du carbonisateur change par rapport au cas précédent. Nous déduisons donc :

- Les charges totales annuelles dans ce cas : 61 194 962 Fcfa
- Le prix de revient du kilogramme de charbon vert dans ce cas :

$$PV = \frac{61\,194\,962 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 27,8 \text{ Fcfa / kg arrondi à } 28 \text{ Fcfa / kg}$$

On remarque également, qu'au prix de **90 Fcfa** le kilogramme dans le marché, et pour une marge des intermédiaires estimée à **30 Fcfa** par kg, on a une augmentation de **2 Fcfa par kg** sur la marge bénéficiaire de l'industriel, par rapport au cas précédent.

- **Calcul du seuil de rentabilité (Q_{opt}) dans les différents cas.**

C'est la quantité à produire pour que les recettes engendrées par le projet couvrent exactement les coûts encourus [14].

$$Q_{opt} = \frac{CF}{P - CV}$$

$\left\{ \begin{array}{l} CF : \text{coûts fixes} \\ CV : \text{coûts variables} \\ P : \text{prix de vente} \end{array} \right.$

- **1^{er} cas : Carbonisateur fabriqué à l'étranger (matière première : balle de riz ou coque d'arachide)**

$$CF : \{ \text{Ammortissement} : 16\,357\,500 \text{ Fcfa} + 300\,000 \text{ Fcfa} \Rightarrow CF = 16\,657\,500 \text{ Fcfa}$$

P : 65 Fcfa (prix de vente par l'industriel)

$$CV : \left\{ \begin{array}{l} \text{Matières premières} : 5 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Energie} : \frac{3\,165\,962 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 1,44 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Emballage} : 5 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Fonctionnement} : 2 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Usinage} : 1 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Maintenance} : \frac{1\,635\,750 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 0,74 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Salaire} : \frac{5\,160\,000 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 2,345 \text{ Fcfa / kg} \end{array} \right. \Rightarrow CV = 17,52 \text{ Fcfa / kg}$$

$$Q_{\text{opt}} = \frac{16\,657\,500}{65 - 17,52} = 350\,872,23 \text{ kg}$$

On a $Q_{\text{opt}} = 351$ tonnes ce qui représente la quantité à partir de laquelle la production est rentable.

- **2^e cas : Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR (matière première : balle de riz ou coque d'arachide)**

$$CF : \{ \text{Ammortissement} : 11\,790\,000 \text{ Fcfa} + 300\,000 \text{ Fcfa} \Rightarrow CF = 12\,090\,000 \text{ Fcfa}$$

P : 65 Fcfa (prix de vente par l'industriel)

$$CV : 17,52 - 0,74 + \frac{1179\,000 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 17,31 \text{ Fcfa / kg}$$

$$Q_{\text{opt}} = \frac{12\,090\,000}{65 - 17,31} = 253\,543,682 \text{ kg}$$

On a $Q_{\text{opt}} = 254$ tonnes ce qui représente la quantité à partir de laquelle la production est rentable.

- 3° cas : Carbonisateur fabriqué à l'étranger (matière première : typha)

$$CF : \{ \text{Ammortissement} : 16\,357\,500 \text{ Fcfa} + 300\,000 \text{ Fcfa} \Rightarrow CF = 16\,657\,500 \text{ Fcfa}$$

P : 65 Fcfa (prix de vente par l'industriel)

$$CV : \left\{ \begin{array}{l} \text{Matières premières} : 10 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Energie} : \frac{3\,165\,962}{2\,200\,000} = 1,44 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Emballage} : 5 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Fonctionnement} : 2 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Usinage} : 1 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Maintenance} : 0,74 \text{ Fcfa / kg} \\ \text{Salaire} : \frac{5\,160\,000 \text{ Fcfa}}{2\,200\,000 \text{ kg}} = 2,345 \text{ Fcfa / kg} \end{array} \right. \Rightarrow CV = 22,52 \text{ Fcfa / kg}$$

$$Q_{\text{opt}} = \frac{16\,657\,500}{65 - 22,52} = 392\,125,71 \text{ kg}$$

On a $Q_{\text{opt}} = 393$ tonnes

- 4° cas : Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR (matière première : typha)

$$CF : \{ \text{Ammortissement} : 11\,790\,000 \text{ Fcfa} + 300\,000 \text{ Fcfa} \Rightarrow CF = 12\,090\,000 \text{ Fcfa}$$

$$CV : 22,52 - 0,74 + \frac{1179\ 000\ \text{Fcfa}}{2\ 200\ 000\ \text{kg}} = 22,32\ \text{Fcfa / kg}$$

P : 65 Fcfa / kg

$$Q_{\text{opt}} = \frac{12\ 090\ 000}{65 - 22,32} = 283\ 270,85\ \text{kg} \quad \text{On a } Q_{\text{opt}} = 384\ \text{tonnes}$$

▪ **Calcul de la valeur actuelle net (VAN) [14] .**

$$VAN = -I + \sum \text{Entrées nettes } (P_0/A, i\%, n) - \sum \text{Sorties nettes } (P_0/A, i\%, n)$$

Nous prenons $i = 12\%$, qui est le taux d'actualisation, avec un taux d'imposition de 25%.

NB : Tous les coûts sont Fcfa

○ **1^{er} cas : Carbonisateur fabriqué à l'étranger**

- Investissement (I) : 166 575 000 Fcfa

- Somme des recettes annuelles nettes par l'industriel :

$$2200\ 000 \times 35\ \text{Fcfa} \times (1 - 25\%) = 57\ 750\ 000\ \text{Fcfa}$$

- \sum VA recettes nettes : on a $(P_0 / A, i\%, n) = \left[\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \right]$ donc

$$\sum \text{VA recettes nettes} = 57\ 750\ 000\ \text{Fcfa} \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 326\ 300\ 380\ \text{Fcfa}$$

- Economie d'impôts liée à l'amortissement : $\frac{166\ 575\ 000}{10} \times 25\% = 4\ 164\ 375$

$$\text{VA EI (A)} = 4\ 164\ 375\ \text{Fcfa} \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 23\ 529\ 648\ \text{Fcfa}$$

On a donc :

$$\sum \text{Entrées nettes} = 326\,300\,380 \text{ Fcfa} + 23\,529\,648 \text{ Fcfa} = 349\,830\,028 \text{ Fcfa}$$

- Dépense de fonctionnement nette :

$$38\,561\,712 \text{ Fcfa} \times (1 - 25\%) = 28\,921\,284 \text{ Fcfa}$$

$$\text{VA Dépense de fonctionnement nette} = 28\,921\,284 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 163\,411\,705 \text{ Fcfa}$$

$$\text{On a donc VAN} = 349\,830\,028 - (163\,411\,705 + 166\,575\,000) = 19\,843\,323 \text{ Fcfa}$$

Ce critère d'évaluation nous montre également la rentabilité du projet.

○ **2^e cas : Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR**

- Investissement (I) : 120 900 000 Fcfa
- Somme des recettes annuelles nettes par l'industriel :

$$2200\,000 \times 35 \times (1 - 25\%) = 57\,750\,000 \text{ Fcfa}$$

- \sum VA recettes nettes : on a $(P_0 / A, i\%, n) = \left[\frac{1 - (1 + i)^{-n}}{i} \right]$ donc

$$\sum \text{VA recettes nettes} = 57\,750\,000 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 326\,300\,380 \text{ Fcfa}$$

- Economie d'impôts liée à l'amortissement : $\frac{120\,900\,000}{10} \times 25\% = 3022500 \text{ Fcfa}$

$$\text{VA EI (A)} = 3\,022\,500 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 17\,077\,799,1 \text{ Fcfa}$$

$$\text{On a donc } \sum \text{Entrées nettes} = 326\,300\,380 + 17\,077\,799,1 = 343\,378\,179 \text{ Fcfa}$$

- Dépense de fonctionnement nette :

$$38\,104\,962 \times (1 - 25\%) = 28\,578\,722 \text{ Fcfa}$$

$$\text{VA Dépense de fonctionnement nette} = 28\,578\,722 \times \left[\frac{1 - (1 + 0,12)^{-10}}{0,12} \right] = 161\,476\,153 \text{ Fcfa}$$

$$\text{On a donc VAN} = 343\,378\,179 - (161\,476\,153 + 120\,900\,000) = 61\,002\,026 \text{ Fcfa}$$

Ce critère d'évaluation nous montre également la rentabilité du projet.

- **Calcul du taux de rendement interne (TRE) [14].**

Comme dans les cas précédents, nous allons faire les calculs dans le cas où le carbonisateur est fabriqué à l'étranger et dans cas où il est fabriqué sur place au Sénégal.

$$\text{TRE} = \left(\frac{I}{\sum \text{VT CF}} \right)^{-1/n} - 1 \quad \text{VT CF : Valeur terminale de cash flow}$$

- **1^{er} cas : Carbonisateur fabriqué à l'étranger**

	Recettes	Dépense de fonct	Amortis- sement	Bénéfice imposable	Impôt 25%	Bénéfice net	Amortis- sement	Cash Flow	VT Cash flow
an 1	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	91,50
an 2	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	81,69
an 3	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	72,94
an 4	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	65,13
an 5	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	58,15
an 6	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	51,92
an 7	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	46,35
an 8	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	41,39
an 9	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	36,95
an 10	77	38,56	16,66	21,78	5,45	16,34	16,66	32,99	32,99
								Total	579,01
								TRE	0,13

NB : les coûts sont en millions de francs

On a un taux de rendement externe de 13 % inférieur à 15 %, donc le projet n'est pas rentable dans ce cas si c'est ce critère qui est pris en compte.

○ **2^e cas : Carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR**

	Recettes	Dépense de fonct	Amortissement	Bénéfice imposable	Impôt 25%	Bénéfice net	Amortissement	Cash Flow	VT Cash flow
an 1	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	89,29
an 2	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	79,72
an 3	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	71,18
an 4	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	63,55
an 5	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	56,74
an 6	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	50,66
an 7	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	45,24
an 8	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	40,39
an 9	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	36,06
an 10	77	38,10	12,09	26,81	6,70	20,11	12,09	32,20	32,20
								Total	565,03
								TRE	0,17

NB : les coûts sont en millions de francs

On a un taux de rendement externe de 17% supérieure à 15%, donc le projet est rentable dans ce cas.

➤ **Identification des facteurs critiques de succès**

Une fois l'analyse de notre branche d'activité élaborée, et sachant les forces qui s'y exercent : la structure de base de la branche ; nos marchés centraux ; les relations avec les fournisseurs, les clients et les distributeurs ; les coûts ; ainsi que les tendances propres à la branche, il nous faut maintenant interpréter le paysage global de notre secteur pour améliorer la planification de notre activité.

Lorsqu'on planifie pour l'avenir, il est important de déterminer si nos capacités et ressources représentent pour notre société des atouts que nous pouvons exploiter, ou des faiblesses auxquelles nous devons remédier. A cet effet, nous devons tirer au clair de façon précise ce qui a de l'importance dans notre branche d'activité et sur notre marché. Les facteurs critiques

de succès sont ces capacités et ces ressources qui doivent absolument être en place pour que la société puisse réussir à terme.

Les facteurs que nous pensons être des facteurs critiques de succès pour l'unité de production de charbon vert sont :

- ✓ La technologie
- ✓ La fabrication : Coûts de production bas et possibilité de se battre sur les prix
- ✓ L'emplacement : Implantation des unités de productions dans les grandes villes et dans les villages.
- ✓ Distribution : Association avec les groupes et fédérations des femmes pour la vente et le marketing.

3-4- Etude de marché

Dans cette partie, nous regarderons de plus près les raisons pour lesquelles les clients achèteront le charbon vert, en explorant leurs besoins et leurs motivations. Et nous chercherons la manière dont ils font des choix sur le marché, en examinant leurs perceptions et leurs processus de décision.

Nous allons mesurer et décrire nos clients potentiels de plusieurs manières en :

- ✓ Déterminant où ils se trouvent, en les classant selon les pays, les régions, les villes ou les quartiers
- ✓ Recherchant qui ils sont, y compris par la connaissance de leur âge, leur sexe, leur profession et leur revenu.
- ✓ Apprenant davantage sur leur manière de vivre.

➤ Comprendre les besoins et déterminer les motivations

Pourquoi les gens achètent-ils des choses, après tout ? Les psychologues nous disent que la satisfaction de besoins est à la base de tout comportement de consommateur (voir figure ci-dessus). Tout le monde a des besoins et des désirs. Lorsqu'un besoin est découvert, il crée la motivation qui pilote l'activité humaine.

Les motivations sont des besoins qui ont été éveillés et activés pour ainsi dire. Les motivations lancent des gens en tous sens sur le marché, à la recherche de produits susceptibles de satisfaire un besoin particulier. Les motivations ne sont pas toujours ce qu'elles semblent être.



Figure 13: *Hiérarchie des besoins [13].*

Les tests de consommations faites auprès des ménagères de Ross-Béthio par le Centre d'Expansion Rural de cette région révèlent les motivations qu'ont les clients à acheter le charbon vert. Notamment :

- Le combustible s'insère tout naturellement dans les habitudes culinaires des familles à revenu moyen et faible
- Une qualité de cuisson plus rapide et constante que le charbon de bois. Les résidus de braise restant plus longtemps incandescent par rapport au charbon de bois, permettant une utilisation complémentaire (Thé, repassage, encens).

- L'utilisation du charbon vert à la place du charbon de bois représente une économie quantitative de 40 % pour la cuisson d'une même quantité de riz au déjeuner.

La réunion tenue sur le site du Pôle Intégré de Développement (PID) à OUM EL Ghoura dans la Moughatta d'El Mina à Nouakchott en Mauritanie, consacrée à l'expérimentation du charbon vert au sein de la population mauritanienne, révèle aussi les motivations des femmes de cette région à acheter le charbon vert. Notamment :

- Prix : moins cher par rapport au charbon de bois
- Durabilité : dure plus longtemps
- Quantité consommée : moins que le charbon de bois pour une même quantité de cuisson.

➤ **Les cinq étapes de l'adoption**

Comme les gourous américains du marketing, nous allons nous référer au processus de décision par les initiales DMP (decision-making process) qui confèrent une allure plus officielle. Sur de nombreux marchés, le DMP comporte une série d'étapes bien définies constituant le processus d'adoption par les consommateurs.

En comparant les étapes par lesquelles devront souvent passer les consommateurs, nous pourrons plus facilement tirer parti des comportements des clients et élaborer des stratégies qui les aideront à aller jusqu'au bout du processus d'adoption. Ce processus comporte cinq étapes principales, décrites dans le tableau ci-dessus.

Etapes principales	Description du consommateur	Ce que nous devons faire
Reconnaissance	Conscient de l'existence du produit, mais n'ayant pas une connaissance détaillée	Elaborer une stratégie pour éduquer les clients potentiels et éveiller leur intérêt
Intérêt	Curieux à cause de la publicité et recherchant davantage d'informations	Fournir des informations plus détaillées sur le produit et continuer à augmenter l'intérêt.
Evaluation	Envisage de tester le produit	Rendre le processus d'évaluation du produit aussi facile et avantageux que possible
Essai	Utilise le produit à titre de test	Rendre l'essai aussi simple et dépourvu de risques que possible
Adoption	Décide de devenir un utilisateur régulier	Elaborer des stratégies pour conserver les bons clients.

Tableau 10: Les cinq étapes du processus d'adoption par les consommateurs [13]

➤ Définition des segments de marché

Un segment de marché est un groupe de clients ayant en commun des besoins et des désirs spécifiques. Bien défini, il nous permettra de satisfaire les besoins et les désirs particuliers d'un groupe entier de clients.

Quoi qu'en disent les gourous du marketing, il n'ya pas de bonnes ou de mauvaises façons de diviser le marché. Nous allons voir nos clients sous différents angles et les décrire selon plusieurs facteurs. Une seule dimension ne suffira pas. Comme le montre la figure..., nous pouvons parvenir à créer des segments de marché en nous posant trois questions fondamentales :

- ✓ Qui achète ?
- ✓ Qu'est ce qu'on achète ?

✓ Pourquoi achète-t-on ?

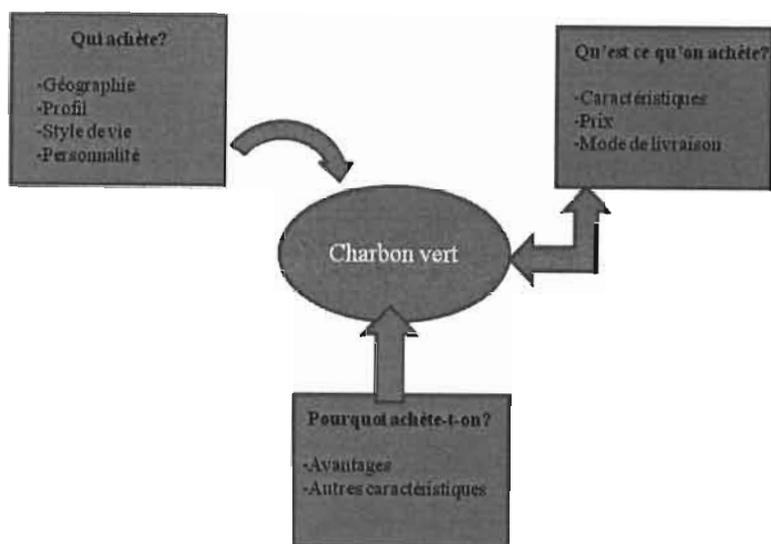


Figure 14: Segment de marché en un clin d'œil [13].

La manière vraisemblablement la plus simple et la plus couramment utilisée pour décrire les clients est celle basée sur l'endroit où ils se trouvent.

Nos clients potentiels se trouvent sur l'étendue du territoire national surtout en milieu rural et dans les pays limitrophes, notamment en Mauritanie et au Mali.

La description de ceux qui achèteront le charbon vert est un point très important.

Le charbon vert peut être utilisé par toutes les couches de la société, les adolescents, les hommes, les femmes riches ou pauvres.

Les questions sans doute les plus importantes qu'on peut se poser au sujet des clients concernent les raisons pour lesquelles ils achèteront le charbon vert. A cela nous pouvons répondre ceci, les clients achèteront le charbon vert pour plusieurs raisons :

- **Son prix** : il coûtera deux fois moins cher que le charbon de bois
- **Sa qualité** : il ne fume pas, assure une cuisson plus rapide.

- **Sa nécessité** : compte tenu de la subvention que l'Etat est entrain d'enlever au fur et à mesure sur le gaz, et la présence des agents des eaux et forêts dans les régions pour lutter contre la déforestation et l'avancée du désert, les populations auront besoin d'un autre combustible pour leur besoins quotidiens.
- **Sa disponibilité** : il sera vendu sur le marché public. Les femmes n'auront plus à faire des dizaines de kilomètres chaque jour pour aller chercher de quoi cuire les aliments.

Un exemple : Auparavant pour trouver du bois, à Ross-Béthio il fallait faire 500 mètres à 1 kilomètre maximum. Maintenant il faut faire des dizaines de kilomètres. Et la présence des agents des Eaux et Forêts dans la région rend encore la tâche très difficile. Les ménagères pour cuire les aliments utilisent les excréments des vaches, mais les peuls étant de grands nomades, cette ressource vient souvent à manquer.

3-5- Description de l'unité de production

La description de l'unité de production fournit plus de détails sur ce qu'offre la société. La description va inclure des informations sur le management, l'organisation, le produit, le fonctionnement de la société et sur le potentiel commercial.

En particulier, nous examinerons soigneusement et objectivement la liste des capacités et des ressources de notre unité de production. Nous distinguerons les capacités qui représentent des atouts et celles qui comportent des faiblesses.

Nous examinerons la situation de l'unité de production de charbon vert au moyen d'une approche dont l'efficacité est largement démontrée, appelée SWOT. SWOT est un acronyme pour Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats (Atouts, Faiblesses, Opportunités et Menaces).

Notre situation dépendra non seulement de nos propres capacités et de nos propres ressources, mais aussi des opportunités et des menaces qui surgiront indépendamment de notre pouvoir. Selon les situations auxquelles nous seront confrontés, des opportunités et des menaces

apparaîtront, disparaîtront et se modifieront en permanence, et les atouts et les faiblesses de l'entreprise changeront en même temps.

C'est pourquoi après le démarrage de l'usine de production de charbon vert, une analyse SWOT complète devra être faite à des intervalles réguliers, fixés en fonction de la vitesse à laquelle évoluent l'environnement de l'entreprise, notre branche d'activité et l'unité de production.

Une analyse du type SWOT, nous permet de construire un bilan stratégique pour notre société. Dans cette analyse, on rassemble tous les facteurs internes, comprenant les atouts et les faiblesses de la société. On mesure ensuite ces facteurs à celles des forces extérieures que l'on aura identifiées, comme les opportunités qui surgissent ou des menaces qui planent sur la société. La manière dont ces facteurs se combinent détermine ce que devra faire la société et à quel moment elle devra le faire.

Le changement est la seule constante dans l'entreprise, la branche d'activité et sur le marché. Du fait de ce changement constant, nous ne pourrions pas nous contenter de faire notre analyse SWOT une fois seulement ; Nous devons réviser la grille régulièrement à mesure que l'unité de production grandit et que son environnement évolue. Et considérer l'analyse SWOT comme un processus continu.

ANALYSE SWOT

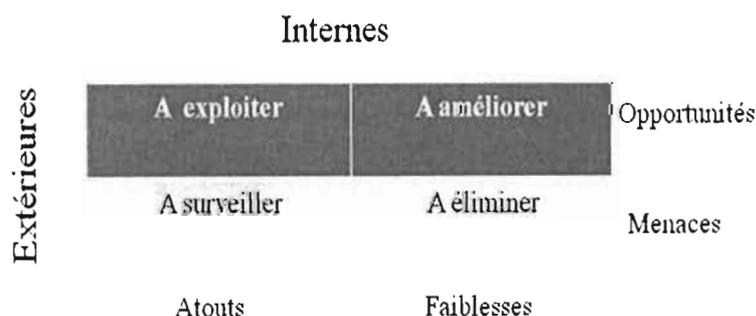


Figure 15: La grille SWOT [13]

3-6- Stratégie de l'unité de production

Dans cette section, nous allons prendre le temps de spécifier nos stratégies fondamentales relatives aux principaux aspects de notre activité qui sont notre branche d'activité et nos marchés. Nous allons expliquer pourquoi cette stratégie est la bonne, compte tenu de notre situation particulière. Nous allons décrire la façon dont cette stratégie deviendra payante dans l'avenir. Enfin, nous allons préciser particulièrement ce que notre société devra faire pour que la stratégie réussisse.

Des événements et des forces qui échappent à notre contrôle changent continuellement le contexte professionnel autour de nous. Nous ne pouvons pas ajuster les lois de la physique ni celles de la nature humaine, mais nous devons noter les changements à mesure qu'ils se produisent.

Bien que des milliers de facteurs puissent influencer l'environnement d'une société, nous pouvons simplifier les choses en examinant deux des points qui sont présentés sur la figure.

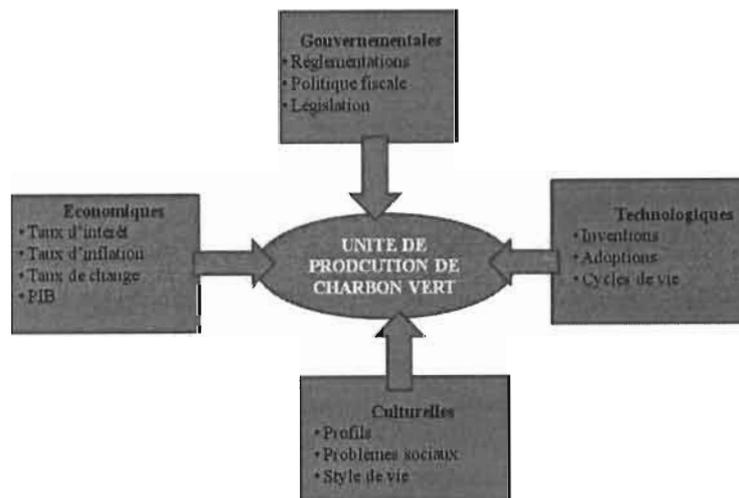


Figure 16: Tendances en un coup d'œil [13].

➤ Tendances économiques au Sénégal

D'après le guide pratique des affaires au Sénégal, le taux de croissance du PIB (produit intérieur brut) en 2006 était de + 3,6 %. Et la prévision de croissance du PIB pour 2007 est de + 5,8 %.

Le Sénégal est le pays où la moyenne mensuelle des taux d'intérêt est la plus faible. Elle s'établit à 8.45%, devant celle du Bénin (9.47%), du Niger (10.00%), du Togo (10.23%), de la Côte d'Ivoire (10.30%), du Burkina (10.93%), et du Mali (11.14%). La moyenne mensuelle du Sénégal est donc bien en dessous de celle de l'UMOA (10.07%). De la même manière, l'écart entre les taux d'intérêt des différentes banques du Sénégal est l'un des plus petits de l'UMOA. Le taux minimum est de 8%, et le taux maximum de 9.5%, soit un écart de 1.5 points.

Quant au taux d'inflation, il était de + 2,1 % en 2006. Et le taux de change est de 2 % dans toutes les structures financières du pays.

Tous ces critères cités ci-dessus sont des atouts favorables à l'implantation d'une unité production prometteuse.

➤ **Tendances technologiques**

La première technologie expérimentée dans notre branche d'activité est le bio-carbonisateur pyro-5. Au bout de trois ans, une nouvelle technologie (Pyro-7) a été développée pour résoudre les problèmes que le pyro-5 ne satisfaisait pas, et améliorer les conditions d'utilisations.

Pour nous préparer à des changements possibles de technologies et à leurs effets potentiels sur notre branche d'activité, nous devons faire les choses suivantes :

- ✓ Etre en relation avec les laboratoires de recherche spécialisés sur les bio-carbonisateurs. Et déterminer les périodiques techniques ou autres publications qui les traitent et font le point sur eux.
- ✓ Se renseigner sur les institutions universitaires, privées ou gouvernementales concernées par les énergies renouvelables et le bio-carbonisateur.
- ✓ Assister aux conventions ou réunions importante sur le bio-carbonisateur.

- ✓ A intervalles réguliers, examiner la probabilité d'une avancée majeure de la technologie, et voir où en sont les petites améliorations faites pas à pas dans la technologie (carbonisation en continu).

La prise en compte du changement nécessite l'examen des tendances dans de nombreux domaines. C'est pourquoi dans la gestion de l'unité de production de charbon vert, nous ne devons pas oublier ceci :

- ✓ Dans un marché concurrentiel, si nous ignorons le changement, nous perdrons.
- ✓ Les quatre principales dimensions du changement sont les évolutions économiques, technologiques, gouvernementales et culturelles.
- ✓ Pour suivre les évolutions économiques, nous devons suivre le PIB, les taux d'intérêt, les taux d'inflation et les taux de change.
- ✓ Les changements d'orientation d'un gouvernement en matière de réglementation, d'imposition ou de dépenses peuvent engendrer des ondes de choc transformant des branches d'activités entières.
- ✓ Les évolutions culturelles sont comme les glaciers (elles avancent lentement mais sont assez puissantes pour nous écraser si nous n'en tenons pas compte).

➤ **Voir venir le changement**

A l'évidence, il est déjà difficile de noter tout ce qui se passe autour de soi ; ça l'est encore plus de deviner ce qui va se passer dans l'avenir. Cependant, il ne s'agit pas de prédire l'avenir, mais de mieux comprendre ce qui peut arriver, pour être mieux préparé.

Dans ce but, nous devons :

- ✓ Déterminer parmi les nombreuses tendances (économiques, technologiques, gouvernementales et culturelles) celles qui prévaudront pour enrichir les entreprises de demain.

- ✓ Consulter les professionnels pour avoir leur avis.

Nous pourrions utiliser plusieurs astuces du métier pour scruter l'avenir, et voir si une évolution particulière a des chances de continuer. Ces astuces sont :

- **L'extrapolation** : Ce processus marche particulièrement bien pour les tendances qui ne se modifient pas rapidement et peuvent facilement être représentées par des nombres. Certaines mesures économiques, des profils de clients, et même quelques tendances technologiques sont des candidats possibles pour l'extrapolation.
- **Prévision basée sur le jugement** : Elle s'appuie sur l'information, l'expérience, et les impressions des gens qui sont dans et autour de notre société pour prédire des évolutions spécifiques.
- **Etude Delphi** : C'est un ensemble de questionnaires que nous devons rassembler pour adresser à un groupe d'experts lorsque nous aurons une question particulière sur l'avenir. C'est en réalité une manière de faire appel aux sommités sans avoir à les réunir dans une même pièce.

Parfois, les tendances sont trop imprévisibles ou trop nombreuses pour qu'on puisse les suivre, de sorte que nous ne pourrions pas envisager une vue unique du futur qui nous paraisse plausible. Dans ce cas, la planification par scénarios nous permettra d'imaginer plusieurs versions complètes de l'avenir et d'examiner la façon dont chaque version pourrait affecter la fortune de notre société. Cette planification n'est pas censée prédire l'avenir ; sa véritable valeur réside dans les nouvelles options et la gamme de possibilités auxquelles elle nous donnera l'opportunité de réfléchir.

Dans cette optique, nous ne devons pas oublier que :

- Des plans efficaces n'ont pas à prédire l'avenir, mais ils doivent envisager les changements.

- Une façon de prédire les évolutions consiste à utiliser des chiffres et des procédés mathématiques tels que l'extrapolation.
- Nous pourrions nous tourner vers les gens astucieux qui nous entourent pour obtenir, à partir d'un brainstorming, un jugement sur ce que réserve l'avenir.
- Lorsque nous serons confrontés à de trop nombreuses incertitudes, essayer plusieurs scénarios : Optimiste, pessimiste et le plus probable.

Après avoir placé les tendances et les scénarios dans les catégories de probabilité/ incidence, nous pourrions voir par où commencer. Nous pourrions nous préparer aux changements, allouer le temps et les ressources, et nous organiser en vue d'évènements éventuels sur la base d'une combinaison pratique des probabilités et des effets potentiels sur notre société.

3-7- Démarche d'investissement dans les conditions de réalisation d'une unité de production par investisseur

Nous allons utiliser uniquement le cas où le projet est rentable suivant les trois critères de rentabilité utilisés, c'est-à-dire lorsque le bio carbonisateur fabriqué sur place par la SISMAR.

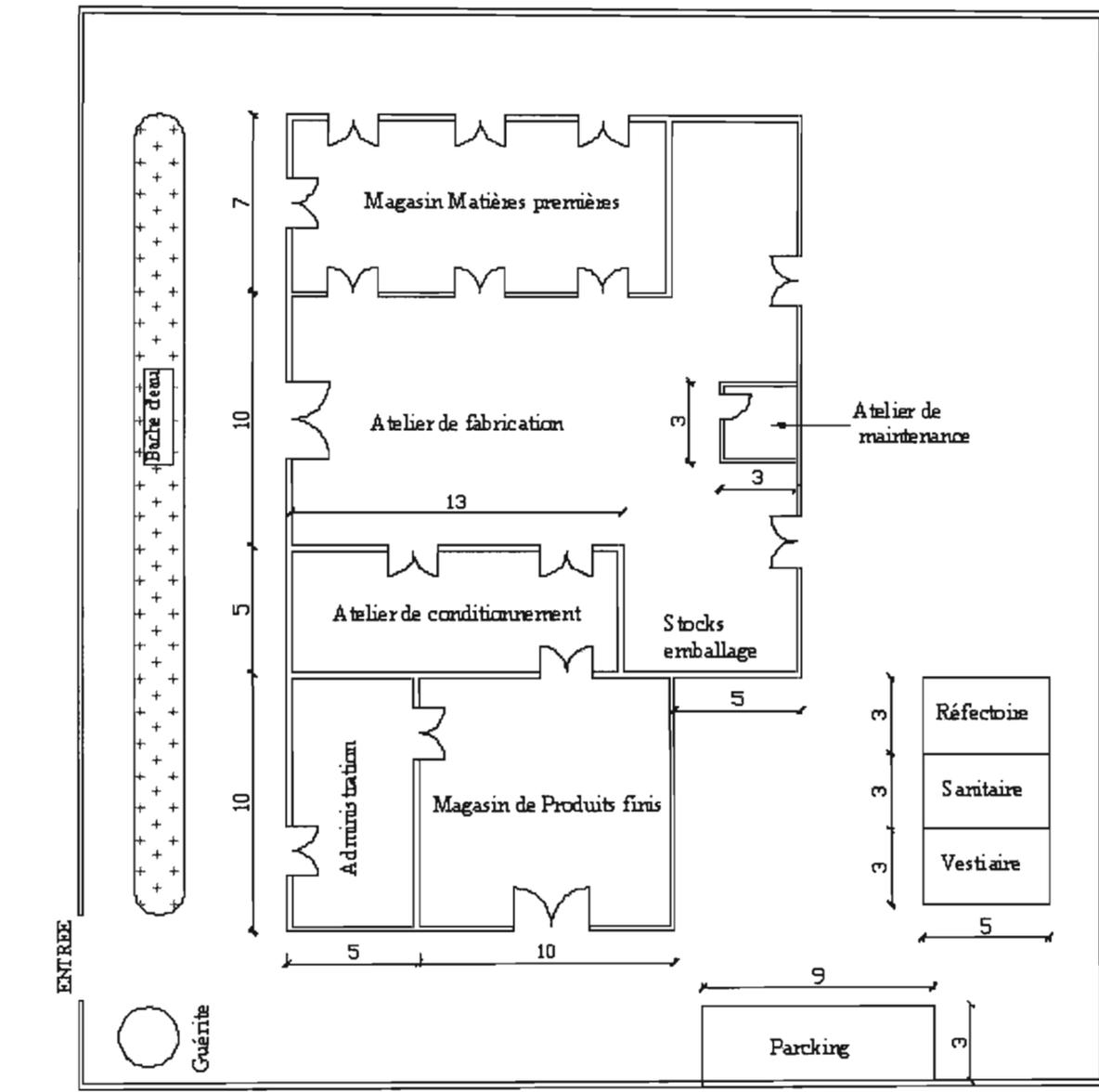


Figure 17 : Plan de masse de l'unité de production de charbon vert.

D'après les données de l'institut Sénégalaise de Normalisation on a les coûts de réalisation suivants :

- Bâtiment industriel : 120 000 Fcfa / m²
- Voirie (bitumée) : 17 500 Fcfa / m²

COÛTS DE GENIE CIVIL

	Superficie (m ²)	coûts unitaire (KF)	Coûts total (KF)
Administration	50	120	6000
Magasin Produit Finis	100	120	12000
Atelier de Conditionnement	65	120	7800
Magasin Matière Première	105	120	12600
Locaux sociaux	45	120	5400
Atelier maintenance	9	120	1080
Parking	27	120	3240
Atelier Fabrication + Stock emballage	111	120	13320
Guérite	7	120	840
Total	519		62280
Voirie	715	17,5	12512,5
Total			74792,5
		Réseau divers (5%)	3739,63
		Total	78532,13
		Majoration (10%)	7853,21
		Total net	86385,34

Tableau 11 : Coûts de génie civil

BESOINS EN FINANCEMENT

Etudes	10 000 KF
Investissement corporel (équipements + génie civil)	207285,34 KF
Coûts de promotion (publicité)	2950 KF

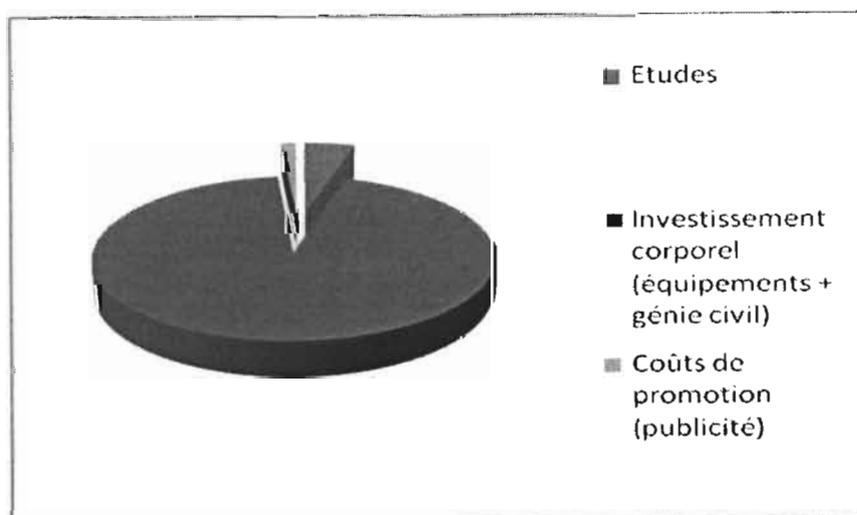
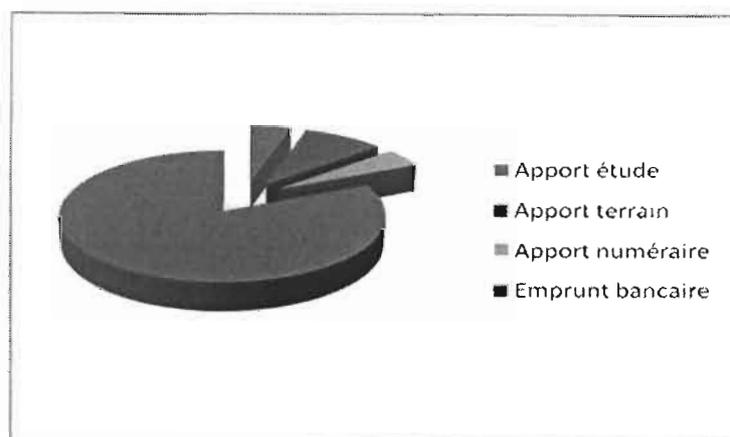


Figure 18 : Besoin en financement**FINANCEMENT**

Apport étude	10 000 KF
Apport terrain	20 000 KF
Apport numéraire	10 000 KF
Emprunt bancaire	180 235 KF

**Figure 19 : Financement****TABLEAU DE REMBOURSEMENT**

Montant emprunt	180 235 KF
Taux d'intérêt annuel	12%
nombre d'annuités	5
nombre de remboursements par an	4
valeur future après le dernier paiement	0
indice pour la date de paiement (ici : fin de période)	1
Paiement à chaque échéance	-12 115 KF
Coût total des intérêts	-62 057 KF

Tableau 12 : Remboursement de l'emprunt

NB : Les coûts sont en KF (kilo francs)

COMPTE D'EXPLOITATION PREVISIONNEL

	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Chiffre d'affaires						
Recettes	77000	77000	77000	77000	77000	77000
Paiements directs						
Matières premières	22000	22000	22000	22000	22000	22000
Charges externes						
frais de publicité	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Charges internes						
MO	5160	5160	5160	5160	5160	5160
maintenance	1179	1179	1179	1179	1179	1179
énergie	3166	3166	3166	3166	3166	3166
emballage	11000	11000	11000	11000	11000	11000
usinage	2200	2200	2200	2200	2200	2200
fonctionnement diverses	4400	4400	4400	4400	4400	4400
Charges financières						
remboursement emprunt	48460,0	48460,0	48460,0	48460,0	48460,0	0
Dotation aux amortissements	12090	12090	12090	12090	12090	12090
Total de charge	111655,0	111655,0	111655,0	111655,0	111655,0	63195
Résultats avant impôts	-34655,0	-34655,0	-34655,0	-34655,0	-34655,0	13805
Impôt sur le bénéfice (25%)	0	0	0	0	0	3451,3
Résultats net comptable	-34655,0	-34655,0	-34655,0	-34655,0	-34655,0	10353,75
Capacité d'auto financement	-22565,0	-22565,0	-22565,0	-22565,0	-22565,0	18992,5

Tableau 13 : Compte d'exploitation prévisionnel

CONCLUSION GENERALE

La réalisation de ce document dans le cadre du projet de fin d'étude, nous a donné la conviction que les connaissances reçues à l'école dans notre spécialité sont toutes utiles et facilement praticables dans le traitement de problèmes. Bien plus, il nous a été possible d'apprendre et de mettre en pratique des méthodes et outils techniques qui ne sont pas nécessairement le résultat d'un apprentissage scolaire.

Notre travail a consisté essentiellement :

- A étudier (évaluer) le dernier procédé de carbonisation en continu des végétaux développé par Pro- Natura (pyro-7).
- A comparer ce procédé avec celui utilisé au Sénégal pendant la phase pilote du projet « charbon vert » (pyro-5).
- A faire un diagnostic global de l'unité de production qui a fonctionné pendant cette phase pilote.
- Et à élaborer un plan d'affaire utilisable par des investisseurs qui envisageraient d'implanter une nouvelle unité de production équipée du nouveau procédé.

L'élaboration du plan d'affaire a donné des résultats très satisfaisants. Selon que le bio carbonisateur (pyro-7) est fabriqué à l'étranger ou au Sénégal par la SISMAR, le prix de revient maximum d'un kilogramme de charbon vert sorti d'usine est estimé à 65 Fcfa, en admettant une marge des intermédiaires de 30 Fcfa par kilogramme, on a le kilogramme de charbon vert à 95 Fcfa sur le marché. Ce qui est deux fois moins cher que le kilogramme de charbon de bois.

La rentabilité du projet a été également effectuée selon trois critères, le seuil de rentabilité (Q_{opt}), la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement externe (TRE). Les résultats obtenus selon chacun des critères révèlent tous que le projet de production du charbon vert est rentable.

Nous avons proposé enfin, un plan de financement pour permettre à tout investisseur qui voudrait ouvrir une unité de production de « charbon vert » de voir comment travailler pour arriver a des résultats meilleurs.

BIBLIOGRAPHIE

[1] A. BEAUGENDRE : « Pro-natura ou comment créer du charbon sans bois, Internet au service du développement durable », 14 Octobre 2002.

[2] G. REINAUD : « E-nnovation, n°7 », Novembre 2002.

[3] Pro-Natura : « Charbon vert », Mars 2006

[4] R.K. HENNING : « Valorisation de typha comme combustible domestique en Afrique de l'Ouest », Mai 2001.

[5] Dr. S.D. DIENG : « Possibilités d'utilisation du typha australis comme combustible domestique au Sénégal », Janvier 2001.

[6] H.B. KANE : « Etude préparatoire de l'atelier sur la valorisation du typha comme combustible domestique au Mali et en Mauritanie », Mars 2001.

[7] I. NIANG : « Charbon de biomasse : valorisation en combustible de la balle de riz » SAED, Avril 1997.

[8] I.NIANG, P.A. DEME et A.S. NDIAYE: « Rapport de mission : politique de diversification des combustibles domestiques et de substitution au bois énergie », Direction de l'énergie au Sénégal, 7 Avril 2003.

[9] M. OUATTARA : « Charbon de biomasse : Test d'acceptabilité », Ministère de l'énergie des Mines et de l'Industrie, 21 Février 2000.

[10] M.E.M.O. LEMRABOTT : « Compte rendu du test d'acceptabilité », Direction de la lutte contre la pauvreté en Mauritanie.

[11] I. NIANG : « Compte rendu de la visite du chantier du projet : Charbon de biomasse au Sénégal », Secrétariat permanent : Direction de l'énergie Sénégal.

[12] A. SOW : « Présentation des résultats sur l'utilisation des ressources non ligneuses comme combustible domestiques au Sénégal », Ministère de l'environnement et Fondation Friedrich EBERT, Mars 2001.

[13] P. TIFFANY et S.D. PETERSEN : « Business plan pour les nuls » First Editions, Country Août 2005.

[14] N. SARR: « Gestion de projets d'ingénierie : Méthodes et outils », notes de cours, Edition ESP 2004.

[15] E.F. IBANEZ : « Etude de la carbonisation et l'activation de précurseurs végétaux durs et mous », thèse de Doctorat ès Science, Université de Neuchâtel, Décembre 2002.

ANNEXES

N° CDHLCPI/DLCR

رقم م ح ! م ف د / ! م ف

Nouakchott, le انواكشوط في

Le Directeur المدير

PID

Compte rendu

Sur le site du pole Intégré de Développement PID à OUM EL Ghoura dans la Moughatta d'EL Mina à Nouakchott s'est tenue une réunion consacrée à l'expérimentation d'un charbon fabriqué à travers d'une plante appelée « Typha » qui se trouve sur la vallée du fleuve Sénégal. Cette plante n'est pas consommée par les animaux et les moustiques dans la vallée y trouvent refuge.

L'expérimentation a été faite par Sandra Kloff de l'Union Mondial pour la Nature (UICN).

Etaient présent.

- Une représentante de la condition féminine
- Un représentant de la GTZ
- Quelques femmes du bureau de la coopérative pour d'Oum El ghoura dont les noms suivant :
- Fatma salka
- Lala mint Sidi Mohamed
- Melne mint Mohamed El Moktar
- Korya mint Sidi
- Raghya
- Souadou mint S'neiba

Et beaucoup d'autre femmes du quartier

Après avoir expliquer aux femmes présentes l'objectif de la réunion et l'importance de ce projet qui vise l'amélioration des conditions de vie de la population en offrant cette matière première – qui est le charbon – à des prix accessible et en préservant la nature en interdisant le charbon du bois.

Nous avons choisi des ménages situés au tour du PID pour expérimenter le charbon.

Les femmes sont venues nombreuses de tout le quartier et elles étaient très appréciées par cette expérimentation qu'elles jugent positives surtout sur les plans :

- Prix (moins chère par rapport au charbon du bois)
- Durabilité : (dure plus longtemps)
- Quantité consommée (moins)

A noter que les femmes ont signalé un point qui leur paraît négatif : la fumée avant que le feu prend totalement, cette fumée fait 3 à 4 minutes.

En conclusion le projet était très apprécié par les femmes du quartier Oum EL ghoura.

GIE d'encadrement au PID
MOHAMED EL MOCTAR OULD LEMRABOTT
MARIEME MINT AHMEDOU BABA

CHARBON DE BIOMASSE - TESTS D'ACCEPTABILITE

Des test d'acceptabilité du charbon de biomasse produit dans le cadre du projet Charbon de Biomasse au Sénégal, financé par la Commission Européenne, ont été effectués au cours du mois de Février 2000 dans la population urbaine de la ville de Saint-Louis par moi-même, auprès de représentants de plusieurs catégories d'usagers potentiels.

- Une restauratrice importante, le restaurant Sénégalais Keur Nancy étant le plus ancien, et très fréquenté à Saint-Louis.
- Une association de cuisinières professionnelles qui loue ses services lors de l'organisation de grandes réunions.
- Le groupement des pêcheurs - mareyeurs de Saint-Louis (séchage et fumage de poissons).
- Enfin la Fédération des femmes productrices du Delta (FEPRODES) organisation très importante dans la vie économique du Nord Sénégal présidée par Mme Penda CISSE GUEYE.

Les appréciations que j'ai recueillies lors de cette enquête socio-économique sont toutes concordantes.

Le charbon de biomasse est nettement plus dense que le charbon de bois. De ce fait, il s'enflamme moins rapidement et au début de sa combustion dégage un peu plus de fumée que le charbon de bois mais ensuite il chauffe plus rapidement et plus intensément.

J'ai pu moi-même constater ces caractéristiques au cours des tests basés sur l'ébullition d'un litre d'eau à l'aide de 500 gramme de charbon dont le compte rendu est ci-joint.

Les divers usagers potentiels auprès desquels ont été effectuées les tests d'acceptabilité, estiment que le charbon de biomasse est un bon produit, qui rend le même service que le charbon de bois. Certains l'ont même trouvé plus économique du point de vue du poids. Ces usagers ont déclaré qu'ils l'utiliseront régulièrement lorsqu'il sera mis en vente.

Il est apparu que certains de ces usagers, en raison de la forme de ce charbon différente de celle du charbon de bois auquel ils sont habitués, n'ont pas compris tout de suite de quelle façon l'utiliser. Une campagne de démonstration et de promotion de ce produit sera donc utile lorsque sa diffusion sera entreprise.

La présidente de FEPRODES dont le large réseau d'adhérentes comporte des points de vente de bombonnes de gaz, a déclaré que son organisation pourrait également vendre ce charbon.



REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE L'AGRICULTURE

**SOCIETE NATIONALE
D'AMENAGEMENT ET
D'EXPLOITATION DES TERRES DU
DELTA DU FLEUVE SENEGAL ET DES
VALLEES DU FLEUVE SENEGAL ET
DE LA FALEME (SAED)**

DELEGATION DE DAGANA

**ENQUETE SOCIO-ECONOMIQUE AUPRES D'UN
GROUPEMENT FEMININ
CONCERNANT L'UTILISATION DU CHARBON DE
BIOMASSE
PAR RAPPORT AU CHARBON DE BOIS**

A - IDENTIFICATION DU GROUPE

Nom du groupe _____

Localisation _____

Nombre d'adhérants _____

B - QUESTIONNAIRE INDIVIDUEL

a - Identification du foyer :

Nom de l'adhérante _____

Nombre d'unités de consommation (NB H _____) ; (NB F _____) ; (NB d'enfants _____)

NB d'UC = _____ (adulte = 1) ; (Enfants de 0 à 15 ans = 0,7)

b - Type d'énergie utilisée:

Energie et caractéristique	Bois	Charbon de bois	Gaz butane	Autres
Type de repas				
Quantité en Kg ou Prix unitaire Coût journalier				

C - UTILISATION DU CHARBON DE BIOMASSE :

a - Consommation pour un repas test :

Quantité de charbon distribuée pour le même usage que le charbon de bois (en Kg) --
TYPE DE CHARBON DISTRIBUE : _____

Quel type de repas réalisé (déjeuner, dîner, p. déjeuner) à préciser _____

Quantité de riz (ou autre céréale) utilisé pour le repas test _____

b - Modalités d'utilisation;

- Mise à feu _____;
- Qualité de combustion _____;
- Temps de cuisson (début , heure _____, fin, heure _____)
- Poids du charbon restant (non utilisé après le repas test) en Kg _____;
- Quantité utilisée _____ (Kg)
- Quantité de charbon de bois

D :ELEMENTS DIVERS D'APPRECIATION