

TABLE DES MATIÈRES

<i>LISTE DES FIGURES</i>	12
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	14
<i>ABREVIATIONS</i>	15
<i>RESUME</i>	16
<i>ABSTRACT</i>	17
<i>INTRODUCTION et PROBLEMATIQUE</i>	18
PREMIERE PARTIE - MATÉRIELS ET METHODES	20
I.1- MATÉRIELS	
<i>I.1.1 - La balle de riz , une agro-ressource à valoriser</i>	21
I.1.1.1 - Le déchet rejeté des rizeries	21
I.1.1.2 - Le local de stockage de la balle de riz	23
<i>I.1.2 - Une installation de gazéification pour la balle de riz</i>	23
I.1.2.1- La gazéification et le gazéificateur	23
I.1.2.2- Le traitement de purification de gaz de synthèse	24
I.1.2.3- Le type d'une installation de gazéification /purification pour une rizerie de grande puissance	25
<i>I.1.3 - Le moteur à gaz pour la production de l'électricité</i>	26
<i>I.1.4 – Des matériels pour des produits pressés</i>	26
I.1.4.1 – La presse mécanique pour des produits moulés	26
I.1.4.2 - Le densificateur pour la fabrication de briquette de charbon ...	26
<i>I.1.5 - Des matériels pour la production agricole</i>	26
I.1.5.1- Des matériels agricoles adaptés à la riziculture industrielle	26
I.1.5.2 - Les terrains de culture : des rizières de grande surface	26
I.2 - MÉTHODES	27
<i>I.2.1 - L'analyse de la valeur</i>	27
I.2.1.1- Présentation et objectifs de l'Analyse de la valeur	27
I.2.1.2- Le déroulement de l'Analyse de Valeur	28
<i>I.2.2 - Le « reengineering »</i>	30
I.2.2.1 – Définition du Reengineering	30
I.2.2.2 - La recherche des opportunités de Reengineering	31

I.2.2.3 - En route pour le Reengineering	31
I.2.2.4 – La réussite par le Reengineering	32
DEUXIEME PARTIE - RESULTATS	33
II.1- ETUDE DE CAS DE LA TIKO RICE MILL : UN SYSTEME DE VALORISATION DE LA BALLE DE RIZ POUR L'AUTONOMIE EN ELECTRICITE DE LA RIZERIE ET POUR L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION AGRICOLE	34
II.1.1 - Mise en oeuvre de l'Analyse de la Valeur pour avoir l'autonomie en électricité par la valorisation de la balle de riz	34
II.1.1.1- L'orientation de l'Action	34
II.1.1.1.1 - Description de la TRMV	34
II.1.1.1.2 - Le fonctionnement de la TRMV	35
II.1.1.1.3 – Le Problématique de l'usine	36
II.1.1.1.4 - Objectifs de l'étude	36
II.1.1.2 – La recherche de l'information	36
II.1.1.2.1- Généralités et quantification de la balle de riz sortie des rizeries	37
II.1.1.2.2- La raréfaction des énergies fossiles mondiaux	37
II.1.1.2.3 - Observations des installations énergie-biomasse existantes	39
II.1.1.2.4 - Des applications dans l'agriculture	40
II.1.1.2.5 - Eco-matériaux	42
II.1.1.3 – L'analyse des fonctions et des coûts	42
II.1.1.3.1- L'analyse des besoins en puissance	42
II.1.1.3.2 - L'approvisionnement en électricité	43
II.1.1.3.3 - Le coût d'usinage de paddy	44
II.1.1.4 - La recherche des solutions	45
II.1.1.4.1 - Des spécifications communes pour le combustible.....	45
II.1.1.4.2 - La turbine à vapeur	46
II.1.1.4.3 - La turbine à gaz	46
II.1.1.4.4 - Le moteur à gaz	46
II.1.1.5 – L'étude et l'évaluation des solutions	46
II.1.1.5.1 - Les schémas de montage des solutions retenues	47

II.1.1.5.2-	<i>La production d'électricité par une turbine à vapeur..</i>	47
II.1.1.5.3 -	<i>La production d'électricité par une turbine à gaz</i>	47
II.1.1.5.4 -	<i>Comparaison thématique des turbines et des moteurs à gaz</i>	48
II.1.1.6 -	Le bilan prévisionnel - Présentation des solutions retenues – Décisions	49
II.1.1.6.1 -	<i>Le bilan prévisionnel</i>	49
II.1.1.6.2 -	<i>Présentation des solutions retenues</i>	50
II.1.1.6.3 -	<i>Les décisions</i>	50
II.1.1.6.4 -	<i>L'économie obtenue par la substitution de GO.....</i>	51
II.1.1.6.5 -	<i>Les gains obtenus par la TRMV</i>	52
II.1.1.7 –	Le suivi de la réalisation	52
II.1.2 –	Le reengineering	53
II.1.2.1 -	La recherche des opportunités de Reengineering	53
II.1.2.1.1 -	<i>La production durable et renouvelable de l'électricité..</i>	53
II.1.2.1.2 -	<i>La réorientation des activités agro-industrielles au processus du développement durable</i>	54
II.1.2.2 -	En route pour le Reengineering: vers l'économie verte	55
II.1.2.3 -	La réussite par le Reengineering: la chimie verte appliquée à la TRMV.....	55
II.2-	SYNTHESE DES UTILISATIONS DE LA BALLE DE RIZ ET LEUR APPOINT POUR LE DEVELOPPEMENT DURABLE	54
II.2.1 –	La création d'une Unité COmbinée de VALorisation de la Balle de RIZ	54
II.2.1.1 –	Les potentialités de la balle de riz et ses coproduits	54
II.2.1.2 –	L'Unité Combinée de Valorisation de la Balle de riz	55
II.2.2 -	La cohérence de l'utilité de l'UCOVALBRIZ avec le développement durable À Madagascar	56
II.2.2.1-	Le fonctionnement de l'UCOVALBRIZ	56
II.2.2.2-	Le développement durable à Madagascar	57
II.2.3 -	La cohérence du développement local intégré avec le développement durable à Madagascar [31][MEG2002],[18][EDF2006],[14][COM2007]	59

II.3- LES IMPACTS SOCIO- ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX[39][REC2009]

<i>II.3.1 - Les impacts sociaux</i>	60
<i>II.3.2 - Les impacts économiques</i>	60
II.3.2.1- Les impacts sur le marché de riz	60
II.3.2.2 – Les impacts sur la production agricole	60
<i>II.3.3 - Les impacts environnementaux</i>	60
II.3.3.1- Le respect des conditionnements générales de fonctionnement du MDP.....	60
II.3.3.2- L’obligation de la mise en place du MDP à Madagascar	61

TROISIEME PARTIE - DISCUSSIONS 62

III.1 - LA DURABILITE DU DEVELOPPEMENT DE VALORISATIONS DE LA BALLE DE RIZ [5][ALF2009]	62
---	----

<i>III.1.1- La maîtrise de la technologie de production d’électricité à partir du gaz de synthèse Analyses des contraintes pour la pérennisation</i>	62
<i>III.1.2- La purification des gaz de synthèse [33][NOZ2008]</i>	62
III.1.2.1- Les composés à éliminer	62
III.1.2.2- L’élimination des goudrons	62
<i>III.1.3- La maîtrise de l’utilisation des moteurs à gaz</i>	63
<i>III.1.4- La recherche des fournisseurs du domaine des moteurs à gaz</i>	63
III.1.4.1- Les fournisseurs européens [39][REC2009]	64
III.1.4.2- Les fournisseurs asiatiques (chinoises)	64

III.2 – LA VULGARISATION DES TECHNIQUES APPROPRIÉES POUR LE DEVELOPPEMENT LOCAL	65
---	----

<i>III.2.1- Les barrières culturelles</i>	65
<i>III.2.2- Les zones d’application limitées</i>	65
<i>III.2.3- Des réticences à la réalisation des résultats de recherche</i>	65

CONCLUSION GENERALE	67
----------------------------------	----

REFERENCES	69
-------------------------	----

INVENTAIRE DES BREVETS	74
-------------------------------------	----

ANNEXES	75
----------------------	----

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1</i> - Les étapes de transformation de paddy pour avoir de riz blanc et de la balle de Riz	22
<i>Figure 2</i> - Les pays producteurs de riz dans le monde	22
<i>Figure 3</i> - Le tas de balle de riz sortie d'une usine de décortiquerie	22
<i>Figure 4</i> - Un modèle d'un local de stockage de balle de riz	23
<i>Figure 5</i> - Exemple d'une installation pour le traitement de purification	25
<i>Figure 6</i> - Un type d'installation de gazéification de biomasse	25
<i>Figure 7</i> - Synthèse des méthodes pratiquées à cette étude	27
<i>Figure 8</i> - Les actions induisant au développement durable	32
<i>Figure 9</i> - Le cycle d'utilisation de balle de riz	33
<i>Figure 10</i> - L'usine de la Tiko Rice Mill à Vohidiala	34
<i>Figure 11</i> - L'usine de la Tiko Rice Mill qui renferme une unité de nettoyage, de stockage et de transformation en riz blanc	34
<i>Figure 12</i> - Les 02 générateurs de 650 kVA (544kW) installées à Vohidiala	35
<i>Figure 13</i> - La plaque signalétique montrant les 544kW	35
<i>Figure 14</i> - L'utilisation de l'agro-ressource Riz	37
<i>Figure 15</i> - Moteur dual fuel de la Société B ² qui électrifie le CR Bejofo	39
<i>Figure 16</i> - Unité de gazéification et filtration	39
<i>Figure 17</i> - Connection du syngas à l'admission du moteur diesel 50kVA	39
<i>Figure 18</i> - Machines d'usinage en marche	39
<i>Figure 19</i> - Culture de maïs sur CBR	40
<i>Figure 20</i> - Bulbe de maïs	40
<i>Figure 21</i> - Plantation Haricot 8jours	40
<i>Figure 22</i> - Croissance Haricot 22jours	40
<i>Figure 23</i> - Préparation de pépinière et épandage de CBR	40
<i>Figure 24</i> - Epandage de CBR sur rizière	40
<i>Figure 25</i> - CBR épandue sur rizière	40
<i>Figure 26</i> - Résultat sur l'épi de riz	40
<i>Figure 27</i> - Préparation de terrain : la BR brûlée	41
<i>Figure 28</i> - Le riz sur la CBR 15j	41

<i>Figure 29 - Développement de tallage 21j</i>	41
<i>Figure 30 - CBR élément constitutif de compostage</i>	41
<i>Figure 31 - Serre horticulture utilisant de compost avec CBR</i>	41
<i>Figure 32 - Le mur intérieur du CEG Manakambahiny Ouest</i>	42
<i>Figure 33 - Le mur intérieur de l'Eglise FJKM Manakambahiny Ouest</i>	42
<i>Figure 34 - Ciment alternatif : Chaux avec CBR</i>	42
<i>Figure 35 – Vue de dessus d'un foyer à balle de riz</i>	43
<i>Figure 36 – Le foyer à balle de riz</i>	43
<i>Figure 37 – Schéma de l'installation actuelle des générateurs</i>	45
<i>Figure 38 – Schéma de 01 turbine à vapeur / 01 groupe électrogène</i>	48
<i>Figure 39 – Schéma de montage de 01 turbine à gaz / 01 groupe électrogène</i>	48
<i>Figure 40 - Schéma de montage de 02 moteurs à gaz / 01 groupe électrogène</i>	48
<i>Figure 41 - Un moteur Jenbacher type 320 qui répond au besoin de la TRMV</i>	50
<i>Figure 42 – Vision permanente d'une Entreprise agro-industrielle</i>	54
<i>Figure 43 - Représentation schématique des potentiels de la balle de riz</i>	55
<i>Figure 44 – Une Unité Combinée de Valorisation de Balle de Riz</i>	56
<i>Figure 45 - Une définition opérationnelle du Développement Durable</i>	58
<i>Figure 46 - Les résultats escomptés pour le développement durable à M/scar</i>	59
<i>Figure 47 - Synthèse des impacts de l'UCOVALBRIZ</i>	62
<i>Figure 48 - Formation des goudrons selon la classification de Milne et Evans</i>	63

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1</i> - Itinéraire de l'étude sur les matières –matériels-produits.....	21
<i>Tableau 2</i> - La composition du gaz de synthèse	24
<i>Tableau 3</i> - Tableau d'usinage et de consommation de gas-oil de la TRMV -Année 2008.	36
<i>Tableau 4</i> - Eléments composant de la balle de riz	37
<i>Tableau 5</i> - La quantité de balle de riz de la région et son potentiel en énergie	38
<i>Tableau 6</i> - Les puissances requises par type d'opération de la TRMV	42
<i>Tableau 7</i> - Puissances requises pour les différentes activités de la TRMV	43
<i>Tableau 8</i> - La variation du prix d'usinage en fonction de la quantité de paddy usinée et avec un litre de gas-oil	44
<i>Tableau 9</i> - Le débit de balle de riz en fonction du paddy usiné	44
<i>Tableau 10</i> - Caractéristiques générales d'un moteur à gaz de 1 000 Kw	45
<i>Tableau 11</i> - Le coût d'usinage d'un kilo de paddy avec une économie de 80% de GO... ..	48
<i>Tableau 12</i> - Concentration en goudrons tolérée pour chaque application	51
<i>Tableau 13</i> - Les fournisseurs européens et chinoises : leurs différences et leurs avantages	52
<i>Tableau 14</i> - Estimation des coûts d'investissements pour une UCOVALBRIZ	57
<i>Tableau 15</i> - Concentration en goudrons tolérée pour chaque application	64
<i>Tableau 16</i> - Les avantages et inconvénients entre les fournisseurs des installations	65

ABRÉVIATIONS

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
BMG : Bilan Matière Global
BMP : Bilan Matière Partiel
BR : Balle de riz
BTL : Biomass To Liquid
CBR : Cendre de balle de riz
CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique
CNRS : Centre Nationale de la Recherche Scientifique
COV : Composé Organique Volatile
ENRt : ÉNergie Renouvelable thermique
FI: Flow Indicator
FICFB: Fast Internally Circulating Fluidised Bed
GES : Gaz à Effet de Serre
GT : Essais
G_x : Essais de dégradation du composé modèle x
HAP : Hydrocarbure Aromatique Polycyclique
MDP : Mécanisme de Développement Propre
nc : non communiqué
nd : non déterminé
NTE : Nouvelles Technologies de l'Énergie
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique
PED : Pays En voie de Développement
PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur
RC : Résidu Carboné
Rpm : rotation par minute
RTGP : Réacteur de Traitement des Gaz de Pyrolyse
TRI : Temps de Retour de l'Investissement
Tep : Tonnes d'équivalent Pétrole
UCOVALBRIZ : Unité Combinée de VALorisation de la Balle de RIZ
URCE : Unité de Réduction Certifié d'Emission
WGS : Water Gas Shift

RÉSUMÉ

Mots clés : balle de riz ; cendre de balle de riz ; cogénération ; développement durable ; gazéification de biomasse ; moteur à gaz.

La balle de riz est une biomasse en abondance dans la société malgache. Le savoir, le savoir-faire, le savoir-vivre avec cette matière vont rapporter beaucoup d'avantages pour la population.

Ce mémoire vise à comprendre et modéliser les potentialités de la balle de riz, de son gaz de pyrolyse et de sa cendre afin d'appuyer les actions pour le développement durable. La combustion de la balle de riz, en produisant respectivement du gaz de synthèse, de l'électricité et/ou de la chaleur constitue le premier passage obligatoire. La suite de ces opérations nous donne encore des bénéfices considérables à ne pas rater.

Pour le gaz, l'objectif est de produire de gaz de synthèse ($\text{CO}+\text{H}_2$) ayant une teneur en goudron inférieur à $0,1\text{mg}/\text{Nm}^3$.

Avec un moteur à gaz de type Jenbacher 320, nous produisons de l'électricité largement suffisante aux besoins d'une rizerie de capacité de 80 000 tonnes /an. L'étude du cas de la Tiko Rice Mill de Vohidiala démontre que la substitution du gas-oil par la balle de riz donne une économie de 50 à 60% sur le coût de production. Pour faire fonctionner une rizerie, notre recommandation est de recourir à la production de gaz de synthèse de balle de riz pour réduire partiellement ou complètement la consommation de gas-oil nécessaire.

Pour un investissement à une unité de gazéification et un moteur à gaz d'origine chinoise notre étude met en évidence que son TRI est environ de 36 mois.

Au niveau conceptuel sur le développement de la culture vivrière, la fertilisation avec un apport direct de cendre de carbonisation améliore le rendement agricole et son intégration dans la fabrication de compost donne un résultat encore plus bénéfique.

Des améliorations de la propriété du ciment portland a été identifié en y introduisant de 10 à 15% de cendre d'incinération dans le ciment. Cette quantité introduite dans le dosage de mortiers ou de bétons va réduire le coût de la construction à faire.

Ces projets se doivent être socialement acceptables, économiquement rentables et écologiquement viables pour le développement durable à Madagascar.

ABSTRACT

Keywords : rice husk ; rice husk ash ; cogeneration ; sustainable development ; biomass gasification ; gas motor .

The rice husk is a abundant biomass in the malagasy society. The knowledge, the knowhow, the good manners with this matter could give many advantages for the population.

This dissertation aims to understand and show the potentials of the rice husk, the pyrolysis gas and the rice husk ash. There are using to support the actions in the sustainable development.

The combustion of the rice husk, produced respectively syngas, electricity and /or heat build the first obligatory passage. The followed operations give us too great benefits not to miss.

For the gases, the goal is to produce a syngas ($\text{CO} + \text{H}_2$) having contents of tars inferior to $0,1\text{mg}/\text{Nm}^3$.

With a gas motor type Jenbacher 320, we produce electricity which is needed for a 80 000tons/year capacity of rice mill.

The case study of TIKO Rice Mill Vohidiala shows that the substitution of gas-oil by rice husk gas economize 50 to 60% of production costs.

For a chinese investment of a gasification unit and a gas motor, calculations prove that the TRI is inferior to 36 months.

To do work a rice mill, our recommendation is to resort to produce a syngas by rice husk in order to reduce partially or completely the consumption of gas oil.

Conceptually on the development of agriculture, fertilisation by using directly carbonised ashes ameliorates the yields and his integration in compost gives results more beneficial.

The properties of portland cement have been ameliorated by introducing 10 to 15 % of rice husk ash in the mortar or the concrete. It reduces the building costs.

Finally, this project must be socially agreed, economically and ecologically practicable for the sustainable development in Madagascar.

INTRODUCTION et PROBLEMATIQUE

Madagascar qui cherche actuellement une grande sécurité alimentaire et énergétique, les communautés rurales malgaches ont moins de chance pour atteindre leur sécurité alimentaire et leur possibilité d'assurer les moyens d'existence productifs qui peuvent les sortir de la pauvreté.

La résolution des problèmes énergétiques prend aussi une occupation permanente dans toutes les industries. La domination des énergies fossiles comme source d'énergie habituelle conduit à une menace de ne pas pouvoir pérenniser leurs activités.

Le développement de la filière « Riz » pourrait fournir une grande opportunité pour le développement durable à Madagascar. Les balles de riz sorties des rizeries ne sont actuellement que des déchets non valorisés. Sa seule utilisation à la briqueterie démontre qu'elle est un combustible digne d'être exploité.

Pour le cas de la rizerie de la TIKO Rice Mill de Vohidiala, la consommation de gas-oil pour les groupes électrogènes constitue un blocage de son indépendance énergétique et l'encombrement de sa balle de riz provoque un problème environnemental très gênant.

Toute considération faite, la dépendance aux énergies fossiles bloque l'amélioration du style de vie des Malgaches dans le processus du développement durable. La connexion énergie-agriculture-environnement dans le circuit de la filière RIZ nous a attiré de citer la question : *la balle de riz et ses produits dérivés constituent-elle une des envisageables pour le développement agro-indusrtiel et environnemental à Madagascar ?* La recherche au niveau de cette connexion nous a attiré à faire cette étude intitulée:

« La balle de riz , une biomasse par excellence pour le développement durable à Madagascar ».

Le travail comprend trois parties:

La **première partie** nous donne les détails concernant les **matériels et méthodes** adoptés pour conduire notre recherche.

La **deuxième partie** va énumérer **les résultats obtenus** par l'application des méthodes citées de la première partie. Une étude de cas est fait à la Tiko Rice Mill de Vohidiala Ambatondrazaka. L'approche scientifique adoptée nous permet d'axer l'action sur le système de valorisation de la balle de riz pour l' autonomie en électricité de la rizerie d'une part, et à l'amélioration de la production rizicole d'autre part.

La création d'une Unité COmbinée de VAlorisation de la Balle de RIZ résume la solution choisie. Il est démontré que des avantages socio-économiques et environnementaux nous rendent à répondre aux Objectifs Millénaire de Développement.

La **troisième partie** nous conduit à des sujets de **discussions** en vue de pouvoir maîtriser et pérenniser la technologie, la technique, les actions à entreprendre dès une UCOVALBRIZ serait montée. La maîtrise de la technologie de production de l'électricité à partir du gaz de synthèse est le foyer à saisir et la vulgarisation des techniques agricoles ainsi que l'éducation des citoyens de participer à leur développement local est le pilier de bien vivre avec le Riz.

Pour cette raison, l'intensification de la riziculture et son intégration à la production d'énergie ont le potentiel d'améliorer la sécurité alimentaire et de réduire la pauvreté énergétique dans les villages ruraux ainsi qu'au niveau national à Madagascar.

PREMIERE PARTIE - MATÉRIELS ET METHODES

I.1 - MATÉRIELS

<i>Matières</i>	<i>PROCESS ET MATERIELS</i>	PRODUITS	<i>AVANTAGES OU INCONVENIENTS</i>	<i>ENTRE-T-IL DANS NOTRE ETUDE</i>
Balle de riz	Rejet en décharge : Terrain de décharge	Déchets	(-) Encombrement de terrain	OUI : comment s'en débarrasser ?
Balle de riz	Combustion à l'air libre : terrain de décharge	Chaleur, fumées, CO2, cendre	(-)Perte d'énergie, de CO2 , de cendre (-)Gène pour le voisinage	OUI : comment l'éviter ?
Balle de riz	Stockage et combustion contrôlée : « Foyer à Balle de riz »	Energie domestique	(+) Economie de bois (+)Valorisation de l'énergie	*Données bibliographiques : modèle essayé *essai OK *Pas détaillé ici
Balle de riz	Stockage et combustion contrôlée : Centrale à Balle de riz	Energie pour petites rizeries	(+)Economie d'énergie pour petite rizerie	* Expérience de terrain * Documentation mais pas dans notre étude
Balle de riz	Ramassage et combustion contrôlée : *Fours à tuiles et à briques *Moyens de transport pour ramassage	Energie thermique pour cuisson de matériaux, Cendre, CO2	(+) Economie de bois de chauffe pour briques et tuiles (+) Environnement	*Documentation mais pas approfondie dans notre étude
Gas-oil	Achat et combustion contrôlée : groupe électrogène	Electricité, CO2	(-)Dépenses excessives (-)Environnement	OUI
Balle de riz	Stockage et gazéification	Gaz de synthèse, Charbon, cendre	(+)Sustitution au GO pour électricité	OUI
Gaz de synthèse	Générateur électrique à gaz : moteur à gaz	Electricité	(+)Economie de GO (+)Possibilité de	OUI

			vente de carbone (URCE)	
Cendre de BR	Utilisations en éco-matériaux : stockage /transport / broyage/ et mélange avec les autres composantes	Eco-matériaux	(+)Matériaux locaux de construction économiques (+) Environnement	OUI
Cendre de BR	Epandage comme engrais pour végétaux : riz, maïs, haricots	Intrants agricoles comme engrais	(+)Amélioration de rendement (+)Amélioration des sols	OUI
Cendre de BR	Ramassage /stockage /pressage /mélange avec liant	Brique de charbon	(+)Economie de bois de chauffe (+)Vente au marché	Enquête et visite sur terrain mais pas approfondie dans notre étude
CO2	Captage et utilisations chimiques : matériels de captage	CO2, produits chimiques potentiels	(+)Vente des URCE	A creuser

Tableau 1 - Itinéraire de l'étude sur les matières –matériels- produits

Source : L'auteur

1.1.1- La balle de riz, une agroressource à valoriser

1.1.1.1- Le déchet rejeté des rizeries:

La balle de riz est un déchet agricole issu de la transformation du paddy en riz blanc. Son extraction est faite par soufflage, tout de suite après le décorticage des grains de paddy.



Figure 1 - Les étapes de transformation de paddy pour avoir de riz blanc et de la balle de riz

Source : L'auteur

Lors du décorticage de paddy, on obtient 20 – 23% de balle de riz, 70% de riz blanc, et le reste du son.

La disponibilité quantitative de BR dans le monde [37][PÖR2008] est estimée à 100 millions de tonnes.



Figure 2- Les pays producteurs de riz dans le monde (colorés en jaune)

Source : [37][PÖR2008]

Aujourd'hui, encore plus de 70% de cette quantité n'est pas commercialement utilisée et en 2020, la demande mondiale de riz est estimée à 780 millions de tonnes c'est-à-dire qu'on pourra avoir 160 millions de tonnes de BR. En général, les décortiqueries et les rizeries n'arrivent pas à se débarrasser de la quantité de balle de riz sortie de leurs usines.

Ce déchet constitue toujours un tas très gênant sur le lieu d'implantation des rizeries.



Figure 3 – Le tas de balle de riz sortie des usines de décortiquerie

1.1.1.2 – Le local de stockage :

Pour pouvoir valoriser des déchets ou des biomasses éparpillées dans la nature, il est impératif de les ramasser, de les transporter et de les stocker.

Il faut prendre en compte qu'un local de stockage demande des critères :

- Quantité minimale à stocker
- Humidité requise par la combustion

Plusieurs rapports ont montré que la balle de riz sortie d'une rizerie ait une humidité entre 10% et 16% mais cela peut varier jusqu'à 20% dans des conditions humides.

Cette humidité satisfait la condition requise pour la combustion. On n'a pas besoin de faire un séchage et un triage avant la transformation. Ces opérations ne sont plus nécessaires pour la manipulation de la balle de riz et de la CBR.

- La densité volumique de la balle de riz compactée et non compactée est entre 100 et 120 kg/m³. Son transport pour un déplacement plus de 25 km devient coûteux et ne pas être bénéfique pour une utilisation permanente. Ces critères de manipulation exigent une conception d'un local de stockage et un exemple est montré sur la photo ci-dessous.



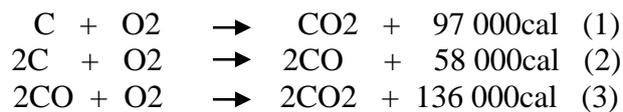
Figure 4 - Un modèle d'un local de stockage de Balle de riz sortie d'une rizerie

I.1.2 - Une installation de gazéification pour la balle de riz

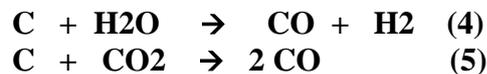
I.1.2.1- La gazéification et le gazéificateur

La balle de riz est une biomasse lignocellulosique car elle est riche en substances de structure et peu hydrolysable. Sa valorisation privilégie les procédés « par voie sèche » dits thermochimiques. [33][NOZ2008]

La gazéification de la balle de riz est une transformation thermochimique en présence d'un composé gazeux (O₂, air, CO₂, vapeur d'eau)



Du point de vue scientifique, c'est une réaction endothermique hétérogène entre le carbone contenu dans le solide, la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone.



Sur le plan industriel, l'objectif est de favoriser ces deux réactions (4) et (5), qui vont produire *le gaz de synthèse*. [38][RAN2009]

Le ratio d'équivalence optimal pour un gazéificateur de BR est de 0,32. La température normale d'opération d'un gazéificateur est entre 900°C et 1000°C.

Le résidu obtenu d'un réacteur après la gazéification est environ de 30 à 40% de son volume initial ou 25 à 35% de son poids initial.

- L'efficacité d'un gazéificateur de BR est entre 55,8 et 66,5%.
- Le refroidissement pendant la gazéification peut causer la condensation de goudrons.
- Une humidité supérieure à 30% peut colmater le combustible dans le gazéificateur de BR.

La gazéification de la biomasse par voie thermo-chimique pour la production de gaz de synthèse ($\text{CO} + \text{H}_2$) est un enjeu majeur pour l'avenir.

La composition du gaz de synthèse est donnée sur le tableau ci-après :

Composant	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂	C _n H _m	O ₂	N ₂
% en Vol .	12 - 18	10 - 16	4 - 8	3 - 7	1 - 1,4	0,5 - 1,2	54 - 60

Tableau 2 - La composition du gaz de synthèse

Source : Données par la Société WUXI Huguang Industrial Furnace Co., Ltd

Il est à remarquer que cette composition peut varier selon les conditions de la combustion (températures, air, pression, humidité, ...)

1.1.2.2- Le traitement de purification de gaz de synthèse

L'épuration du gaz suivi du refroidissement est l'étape après la gazéification. Cette opération assure la bonne qualité du gaz produit d'une part et la durabilité des matériels utilisés d'autre part.

La figure ci-après montre que le traitement de purification se fait dans des purificateurs en plusieurs étapes pour pouvoir enlever le maximum des goudrons dans le gaz.



Figure 5 – Exemple d'une installation pour le traitement de purification

I.1.4 – Des matériels pour des produits comprimés

I.1.4.1 – La presse mécanique pour des produits moulés

Nous pouvons envisager le montage d'une unité de fabrication des produits moulés comme les briques, tuiles, parpaing, claustrats, pavés autobloquants, ... La cendre de balle de riz est composée avec les matériaux de construction habituels (ciment, chaux).

Le dimensionnement de la presse et l'étude de sa faisabilité d'un tel projet ne sont pas inclus dans notre travail.

I.1.4.2 – La presse pour la fabrication de briquette de charbon

Comme le cas précédent, la fabrication de briquette de charbon par la valorisation de la cendre de balle de riz serait une opération rentable en investissant sur l'achat d'une presse de densification. Cette action peut contribuer à la lutte contre la déforestation pour protéger notre environnement. Une étude approfondie mérite d'être entamé dans l'avenir.

I.1.5 - Des matériels pour la production agricole

I.1.5.1 – Des matériels agricoles adaptés à la riziculture industrielle

- * Le Kubota : charrue, roue cage, herse, rotavator, remorque
- * Le tracteur : charrue, roue cage, herse, cover crop, remorque, pulvérisateur

I.1.5.2 - Les terrains de culture : des rizières de grande surface

Les terrains de culture doivent contenir les éléments nutritifs pour les végétaux afin qu'ils vivent convenablement avec son milieu d'implantation.

Les éléments de base sont l'azote, le phosphore, le potassium et les éléments complémentaires (minéraux et oligo-éléments) sont le fer, la silice, le magnésium, l'aluminium,...

Le silice est particulièrement nécessaire à la photosynthèse et joue un rôle de protecteur.

La cendre de balle de riz, un déchet de haute potentialité pour plusieurs applications sur l'agronomie [27][JUL1985].

I.2 - MÉTHODES

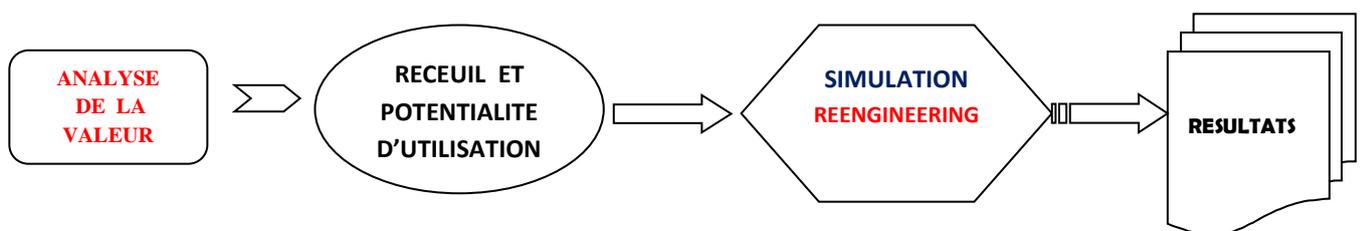


Figure 7 - Synthèse des méthodes pratiquées à cette étude

Source : L'auteur

I.2.1- L'analyse de la valeur (AV)

I.2.1.1- Présentation et objectifs de l'Analyse de la Valeur

L'Analyse de la Valeur est une technique qui a été développée vers la fin des années 40 par Lawrence D. Miles de la Compagnie General Electric (GE). A cette époque GE, qui devait faire face à un manque de matériaux stratégiques, avait chargé L. Miles d'identifier des matériaux meilleurs marché. Miles a constaté que beaucoup de matériaux de substitution atteignaient les mêmes, voire meilleures performances à un coût réduit.

Il établit alors un schéma rigoureux pour augmenter la valeur des produits. Cette technique, l'Analyse de la Valeur, a permis en ce temps-là à GE de réaliser une économie de 40%.

La notion centrale dans cette analyse, la « valeur », est définie comme étant le rapport entre la réalisation des fonctions et les coûts.

$$\text{Valeur} = \text{Fonction} / \text{Coût}$$

VALEUR signifie ici tout ce qui incite l'utilisateur à désirer le produit ou le service.

L'Analyse de la Valeur (AV) permet de concevoir ou reconcevoir un produit, un service, un procédé, ou un processus en vue d'augmenter l'efficacité et la compétitivité. Il s'agit de mettre en évidence les services à rendre par le produit pour assurer la satisfaction de l'utilisateur. Il s'agit d'une logique progressive de raisonnement, de bon sens organisé et de mettre en place un groupe de travail pluridisciplinaire. Cette démarche très structurée a pour objectif d'éliminer les coûts inutiles et d'améliorer la qualité en ne s'attachant qu'aux fonctions utiles à remplir. L'AV peut s'appliquer dans tous les secteurs d'activité, dans toutes les entreprises et à des fins très diverses.

La réduction des coûts des déchets passe donc par l'élimination des matières inutilement consommées pour la production et la réduction des coûts de gestion de ces déchets. [][ADE]

La méthode a pour but d'éliminer de façon systématique tous les coûts qui n'apportent pas de plus-value au produit, au processus ou au service. La valeur du produit se voit aussi accrue.

L'objectif de l'Analyse de la Valeur est de réduire les coûts d'un produit/service ou d'une organisation, ou de concevoir une solution parfaitement adaptée aux besoins de son utilisateur et, ceci, au coût le plus faible.

1.2.1.2 – Le déroulement de l'Analyse des Valeurs [17][DEV2003]

La norme (NF X 50 – 152) propose 7 phases dans le plan de travail . Il s'agit le déroulement suivant :

- Phase I* : Orientation de l'action
- Phase II* : Recherche de l'information
- Phase III* : Analyse fonctionnelle
- Phase IV* : Recherche de solution
- Phase V* : Etude et évaluation des solutions
- Phase VI* : Bilan – Proposition de choix – Décision
- Phase VII* : Suivi de réalisation

La tâche principale est l'analyse des coûts par rapport aux fonctions.

L'arbre des fonctions décrit le fonctionnement du produit de façon tout à fait abstraite. Ce haut degré d'abstraction est indispensable pour que les concepteurs de produits puissent se détacher de la forme d'implémentation actuelle, c'est la seule façon d'obtenir une véritable percée d'idées nouvelles.

Chaque fonction de base se voit attribuer un coût et une appréciation par le client. Le champ des tensions entre le coût et l'appréciation des clients détermine les fonctions qui entrent en ligne de compte pour être améliorées.

1. Phase I : L'orientation de l'action

Cette phase consiste à orienter l'action et à en délimiter le champ, à donner une définition initiale des objectifs, des contraintes, du degré d'innovation admis ou recherché, et à fixer les moyens accordés.

Il est procédé à une première collecte des objectifs de l'action et des données du problème à résoudre, notamment :

- Définition de l'environnement au sein duquel le produit doit être situé,
- Critères et niveaux d'appréciation, ces derniers étant exprimés sous forme d'objectifs (performances, consommations, fiabilité, maintenabilité, ...)
- Exigences et interdits formels,
- Objectifs de production

2. Phase II : La recherche de l'information

Dans cette phase, les renseignements qui seront nécessaires à la préparation et à la conduite de l'analyse, doivent être rassemblés. Ce travail est à la charge de l'animateur qui complète, ainsi, les renseignements présentés en phase 1. Un inventaire des informations nécessaires (technique, industrielles, économiques, commerciales, sociales, réglementaires, etc ...) est dressé par l'animateur et un groupe de travail pluridisciplinaire.

3- Phase III : L'analyse fonctionnelle, l'analyse des coûts

Cette phase est la plus importante de la méthode, elle a pour but de :

- Elaborer et valider le cahier des fonctionnels, ou à défaut, les données équivalentes collectées lors de la phase d'orientation, d'en proposer des compléments ou des amendements,
- Permettre lors des phases ultérieures, la recherche de solutions répondant aux seuls besoins réels,
- Identifier les coûts importants et les espérances de gain afin de diriger les efforts vers les domaines les plus fructueux et de les doser.

4- Phase IV : La recherche des solutions

La recherche du maximum d'idées est effectuée fonction par fonction en évitant toute censure, toute sélection prématuré. C'est à cette phase que seront utilisées les techniques de créativité. Il convient également d'examiner les solutions qui ont été proposées dans d'autres domaines pour des problèmes analogues. Cette recherche proprement dite est suivie d'un premier tri en utilisant dans chaque cas les critères les plus adaptés, notamment fonctions, coûts, délais, etc ... Le but est de sélectionner un nombre restreint de solutions, d'éliminer celles présentant des inconvénients importants et évidents, de retenir celles où les avantages sont les plus marqués et où les technologies employées sont les plus sûres.

5- Phase V : Etude et évaluation des solutions

Le but de cette phase est de dégager les solutions qui répondent le mieux aux critères et objectifs de l'action et qui seront proposées au décideur accompagnés d'un bilan prévisionnel. Elle consiste à conduire les travaux nécessaires pour l'évaluation d'un nombre restreint de solutions selon les points de vue suivants : faisabilité, coût, risques, autres contraintes de conception telles que maintenabilité, propriété industrielle, etc...

6- Phase VI : Bilan prévisionnel – Proposition de choix et décision

L'animateur va dresser un bilan prévisionnel des solutions sélectionnées et le présenter.

La présentation des solutions proposées est justifiée par les critères suivants :

- Motifs de sélection,
- Niveau estimé pour chaque critère,
- Chiffrage des coûts : dépenses, gains, investissement, ...
- Liste des avantages et inconvénients,
- Principales conditions d'application : délais, études complémentaires, validations, conséquences sur les hommes et sur l'entreprise ...

7- Phase VII : Suivi de la réalisation

La réalisation proprement dite est du ressort des fonctions de l'entreprise qui en sont normalement chargées. Elle est effectuée sur instruction du décideur. La phase du plan de travail qui y est associée consiste au seul suivi de la réalisation.

I.2.2- Le Reengineering

I.2.2.1- Une définition formelle du Reengineering

Le Reengineering est une remise en cause *fondamentale* et une redéfinition *radicale* des *processus opérationnels* pour obtenir des gains *spectaculaires* dans les performances critiques que constituent aujourd'hui les coûts, la qualité, le service et la rapidité.

Fondamentale : les entreprises doivent se poser les questions suivantes : pourquoi faisons-nous ce que nous faisons ? Et pourquoi le faisons-nous comme nous le faisons ? Reconfigurer, c'est d'abord renoncer aux présupposés et principes établis. Lors d'un Reengineering, on commence par déterminer ce qu'une entreprise doit faire avant de dire comment elle doit le faire.

Radicale : vient du latin "radix" soit racine. Il faut aller aux racines des choses. Le Reengineering se veut réinvention de l'entreprise, et non amélioration, renforcement ou modification de celle-ci.

Processus : Terme très important car les dirigeants raisonnent souvent et se polarisent sur les postes, les tâches, les personnes, les structures mais pas sur les processus.

Un processus opérationnel est une suite d'activités qui, à partir d'une ou plusieurs entrées (inputs) produit un résultat (output) représentant une valeur pour un client.

Autrement dit, pour prendre l'exemple du "traitement d'une commande", c'est la livraison au client des biens commandés qui constitue la valeur créée par le processus. En effet, les dirigeants se focalisent trop sur les tâches individuelles du processus (réception du bon de commande, livraison des marchandises, etc...) sans voir l'objectif d'ensemble qui est de faire parvenir les biens au client qui les a commandés.

Spectaculaire : il vise à provoquer un bond quantitatif des performances et non pas de réaliser des améliorations additionnelles. Il faut démolir l'ancien et bâtir du neuf à la place.

Il y a 3 sortes d'entreprises qui entreprennent un Reengineering :

- celles qui éprouvent de graves difficultés,

- celles qui n'ont pas encore de problèmes mais dont les dirigeants se rendent compte qu'ils vont en avoir,
- celles qui n'ont aucune difficulté discernable mais dont les dirigeants sont ambitieux et ardents.

1.2.2.2 - La recherche des opportunités de Reengineering

Le Reengineering ne s'intéresse pas aux organisations mais aux processus. Une entreprise ne reconfigure pas sa direction des ventes ou son département de production, elle reconfigure le travail accompli par les employés de ces services.

- Le choix des processus à reconfigurer :

Il existe 3 critères :

- les processus qui méritent le plus d'attention sont ceux dont les dirigeants de l'entreprise savent déjà qu'ils posent problèmes,
- ceux qui ont un impact sur les clients de la société,
- et enfin ceux pour lesquels la faisabilité de réussite est probable.

- Comprendre les processus :

Une fois choisi le processus à reconfigurer, il faut comprendre le processus actuel dans son ensemble. L'analyse de processus traditionnelle considère comme imposés les entrées (*inputs*) et les produits ou résultats (*outputs*) du processus et scrute uniquement l'intérieur de celui-ci pour mesurer ce qui se passe.

Pour comprendre un processus, au contraire, on ne doit rien tenir pour acquis. On commencera de préférence par se mettre à la place des clients. Quelles sont leurs exigences réelles ? De quoi ont-ils vraiment besoin ? Quels sont leurs problèmes ? Une fois connue le "quoi" et le "pourquoi" du processus, l'équipe peut commencer un remodelage.

1.2.2.3- En route pour le Reengineering

Mettre en place un Reengineering est un énorme défi qui consiste à persuader les personnes travaillant dans une organisation d'accepter la perspective d'un changement capital. C'est une campagne d'éducation et de communication qui dure du début à la fin du Reengineering.

Les entreprises qui parviennent le mieux à faire accepter le changement à leurs salariés sont celles qui expliquent le plus clairement la nécessité d'une réorganisation. Ce sont celles dont leurs cadres supérieurs réussissent à formuler et à exprimer deux messages clés :

- voilà où en est aujourd'hui notre entreprise et pourquoi elle ne peut en rester là (le reengineering est donc indispensable à la survie de l'entreprise) ;

- et voilà ce qu'il faut devenir en tant qu'entreprise (cela donne un but aux salariés).
Pour exprimer et faire connaître ces messages essentiels, les entreprises utilisent deux documents :

L'appel à l'action (*case of action*) explique pourquoi l'entreprise exige un Reengineering. Cet argumentaire (rédigé sur 5 à 10 pages) persuasif mais non exagéré doit montrer ce qu'il en coûterait de se contenter de demi-mesures.

La définition de la vision (*vision statement*) rappelle à l'organisation quels processus doivent effectivement être travaillés (où va-t-on ?). Elle offre aussi un étalon de mesure pour évaluer l'état d'avancement du Reengineering. Dire "nous voulons devenir le premier fabricant de gadgets" est peut-être un souhait estimable mais n'est pas une vision utile.

Une vision forte contient trois éléments :

- elle se concentre sur le métier d'entreprise,
- elle comprend des objectifs mesurables et des instruments de mesure,
- elle transforme les bases de la concurrence dans le secteur.

Les entreprises n'abordent pas le Reengineering de la même façon car elles sont toutes différentes mais leur point commun réside dans le fait qu'elles doivent s'attaquer à un processus et non à une fonction.

1.2.2.4 – La réussite par le Reengineering

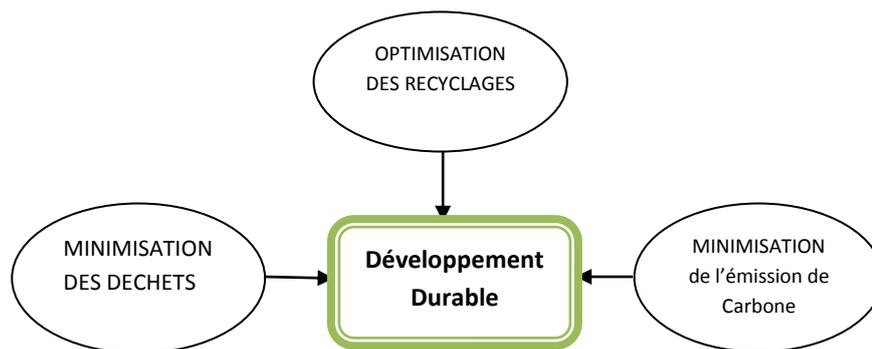


Figure 8 - Les actions induisant au développement durable

Source : L'Auteur

DEUXIEME PARTIE - RESULTATS

Quelque soit l'utilisation de la balle de riz à envisager, la combustion est un passage obligatoire pour la valorisation de ce déchet.

La chaleur, l'électricité, le combustible, la cendre de balle de riz sont des produits indispensables pour notre vie quotidienne.

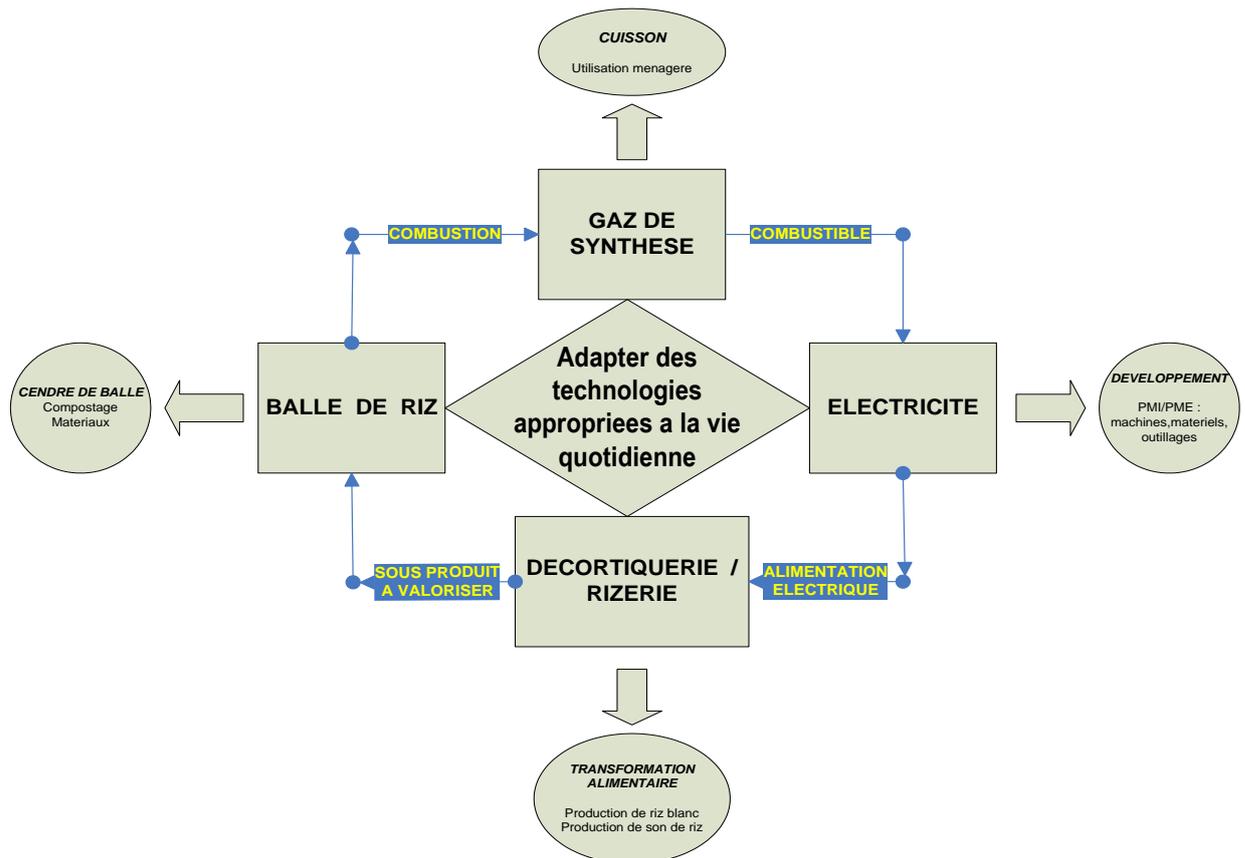


Figure 9 – Le cycle d'utilisation de la balle de riz

Source : L'auteur

II.1 – ETUDE DE CAS DE LA TIKO RICE MILL :

UN SYSTEME DE VALORISATION DE LA BALLE DE RIZ POUR L'AUTONOMIE EN ELECTRICITE DE LA RIZERIE ET L'AMELIORATION DE LA PRODUCTION RIZICOLE

II.1.1 - Mise en œuvre de l'Analyse de la Valeur pour avoir l'autonomie en électricité par la valorisation de la balle de riz

II.1.1.1 – L'orientation de l'action

II.1.1.1.1 - Description de la TRMV

La construction de la TRMV est commencée le 29 Mars 2005. Le groupe suisse BÜHLER, avec des sociétés sous-traitantes (COLAS, FRAME, REID STEEL, STELLA) est le maître d'ouvrage et les machines ont la marque Bühler.

Dès Mars 2006, les activités de la TRMV étaient lancées : achat et collecte de paddy aux paysans, réception, nettoyage, séchage, stockage dans les silos, usinage, conditionnement, stockage des produits finis, vente sur le marché.

L'un des objectifs fondamentaux de la Société est de rechercher les moyens de maintenir, ou d'augmenter sa part du marché. Pour cela, elle améliore les performances de ses produits tout en éliminant les coûts inutiles, dans le but d'obtenir un coût de revient le plus bas possible, tout en proposant des matériels (ou des services) de qualité.

La riziculture sur une superficie de 850 ha, activité principale depuis l'existence de la site en 1920, assure une production de paddy aux alentours de 2400 tonnes par année.

La rizerie : la TIKO Rice Mill de Vohidiala



Figure 10 - L'usine de la Tiko Rice Mill Vohidiala



Figure 11 - L'usine de la Tiko Rice Mill renferme une unité de nettoyage, de stockage et de transformation en riz blanc



Figure 12 - Les 02 groupes électrogènes de 544kW installés pour l'Usine

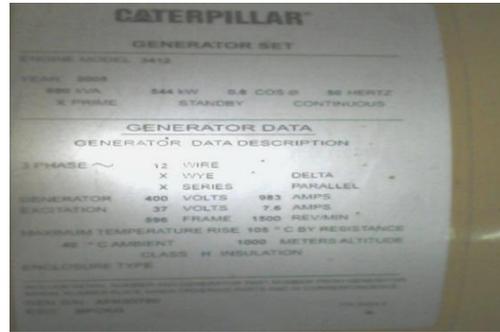


Figure 13 - La plaque signalétique montrant les 544Kw

II.1.1.1.2 - Le fonctionnement de l'usine TRMV

* La balle de riz sortant de l'usine

La capacité d'usinage de la Tiko Rice Mill est de 80 000 tonnes de paddy / an. Pour ces trois années de fonctionnement (de 2006 au 2009), nous avons usiné 85 000 tonnes. La quantité de balle de riz déjà sortie est de : $85\ 000 \text{ tonnes} \times 0,20 = 17\ 000 \text{ tonnes}$ []. D'après des données énergétiques, l'équivalence en énergie électrique qu'on pourra récupérer est de :

$17\ 000\ 000 \text{ kg} \times 1\text{kWh} / 1,6 \text{ kg} = 10\ 625\ 000 \text{ kWh} = 10\ 625 \text{ MWh}$ (perdues dans l'atmosphère).

Pour l'année 2008, le Tableau 3 montre que la quantité de paddy de 25 413 553 kg éjecte 5 082 711 kg de balle de riz

$$25\ 413\ 553 \text{ kg} \times 0,20 = 5\ 082\ 711 \text{ kg}$$

- Vue l'encombrement d'espace occupé par cette quantité, nous sommes obligé de voir la solution pérenne à cette évacuation. La seule issue qu'on a déjà entamée est de la faire brûler.
- Puisque la balle de riz renferme 20% de cendre, nous avons actuellement un stock de 3 400 tonnes de cendre.

** La consommation de gas-oil pour l'usinage

Année 2008	Paddy usiné	Gas-oil consommé	Paddy usiné/1 litre GO consommé	Opération
Janvier	1 918 062	42 065	46	Usinage
Février	2 762 808	48 943	56	Usinage
Mars	2 441 863	38564	63	Usinage

Avril	4 367 732	46 392	94	Usinage
Mai	3 890 876	50 396	77	Usinage
Juin	117 296	16 570	7	Réception
Juillet	723 530	35 490	20	Réception
Août	1 015 312	25 070	40	Réception
Septembre	2 116 498	34 256	62	Réception+Usinage
Octobre	2 942 375	34 170	86	Usinage
Novembre	2 022 996	22 380	90	Usinage
Décembre	1 094 205	21 420	51	Usinage
OTAL	25 413 553	415 716	57,8	Pgo/kg= 47,23Ar/kg paddy (*)

Tableau 3 - Tableau d'usinage et de consommation de gas-oil de la TRMV - Année 2008

Source : Rapport de production mensuel de la TRMV durant 2008

(*) Le prix d'un litre de Gas-oil Pgo pris est de 2730 Ar (prix durant 2008)

II.1.1.1.3 - Problématique de l'usine

L'énergie, c'est aussi l'affaire de l'industrie . Le problème énergétique engendre directement des problématiques au sein des industries aussi bien qu' à la TRMV.

- Il y a toujours une hausse de prix de pétrole qui entraîne un coût d'usinage élevé.
- Le prix de gas-oil consommé pendant 2008 : $2730 \text{ Ar/l} \times 415\,716 \text{ L} = 1\,134\,904\,680$ Ariary.
- Lors du montage de l'usine, l'étude sur l'alimentation en électricité a fixé uniquement le choix sur des groupes électrogènes en gas-oil.
- Les Groupes électrogènes bien adaptés à l'installation ne sont pas envisagés lors du montage de l'usine ; il y a un problème de veille technologique.
- La balle de riz est rejetée sans aborder aux problèmes environnementaux

I.1.1.1.4 - Objectifs de l'étude

- Réduire au maximum les dépenses en gas-oil: l'utilisation de la balle de riz permet de rendre le coût en combustible à environ de ZERO Ariary,
- Rendre au minimum le prix de revient d'un kilo de riz blanc mais ayant un marge bénéficiaire raisonnable,
- Se concurrencer à l'importation pour se courir à notre autosuffisance alimentaire,

- Protéger l'environnement et répondre au bilan carbone : c'est une des technologies à bas taux de carbone.

II.1.1.2 - La recherche de l'information

II.1.1.2.1 - Généralités et quantification de la balle de riz sortie des rizeries

I.1.1.2.1a/ - L'agro- ressource Riz

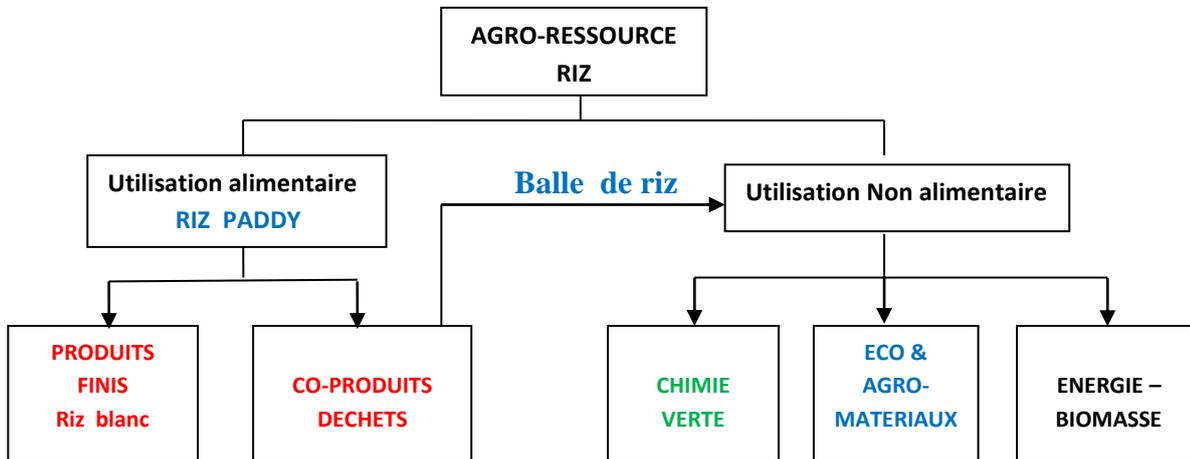


Figure 14 - Utilisation de l'agro-ressource : Riz

Source : L'auteur

II.1.1.2.1 b / - Composition de la balle de riz

La balle de riz est une biomasse composée principalement par du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène avec une proportion proche de $C_6H_9O_5$ en fonction du degré hygrométrique. [33][NOZ2008]

Elément	C	H	O	N	Sili-cate	K	Na	S	P	Ca	Fe	Mg
Fraction de masse (%)	41,44	4,94	37,32	0,57	14,66	0,59	0,035	0,3	0,07	0,06	0,006	0,003

Tableau 4 - Eléments composant de la balle de riz

Source :

II.1.1.2.1c/ - Propriétés physiques [3][ALE2005]

- Une référence d'usinage d'une tonne de paddy par heure est capable de produire 200 kg de balle de riz .

$$P_{br} = 0,2 \times P_{paddy}$$

- L'évaluation quantitative de la BR donne une CBR environ de 20% de son poids ; une petite variation peut constater en fonction de la variété de riz.
- A son tour, la cendre de balle de riz contient 95% de silice (SiO_2).

- La CBR a une propriété cancérigène
- Le gaz de synthèse produit d'un gazéificateur contient une énergie environ de 3,4 à 4,8 MJ /m³
- Son pouvoir calorifique est environ à 14 MJ/kg . Il représente le 35% de pouvoir calorifique du gas-oil qui a une valeur de 40,5 MJ/kg.

Remarque : Toutes les rizeries rejettent banalement la balle de riz sur une surface libre à côté de leur usine. Pour la débarrasser, la solution est toujours de la faire brûler. Beaucoup de quantité de chaleur ont perdue dans l'atmosphère.

$$W_{ch} = \text{Pouvoir calorifique} \times \text{masse de BR brûlée}$$

Cette énergie thermique est sauvagement perdue sans prendre connaissance de sa valeur .

II.1.1.2.1d / – La quantification de balle de riz de la Région Alaotra

Sur les 120 000 Ha de surface rizicole cultivée dans la région et avec un rendement agricole de 3 tonnes /hectare [36][PLA2008] , la production obtenue est de 360 000 tonnes de paddy.

Le tableau ci-dessous donne la répartition de l'utilisation de cette production :

UTILISATION	%	Poids		Quantité balle de riz (x0,21)		Energie électrique équivalente	
		kilos	tonne	kilos	tonne	kWh (*)	MWh
Autoconsommation	15	54 000 000	54 000	11 340 000	11 340	7 087 500	7 087,5
Commercialisation locale	30	108 000 000	108 000	22 680 000	22 680	14 175 000	14 175
SOUS TOTAL	45	162 000 000	162 000	34 020 000	34 020	21 262 500	21 262,5
Commercialisation hors de la région	55	198 000 000	198 000	41 580 000	41 580	25 987 500	25 987,5
TOTAL	100	360 000 000	360 000	75 600 000	75 600	47 250 000	47 250

*Tableau 5 - La quantité de balle de riz de la région et son potentiel en énergie
Source : L'auteur*

II.1.1.2.2 – La raréfaction de l'énergie fossile mondiale [2][AFH2007]

La question du pic de la production mondiale de pétrole conventionnel et bon marché se pose, car les réserves conventionnelles accessibles à bas coût s'épuisent. Il devient de plus en plus difficile de les renouveler, pour remplacer une production annuelle qui atteint 30 milliards de barils (Gbl). Cependant, l'évaluation des ressources est marquée

d'importantes incertitudes, les estimations allant de 2 000 à 3 500 Gbl. De plus, d'autres domaines de ressources très importants sont à portée demain, qui pourraient doubler le chiffre des ressources totales.

De manière plus précise, en 2010, la production cumulée de pétrole depuis les origines était de 1160 Gbl. La production annuelle est montée à 30 Gbl/an et les réserves prouvées estimées par Baril Pétrole ont été réestimées à 1380 Gbl (soit un ratio statique réserves sur production de 46 ans). Alors que les ressources ultimes récupérables ont été elles aussi révisées à la hausse à 3000-3500 Gbl.

L'industrie chimique est à l'heure actuelle très fortement dépendante des ressources fossiles, dont elle tire la plupart de ses produits. Leur raréfaction entraînera, à terme, une augmentation inévitable de leur coût ainsi que des problématiques géopolitiques accrues, notamment pour l'accès aux ressources. Il est donc nécessaire de trouver, à terme, des matières premières de substitution telles que la biomasse.

II.1.1.2.3 – Observations des installations énergie-biomasse existantes

▣ Le central Biomasse de la Société B² au village de Bejofo

La Commune rurale de Bejofo a bénéficié d'un projet d'électrification l'année 2010.

Ce projet est contracté avec la Société B², ayant son siège sociale à la cité d'Ambohipo Antananarivo. Le montage, la gestion de l'électricité, la maintenance sont assurés par cette dernière et la balle de riz est ramassée dans des rizeries du village de Bejofo.

L'installation est composée d'une unité de gazéification et de purification avec un moteur dual-fuel de 120KVA (figure 15), fournie par une Société chinoise Fengyu.

Le temps de marche du groupe est de 5 heures par jour (du 17 à 22h). Le coût de kWh est de 450 Ariary et l'utilisateur paie en sus une somme de 15 000 Ariary pour location de compteur. Le montant payé par un client usager est plus cher que la facture équivalente à la JIRAMA. Ceci est dû par l'amortissement de l'installation.



Figure 15 – Le moteur dual fuel de la Sté B²

▣ La rizerie Randrianarisoa et Frères à Bejofo

La Rizerie Randrianarisoa & Frères est aussi implantée dans le village de Bejofo. Elle Est alimentée par un groupe électrogène de 50 kVA auparavant. Sa consommation journalière atteint au environ de 20 litres de gas-oil.

Avec des documentations sur la gazéification et en référant à celle de la Sté B², Monsieur Randrianarisoa et son équipe a réussi de confectionner une unité de gazéification et de traitement du gaz de synthèse (Figure 16 montre les 3 purificateurs de gaz montées en série). Le gaz produit est connecté directement à l'admission du moteur diesel du groupe et on a un moteur dual-fuel de 50kVA (Figure 17).

Après la mise en marche de cette unité, la rizerie ne consomme que 5 litres de gas-oil par jour.



Figure 16 - Unité de gazéification d'une rizerie à Bejofo

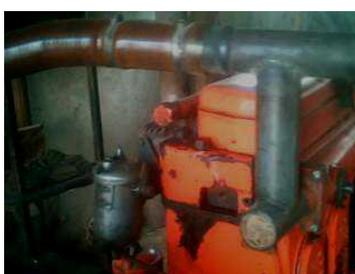


Figure 17 - Connection du syngas à l'admission du moteur diesel 50kVA



Figure 18 - Machines d'usinage en marche

II.1.1.2.4 - Des applications dans l'agriculture

II.1.1.2.4a / - Culture de maïs

En Avril 2011, au moment de la dernière pluie, on a planté directement du maïs sur la cendre de balle de riz, couleur gris de la Figure 19. Cette culture ne suit pas la saison mais la plante porte bien et on a eu 3 bulbes de maïs sur un pied (Figure 20).

On a remarqué que :

- La plante pousse convenablement pendant la période d'hiver (Mai-Juin)
- La racine de la plante est très développée en longueur



Figure 19 - Culture de maïs sur CBR

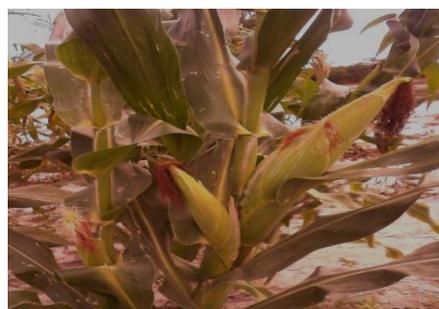


Figure 20 - Bulbe de maïs

II.1.1.2.4b/ - Culture d'haricot

Sur le même terrain, on a planté aussi de l'haricot. On a le même résultat à celui du maïs : racine développée, gousse bien remplie.

Sur les deux cas, le labour du terrain est très facile ainsi que le sarclage des plantes. Les figures 21-22 montrent le développement de l'haricot pendant la première semaine après le semis.



*Figure 21- Plantation Haricot 8jours
Date de semis : 06 Mars 2014*



Figure 22 - Croissance Haricot 22jours

II.1.1.2.4c/ - Riziculture

- **A la pépinière :**

La riziculture est une chaîne d'activité qui exige une qualité importante de travail. Les conditions en eau, en fertilisants, en semence doivent être respectées depuis la mise en place sur pépinière.

Ici, nous avons épandés de la CBR à la pépinière juste avant le semis.

RESULTATS : similaire à celle qu'on utilise des engrais.



Figure 23 - Préparation de pépinière et épandage de CBR

- **A la rizière :**

Avant le sarclage mécanique, nous avons épandé de la CBR et on a toujours des résultats satisfaisants.



Figure 24 - Epannage de CBR



Figure 25 - CBR épannée sur rizière



Figure 26 - Résultat sur l'épi de riz

• **Culture directe:**



Figure 27 - Préparation de terrain : la BR brûlée



Figure 28- Le riz sur la CBR 15 j



Figure 29 - Développement de tallage 21j

Sur une balle de riz brûlée, la plante ne pousse pas bien et surtout qu'il n'y avait pas assez de pluie juste avant la montaison.

RESULTATS : Culture médiocre sur une couche de balle de riz brûlée.

II.1.1.2.4d/ - Compostage

Les années 2011 et 2012, nous avons fait un compostage. Les éléments constitutifs sont : l'azolla, la CBR (gris ou noir ou rose ou blanche), la fumure organique, la paille de riz au choix.

Les compostières, Figure 30, sont arrosées tous les 3 jours, renversées le 10^{ème} et le 15^{ème} jour.

Le compost est obtenu à partir du 21^{ème} jour et l'épannage est fait sur une surface de 5 hectares

RESULTATS :

- On a une hausse de rendement de 0,5tonne à l'hectare
- Une bonne floraison est aussi obtenue sur l'horticulture (Figure 31)



Figure 30 - CBR, élément constitutif pour le compostage



Figure 31- Serre d'horticulture utilisant le compost avec CBR

La production de compost est le chemin le plus rentable et rapide pour le redressement de la fertilité des sols et des rizières.

Comme L'AGROSIL, une Société de fabrication d'engrais, démontre que la silice est une matière première de base pour ses produits. Cet engrais améliore la structure du sol et accroît la capacité de rétention en eau des substrats sableux. Il stimule la croissance des racines en profondeur et améliore la résistance des plantes aux maladies et à la sécheresse.

Composition de l'engrais : 45% de silice (SiO₂), silicate colloïdal dont 27 soluble dans l'eau / 20% anhydride phosphorique (P₂O₅), 2% azote (N) uréique.

Voir l'annexe 8 qui donne aussi des détails sur le produit SDP- le Silicium Disponible dans les Plantes

II.1.1.2.5 - Eco-matériaux [28][KOM1989]

Le Développement de la filière « Eco-matériaux » est basé sur l'introduction de la silice ou des silicates dans les matériaux de construction habituels comme le ciment, la latérite, la chaux.

- Il est à remarquer que la cimenterie HOLCIM d'Ibity Antsirabe est déjà convaincue de l'amélioration des propriétés physiques et mécanique du ciment en introduisant quelques pourcentages de Silice dans le processus de fabrication de ciment. [1][AAL2008]
- Le développement du matériau chaux pouzzolane nous permet de donner des résultats satisfaisant pour son utilisation à l'enduisage des bâtiments.



Figure 32- Le mur intérieur du CEG Manakambahiny Ouest



Figure 33- Le mur intérieur de l'Eglise FJKM Manakambahiny Ouest



Figure 34- Le ciment alternatif pour l'enduisage

II.1.1.2.6- Le foyer à balle de riz pour usage domestique



Figure 35 - Vue de dessus d'un foyer
Source : [65][<http://www.tearfund.org>]



Figure 36 – Le foyer à balle de riz à balle de riz

II.1.1.3 - L'analyse des fonctions et des coûts

II.1.1.3.1 – L'analyse des besoins en puissance

II.1.1.3.1.1 - La catégorisation de puissance par type d'activité :

Type d'opération	Ligne	Nbre Ligne en marche	Puissance requise
PRENETTOYAGE ET RECEPTION	A ou B	01	100 kW
	A et B	02	200 kW
Séchage	A ou B	01	100 kW
Refroidissement des stocks dans les silos	A ou B	01	150 kW
USINAGE	A ou B	01	200kW
	A ET B	02	400 kW

Tableau 6 - Les puissances requises par type d'opération de la TRMV

Source : Manuel de la TRMV

II.1.1.3.1.2 - Les activités de la TRMV et leurs puissances requises

Mois	Activité	Puissance nominale nécessaire	Puissance prescrite Pp=1,25Pnn	Générateur installé en charge	% puissance consommée	Moteur en marche
Janvier	Usinage A+B	400kW	500kW	544kW	0,74	1
Février	Usinage A+B	400kW	500kW	544kW	0,74	1
Mars	Usinage A+B	400kW	500kW	544kW	0,74	1
Avril	Usinage A+B	400kW	500kW	544kW	0,74	1
Mai	Réception + Séchage + Usinage (A+B) (A ou B) (A+B)	700kW	875kW	2 x 544kW (1088kW)	0,64	2
Juin	Réception + Séchage + Usinage (A+B) (A ou B) (A+B)	700kW	875kW	2 x 544kW (1088kW)	0,64	2
Juillet	Réception + Usinage (A+B) (A+B)	600kW	750kW	2 x 544kW (1088kW)	0,55	2
Août	Réception + Usinage (A+B) (A+B)	600kW	750kW	2 x 544kW (1088kW)	0,55	2
Septembre	Réception (A ou B) + Usinage (A+B) Refroidissement Silo (A ou B)	650kW	812,5kW	2 x 544kW (1088kW)	0,60	2
Octobre	Refroidissement + Usinage (A ou B) (A + B)	500-550kW	687kW	544kW	0,92	1
Novembre	Refroidissement + Usinage (A ou B) (A + B)	500-550kW	687kW	544kW	0,92	1
Décembre	Usinage (A + B)	400kW	500kW	544kW	0,74	1

Tableau 7 - Puissances requises pour les différentes activités de la TRMV

Source : L'auteur

II.1.1.3.2 – L’approvisionnement en électricité

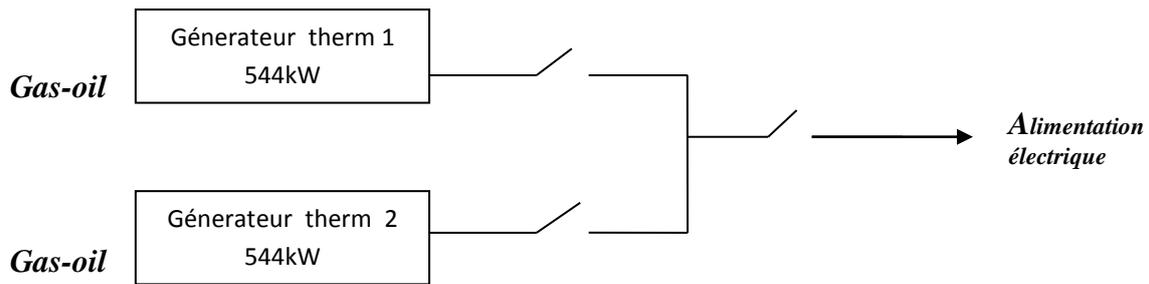


Figure 37 - Schéma de l'installation actuelle des générateurs de la TRMV

On peut constater qu’avec une configuration ayant deux moteurs en parallèle, la production électrique est légèrement plus importante, mais le TRI et le résultat net cumulé sont un peu plus faible.

D’une façon générale, cette configuration a des avantages à ne pas négliger. En effet, deux moteurs en parallèle permettent d’avoir une plus grande flexibilité. On peut arrêter le plus petit moteur lorsque le débit de gaz n’est pas assez élevé. Les variations de débit pouvant être importantes, cette souplesse permet d’avoir toujours un moteur en fonctionnement avec un bon taux de charge.

Cette configuration permet aussi d’avoir toujours un moteur en fonctionnement lorsque l’autre est en réparation. Il est ainsi souvent conseillé de placer deux moteurs en parallèle. Les deux moteurs existants à la TRMV ont cette configuration en parallèle.

II.1.1.3.3 – Le coût d’usinage de paddy avec l’installation actuelle

D’après le tableau 5 du paragraphe III.2.2, la TRMV a usiné 57,8 kg de paddy pour 1litre de gas-oil . Pour l’usinage seulement, l’objectif est de consommer moins de carburant avec lequel on travaille plus de paddy transformé.

Nous avons pris la référence de CONSOMMATION DE 1 LITRE DE GAS-OIL POUR USINER 100 KILOS DE PADDY.

	Paddy usiné par 01 litre de Gas-oil						
Quantité (kg)	50	57,8	60	70	80	90	100
Coefficient multiplicateur de consommation (litre/kg)	0,0200	0,0173	0,0166	0,0142	0,0125	0,0111	0,0100
Prix GO Ar /kg paddy (*)	57,20	49,48	48,48	40,61	35,75	31,75	28,60
Prix d'usinage d'1kg paddy (**)	87,2	79,48	78,48	70,61	65,75	61,75	58,60

Tableau 8 -La variation du prix d'usinage en fonction de la quantité de paddy usinée et avec Un litre de GO.

Source : L'Auteur

(*) Le prix actuel (Mai 2014) est de 2 860 Ariary. Ce prix est variable en fonction de la hausse de prix de carburant ; le frais de transport et le frais administratif ne sont pas encore compris.

Prix GO Ar/kg paddy = Prix 1 litre tout compris x coefficient multiplicateur de consommation

(**) D'après notre analyse de coût durant ces trois années d'exercice , la somme des charges (variables et fixes) pour usiner 1kilo de paddy est égal à 30 Ariary.

Prix d'usinage d'1kilo paddy = Somme des charges + Prix GO Ar / kg paddy

Prix d'usinage d'1 kilo paddy = 30 Ar + Prix GO Ar /kg paddy (Ariary)

II.1.1.4 – La recherche de solutions

III.1.1.4.1 - Spécifications communes pour le combustible

III.1.1.4.1.1 - La quantité de balle de riz à fournir pour le réacteur de gazéification

Paddy usiné (t/24h)	180	200	220	240
Balle de riz (t/24h)	36	40	44	48
Balle de riz (t/hr)	1,5	1,67	1,83	2,0

Tableau 9 - Le débit de balle de riz en fonction du paddy usiné

Source : L'auteur

La capacité de l'usine satisfait largement ce besoin en combustible car nous travaillons avec un rythme de 200 – 240 tonnes de paddy par 24 heures.

III.1.1.4.1.2 - La disponibilité de combustible et le dimensionnement de l'unité de gazéification

Un fournisseur constructeur des installations de gazéification résume les caractéristiques suivants en précisant si une rizerie travaille avec un rythme de 10 tonnes de paddy /heure, équivalent à 2-2,2 tonnes de balle de riz /heure, on peut gagner 1000kW d'électricité.

Description technique d'un système de	1000kW (LHC 1000)
Puissance du générateur	1 000 kW
Production de gaz de synthèse	3 650 Nm ³ /hr
Température du gaz de synthèse à la sortie du réacteur	700 – 800°C
Température du gaz de synthèse à la sortie du système de traitement et de refroidissement	45°C environ
Consommation de combustible (balle de riz)	1,5 – 1,8 ton/hr
Volume d'eau de refroidissement circulé	30 – 37 m ³ /hr
Poids brut du four de gazéification	38,7 tonnes
Enlèvement de cendre	Voie sèche (collection et déchargement par vis sans fin)

Tableau 10 – Caractéristiques générales d'un moteur à gaz de 1 000 kW

Source : Chongqing Fengyu Electric Equipment Co. Ltd <http://www.fengyugroup.com>

II.1.1.4.2 – La turbine à vapeur

La turbine à vapeur est sans doute la technologie la plus employée actuellement pour la production électrique à partir de biomasse. Elle est cependant réservée à des installations de forte puissance. Elle fonctionne selon le cycle de Rankine et nécessite la mise en œuvre des chaudières qui produisent de la vapeur à haute pression. Cette technologie est ancienne et bien maîtrisée.

II.1.1.4.3 - Le turbine à gaz [51][www.ec.gc.ca/cleanair-airpur]

Les turbines à gaz sont des moteurs thermodynamiques utilisant un écoulement constant d'un gaz (surtout de l'air), qui est comprimé et brûlé avec un combustible gazeux ou liquide. L'expansion de ce mélange à haute pression produit une poussée qui actionne un arbre pour la production d'énergie dans des installations fixes.

II.1.1.4.4 – Le moteur à gaz

Les moteurs à gaz fonctionnent à partir d'un gaz combustible issu d'une précombustion de la biomasse (bois ou autre matière solide combustible). Ils présentent l'avantage d'avoir recours à une ressource locale et renouvelable, la biomasse. Le gaz a un pouvoir calorifique suffisant pour faire fonctionner les moteurs à explosion.

II.1.1.5 - L'étude et l'évaluation des solutions

II.1.1.5.1 – Les schémas de montage des trois solutions retenues

Pour la nouvelle installation, un générateur devra être remplacé, et l'autre sera un générateur de réserve en cas de panne ou en cas réparation.

Les quatre technologies principales (moteur à gaz, moteur dual fuel, turbine, microturbine) se placent sur différentes gammes de puissance.

En dessous de 30 kWe, on trouvera uniquement des moteurs à gaz ou dual fuel.

Entre 30 kWe et 250 kWe, il y a le choix entre moteur à gaz ou dual fuel ou microturbine.

Puisque le débit de combustible peut satisfaire une production de puissance de 1000kW nous installerons soit une turbine à vapeur soit une turbine à gaz soit un moteur de 1000kW ou deux moteurs en parallèle de 500kW .

▪ Premier cas : Turbine à vapeur

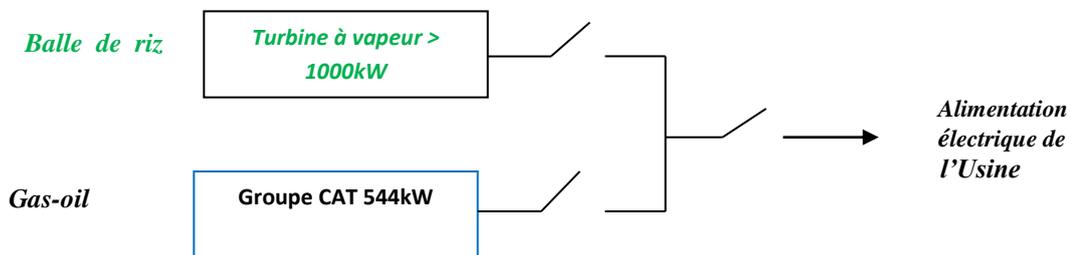


Figure 38 - Schéma de 01 turbine à vapeur / 01 groupe électrogène

▪ Deuxième cas : Turbine à gaz

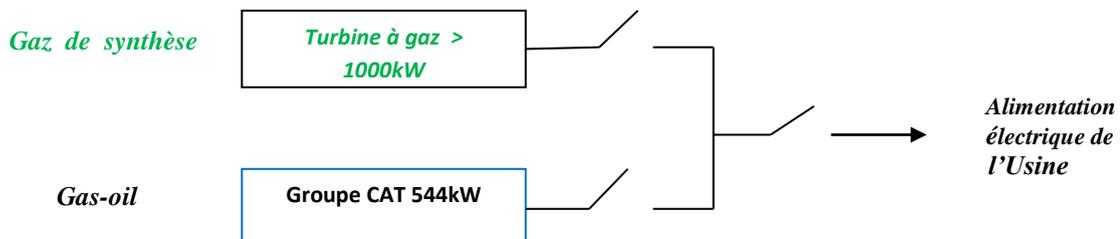


Figure 39 - Schéma de montage de 01 turbine à gaz / 01 groupe électrogène

▪ Troisième cas : Moteur à gaz

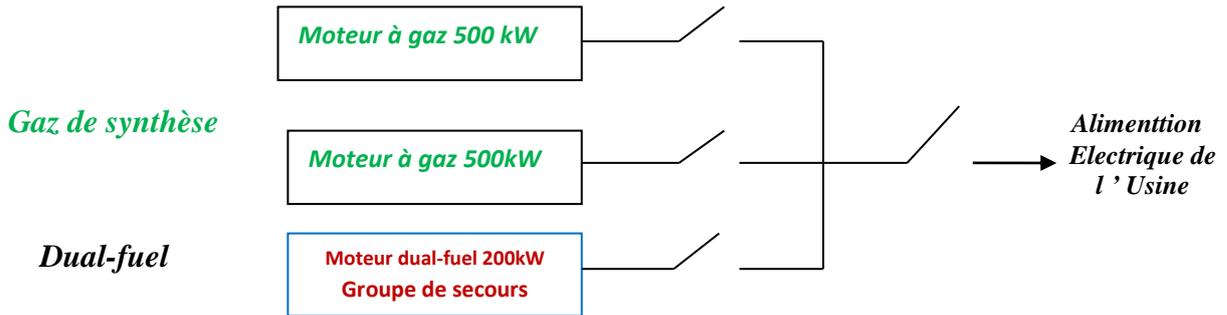


Figure 40 - Schéma de montage des 2 moteurs à gaz / 01 groupe électrogène

II.1.1.5.2 - La production d'électricité par une turbine à vapeur

Dans une rizerie, la cogénération n'est pas bien adaptée car la production de la vapeur n'est pas nécessaire.

II.1.1.5.3 - Comparaison thématique des turbines et des moteurs à gaz

	<i>Turbines à gaz</i>	<i>Moteur à gaz</i>
<i>Gamme de puissance</i>	1 à 100MW	100kW à 10MW
<i>Energie Electrique</i>	26% - 40%	30 % - 36%
<i>Energie Thermique</i>	76% Gaz échappements 450-500°C	32% gaz échappement 400-500°C 3% circuit refroidissement huile, eau chaude à 80°C 20% circuit refroidissement eau, eau chaude à 80°C 7% circuit refroidissement intermédiaire, eau chaude à 30°C
<i>Fonctionnement</i>	Démarrage rapide, automatisme poussée	Démarrage rapide
<i>Charge</i>	Bon fonctionnement en charge partielle	Fonctionnement moyen en charge partielle
<i>Maintenance</i>	Réduite	Accrue
<i>Fréquence de révision</i>	30 000 heures	15 000 heures
<i>Huile</i>	Peu de consommation	Grande consommation
<i>Durée de vie</i>	20 ans	6 – 11 ans
<i>Sensibilité</i>	Au soufre Aux métaux lourds A l'humidité	Aux composés halogénés Au soufre (1500 – 2500ppm) A la faible concentration de méthane

<i>Variations de charge</i>	Baisse de rendement	Peu sensible
<i>Pré-traitements</i>	Lavage des poussières, des sulfures et des gaz acides Compression (1 à 3 étages) élevée (10-15bars) – refroidissement pour la purge des condensats Filtration	Séchage du gaz Filtration des poussières Compression (moins d'un bar)- refroidissement pour la purge des condensats
<i>Coûts</i>	Coûts d'investissement élevés Faibles coûts de fonctionnement	Faibles coûts d'investissement Coûts de fonctionnement élevés

Tableau 11- Comparaison thématique des turbines et des moteurs à gaz

Source : Turboméca « Gas engine – Gas turbine , Technical comparaison ; SWANA 93 ; ETSU90

En dessous de 30 kWe, on trouvera uniquement des moteurs à gaz ou dual fuel.

Entre 30 kWe et 250 kWe, il y a le choix entre moteur à gaz ou dual fuel ou microturbine.

Entre 250 kWe et 1,2 MWe, on trouvera des moteurs à gaz ou dual fuel. Dans certains cas, on peut également choisir de mettre plusieurs microturbines en parallèles.

II.1.1.6 – Le bilan prévisionnel - la présentation des solutions retenues – Décisions [20][GIT1987], [19][GIL1998], [39][REC2009]

II.1.1.6.1- Le bilan prévisionnel : chiffres clés des investissements

Rizerie

- **Production de balle riz :** 1,8 – 2,4 t/h
- **Consommation électricité maximale (dont séchoirs 100kW)** 800kW

Bâtiments (L x l x h)

- **Hall pour balle de riz** 40 x 14 x 8m
- **Bâtiment semi-ouvert pour l'unité de gazéification** 20 x 8 x 8 m
- **Investissement** Hors fourniture

Unité de gazéification

- **Ensemble des matériels et appareils du gazéificateur** 1 200 000 Euros

Moteurs à gaz

- **Puissance électrique sortie de l'alternateur** 1 000 kW
- **Investissement** 1 250 000 Euros

Raccordement électrique

- **Investissement** 100 000 Euros

Transport CAF TAMATAVE (Mg)

- **Investissement** 190 000 Euros

Centrale électrique

- **Consommation de balle de riz** **1,83 t/h**
- **Production électrique nette** **1000 Kw**
- **Durée de fonctionnement** **7500h /an**

TOTAL INVESTISSEMENTS (hors raccordement séchoirs) 2 740 000 Euros

II.1.1.6.2 - Présentation des solutions retenues

La Balle de riz est donc la source d'énergie renouvelable la plus adaptée, la plus économique, la plus astucieuse pour une rizerie.

- La solution uniquement orientée sur la production de l'électricité élimine la cogénération car l'installation n'a pas besoin de vapeur. La turbine à vapeur n'est pas prise comme solution.
- La turbine à gaz pourrait être une solution mais la gestion des puissances exige la minimisation de la mise en marche du groupe thermique en cas de panne ou de secours.

Si on aura des problèmes fréquents ou prolongés de la turbine à gaz, on revient encore à la situation initiale.

II.1.1.6.3 - Décisions

Décision 1 : Le choix du moteur à gaz

Vue les expériences de GE Energy sur la fabrication des moteurs à gaz, le moteur à gaz Jenbacher est la solution la plus adaptée pour la TIKO Rice Mill.

D'après les études des cas citées ci-dessus, le troisième cas de configuration représente les avantages suivants :

- La flexibilité d'utilisation des groupes
- **L'économie de gas-oil car on peut éliminer l'utilisation du groupe thermique** pendant des fonctionnements habituels de la TRMV surtout en cas de panne de groupe .

Pour conclure ce paragraphe, le choix à faire est de prendre DEUX moteurs à gaz de 500kW . Ces deux moteurs sont installés indépendamment en parallèles.

Après plus de cinq décennies d'expérience dans le secteur des moteurs à gaz, des milliers de moteurs GE Jenbacher sont maintenant installés dans le monde entier.

Ces générateurs de moteur à gaz couvrent une gamme de puissance électrique comprise entre 249 et 9500 kW :

- Type 2 (249-330 kW_e)
- **Type 3 (499-1063 kW_e) : le type qui répond aux besoins de la Tiko Rice Mill**
- Type 4 (844-1489 kW_e)

- Type 6 (1600-4400 kW_e)
- Type 9 (9500 kW_e)

Ce moteur Type 3 (499-1063kW_e) que nous allons choisir sera configuré pour produire de l'électricité uniquement.

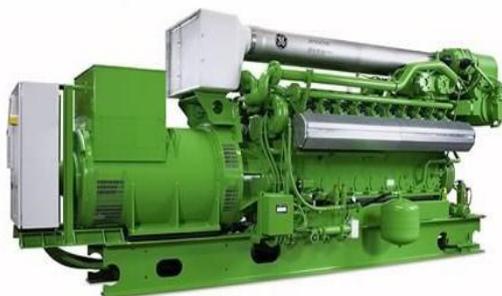


Figure 41 - Un moteur Jenbacher type 320 répondant au besoin énergétique de la Tiko Rice Mill

Décision 2 : Le remplacement d'un groupe électrogène

- Le remplacement d'un groupe électrogène veut dire que ce générateur va être vendu. Suite à des recherches des ordres de prix sur le marché sur différents sites de fournisseurs ou de vendeurs, ce type (Annexe 6) coûtera aux environs de 400 000 – 500 000 Euros. Le coût de l'investissement de 2 740 000 Euros sera réduit du montant de cette vente. Le montant de vente d'un groupe peut être considéré au moins une année d'économie de carburant, *donc le TRI de 7,7 années du paragraphe III.6.2 deviendra 6,7 années.*
- Le remplacement d'un groupe thermique alimenté par un carburant coûteux par deux moteurs à gaz, alimenté par un combustible de bon marché avec le double de puissance, représente la grande économie de ce projet.

() Le prix actuel (Mai 2014) est de 2 860 Ariary. Ce prix est variable en fonction de la hausse de prix de carburant ; le frais de transport et le frais administratif ne sont pas encore compris.*

Prix GO Ar/kg paddy = Prix 1 litre tout compris x coefficient multiplicateur de consommation

II.1.1.6.4 – L'économie obtenue par la substitution de gas-oil

- Le prix de gas-oil consommé pendant 2008 :
2 860 Ar /l x 415 716 L = 1 188 947 760 Ariary = 370 534,15 Euros (*)
- Le Temps de Retour de l'Investissement (TRI) :
2 740 000 Euros : 370 534,15 Euros = **7,4 années.**

(*) Taux de change en date de 01/07/14 : 1 Euro = 3 208, 74 Ar

D'après notre analyse de coût durant ces trois années d'exercice, la somme des charges (variables et fixes) pour usiner 1 kilo de paddy est égal à 30 Ariary.

Prix d'usinage d'1kilo paddy = Somme des charges + Prix GO Ar / kg paddy

Prix d'usinage d'1 kilo paddy = 30 Ar + Prix GO Ar /kg paddy (Ariary)

L'utilisation des moteurs à gaz va substituer la consommation de GO de l'usine.

L'objectif est de substituer complètement ce carburant. Dans ce cas, nous avons une économie de 100% en GO c'est à dire le coût de carburant est de ZERO ARIARY et le coût d'usinage est de 30 Ariary.

En considérant que le groupe électrogène de secours marche de temps en temps, nous pensons que l'économie en GO est concrètement entre 90 et 100 %.

ECONOMIE DE 90% en GO	Paddy usiné avec moteur à gaz					
Quantité (kg)	50	60	70	80	90	100
Consommation de GO (litre)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Coefficient multiplicateur de consommation (litre/kg)	0,0020	0,0017	0,0015	0,0013	0,0011	0,0010
Prix GO Ar /kg paddy (*)	5,72	4,72	4,15	3,56	3,15	2,86
Prix d'usinage d'1kg paddy (Ar)	35,72	34,72	34,15	33,56	33,15	32,86
GAIN sur le coût d'usinage (Ar)	51,48	43,76	36,46	32,19	28,6	25,74

Tableau 12 - Le coût d'usinage d'un kilo de paddy avec une économie de 90% de GO

Source: L'auteur

II.1.1.6.5 - Les gains obtenus par la TRMV

- La durée de vie d'un moteur à gaz est définie à 100 000 heures de marche. Avec les 7500 heures de travail annuelles de la TRMV, le moteur va fonctionner pendant au moins 13 ans. Nous avons donc 9 années de marche pour gain après amortissement en assurant des entretiens et maintenance strictement rigoureux.

- Les gains par la substitution du gas-oil.
- Les gains par la vente de cendre et /ou les avantages par son utilisation directe.

II.1.1.7 - Le suivi de la réalisation

		Paddy à usiner (tonnes)	ECONOMIE en Gas-oil		CUMUL sans C.V. Euros	Certificat Vert (*) Euros	Gain annuel Avec C.V. Euros	CUMUL avec C.V. Euros
			Ar	Euros				
1ère année	2016	35 000	800 800 000	249 568,37	249 568,37			
2ème année	2017	50 000	1 144 000 000	356 526,24	606 094,61	572 000	928 526,24	1 178 094,61
3ème année	2018	60 000	1 372 800 000	427 831,49	1 033 926,1	572 000	999 831,49	2 177 926,09
4ème année	2019	70 000	1 601 600 000	499 136,73	1 533 062,83	572 000	1 071 136,73	3 249 062,82
5ème année	2020	80 000	1 830 400 000	570 441,98	2 103 504,81	572 000	1 142 441,98	
		295 000	6 749 600 000	2 103 504,81	2 103 504,81	2 288 000,00	4 391 504,80	

Tableau 13 - Résultats prévisionnels de l'économie obtenue en fonction de la capacité d'usage

Source : L'Auteur

II.1.2 – Le reengineering

II.1.2.1 – La recherche des opportunités de la reengineering

II.1.2.1.1 – La production durable et renouvelable de l'électricité

L'énergie durable est le secteur de développement fondamental pour l'industrie. Ce qui trouve et possède des ressources renouvelables va avoir une production durable.

Les industriels doivent savoir retenir et pratiquer une ou des procédés cités ci-après [42][WIM1983],[68] pour qu'ils puissent progresser à avoir une économie d'énergie considérable :

- Maîtrise des procédés et de l'énergie
- Utilisation plus rationnelle et gestion de l'énergie exemple la cogénération
- Promotion de nouvelles sources d'énergie renouvelables
- Procédés innovants : combustibles de synthèse renouvelables ...
- Amélioration des technologies de production, stockage, transport
- Analyse du cycle de vie: procédé , produit
- Limitation Impact environnemental

Pour l'électricité d'une rizerie, la balle de riz constitue une source renouvelable et fournit continuellement de l'énergie nécessaire à son installation.

I.1.2.1.2 – La réorientation des activités agro-industrielles et environnementales au processus du développement durable

II.1.2.1.2.1 - Le Silicium et l'agriculture [44],[55]

Le silicium est un élément minéral tout comme l'azote, le phosphore ou le potassium. Il est très présent dans le sol, mais sous forme de SiO₂ non disponible à la plante. Sa forme soluble est l'acide ortho-silicique Si(OH)₄ très peu présent dans le sol. C'est l'élément peu ou pas connu par les agriculteurs qui est très peu utilisé par eux.

Depuis quelques années, les recherches menées sur l'effet de cet élément ont montré que le silicium optimise la nutrition hydrominérale de la plante tout en préservant l'environnement par application de préférence foliaire.

En 1964, Okuda et Takahashi ont remarqué que le silicium peut réduire l'absorption du phosphore si ce dernier est en excès et qu'il peut l'accroître en cas de carence. En conséquence, le silicium est un agent fertilisant essentiel. Dans la cas de l'utilisation des silicates comme fertilisants, ils permettent une meilleure assimilation de potassium chez le riz. [27][JUL1985]

II.1.2.1.2.2 - La fertilisation vers une culture biologique

Les intrants agricoles sont responsables de consommations d'énergie fossile et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) via leur production, notamment parce que la plupart d'entre eux sont issus de la pétrochimie. Les engrais sont également responsables d'émissions de GES via leur utilisation. L'ensemble de ces consommations et émissions doit être pris en compte ici. [4][ALE2005] p196

Emissions de protoxyde d'azote engendrée par l'épandage d'engrais azotés [5][ALF] pp196

Le protoxyde d'azote (N₂O) est le principal gaz à effet de serre issu du recours aux engrais agricoles, en particulier les ammonitrates ou l'urée. Ces émissions de N₂O sont encore difficiles à estimer avec précision.

Le Bilan Carbone propose une estimation de ces émissions montrant qu'elles sont ce pendant loin d'être négligeables. Dans sa version 4, les données de référence sur les facteurs d'émission proposent, pour le poids de N₂O en pourcentage d'azote (N) de départ, la valeur par défaut de 3,10%. Une tonne d'azote épandue par an correspond donc à l'émission de 31 kilogrammes de N₂O, sachant tout de même que le rapport sur les facteurs d'émissions du Bilan Carbone précise que l'incertitude sur ces chiffres est très élevée : de l'ordre de 70%. Or le N₂O est un gaz à effet de serre ayant un pouvoir de réchauffement global (PRG) intrinsèque sur 100 ans 310 fois plus élevé qu'une masse équivalente de CO₂ : au regard de son pouvoir de réchauffement climatique, émettre une tonne de N₂O équivaut à émettre 310 tonnes de CO₂, sur cette période de 100 ans.

L'épandage d'une tonne d'azote par le biais d'engrais azotés conduit donc à l'émission de l'équivalent de $0,031 \times 310$ soit 9,61 tonnes de CO₂. Pour donner un ordre de grandeur, et d'après une simulation réalisée avec le tableur de la méthode Bilan Carbone, c'est à peu près ce qu'engendre une voiture au cours d'un trajet de 38 000 kilomètres.

En vue de pratiquer une riziculture biologique, le compostage biodégradable est un chemin à prendre. (cf. *Compostage p.42*)

Résultats :

- Réduction des GES issus de l'épandage des engrais chimiques et des produits phytosanitaires
- Réduction des coûts à l'ha
- Humification des sols.

II.1.2.2 - En route pour le Reengineering : Vers l'économie verte

Par définition, l'économie verte est une économie qui entraîne une amélioration du bien-être humain et de l'équité sociale tout en réduisant de manière significatives les risques environnementaux et la pénurie des ressources.

Elle se caractérise par un faible taux d'émission de carbone, l'utilisation rationnelle des ressources et l'inclusion sociale.

L'application de la Formule des **4R**, le ZERO DECHET : **R**éduire, **R**esponsabiliser, **R**éutiliser, **R**ecycler prouve que la balle de riz pourra atteindre ce but de ne pas avoir que le zéro dechet après toutes valorisations.

II.1.2.3 - La réussite par le Reengineering : la chimie verte appliquée à la TRMV:

Depuis la première mise en marche de l'usine, nous avons procédé suivant le *modèle industriel standard*.

Modèle industriel standard : Extraire/collecter → Produire → Distribuer → JETER

- **Extraire /collecter** : acheter et faire entrer du paddy dans les silos
- **Produire** : usiner pour avoir de riz blanc
- **Distribuer** : mettre en vente le riz sur le marché
- **Jeter** : jeter les déchets afférents

Maintenant, le Reengineering nous incite à élargir notre vision sur une nouvelle approche. Le *modèle d'éco-efficacité* va compléter ce qu'on a déjà pratiqué.

Modèle d'éco-efficacité : (Jeter) → Réutiliser → Recycler → Réglementer

La combinaison de ces deux modèles se résume sur la figure 42 en trois mots :

EFFICACE , ECOLOGIQUES , COMPETITIFS

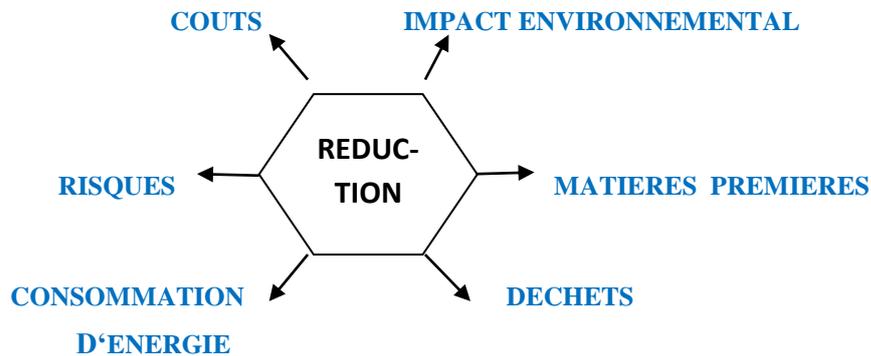


Figure 42 - Vision permanente d'une entreprise agro-industrielle

Source : L'Auteur

II.2 - SYNTHESE DES UTILISATIONS DE LA BALLE DE RIZ ET LEUR APPORT AU DEVELOPPEMENT DURABLE

II.2.1 – La création d'une Unité Combinée de VALorisation de la Balle de RIZ (UCOVALBRIZ)

II.2.1.1 - Les potentialités de la balle de riz et ses coproduits

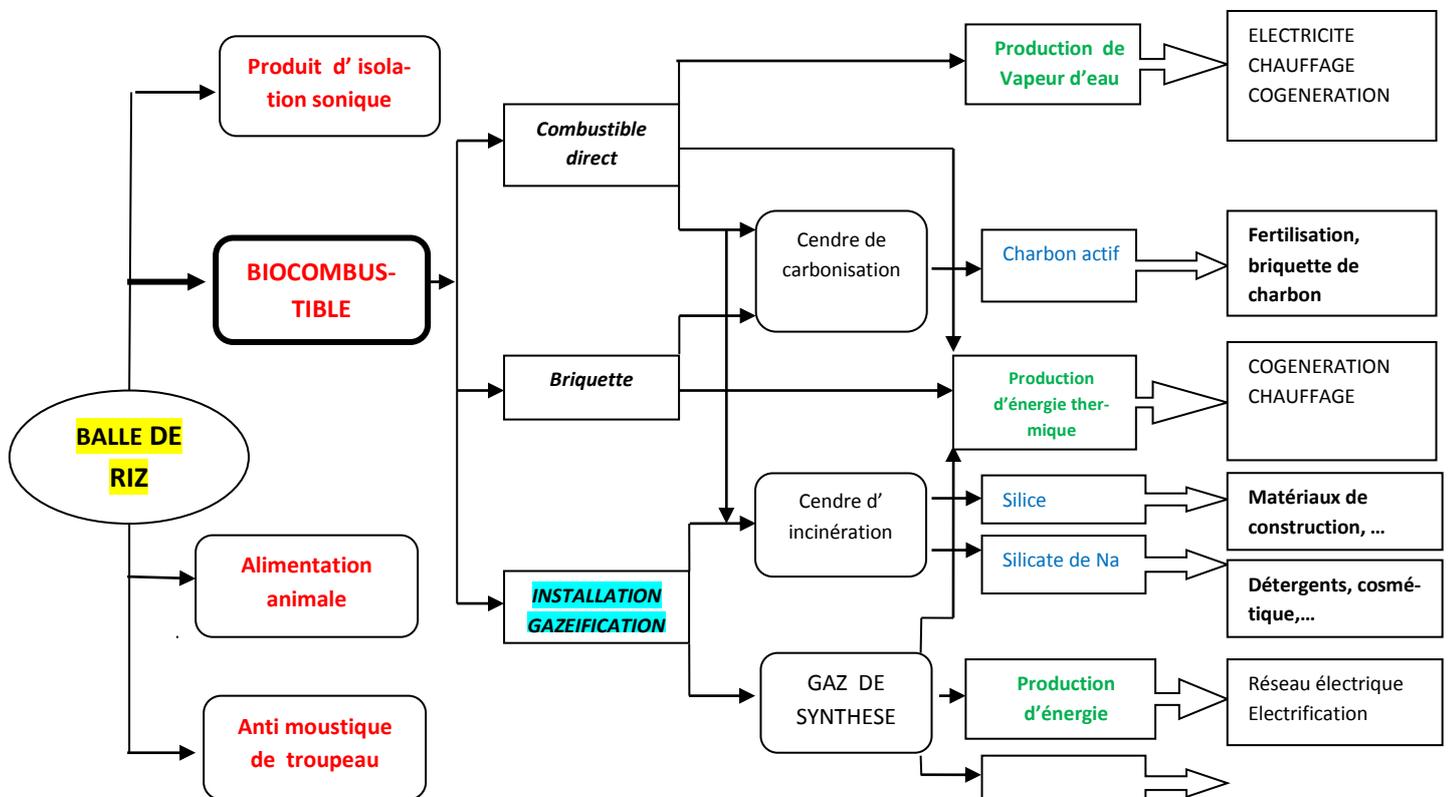


Figure 43 – Représentation schématique des potentialités de la balle de riz et ses coproduits

Source : L'auteur

La valorisation des déchets est optimale si on arrive à soutirer plusieurs applications avec des coûts minimaux.

Pour la BR et ses coproduits, la *valorisation partielle* n'apporte pas de valeurs considérables pour son exploitation. Les gains ou bénéfices rendus sont insatisfaisants.

II.2 .1.2 – L'Unité Combinée de Valorisation de la Balle de Riz

Face à toute considération, la synthèse des phases de l'Analyse de la Valeur nous conduit à la création de l'Unité COmbinée de VALorisation de la Balle de RIZ, appelée UCOVALBRIZ.

Elle rassemble conjointement les séquences d'utilisation et de valorisation de la balle de riz et ses coproduits. L'UCOVALBRIZ comporte les unités suivantes :

- **Déco – rizerie : production de BR**
- **Centre de stockage de balle de riz**

- **Unité de *production* de gaz de synthèse**
- **Unité de *production* d'électricité**

- **Unité de *production* de compost**
- **Unité de *production* de brique de charbon**

- **Unité de conditionnement : fertilisant, compost, charbon, agro matériaux, éco- matériaux**

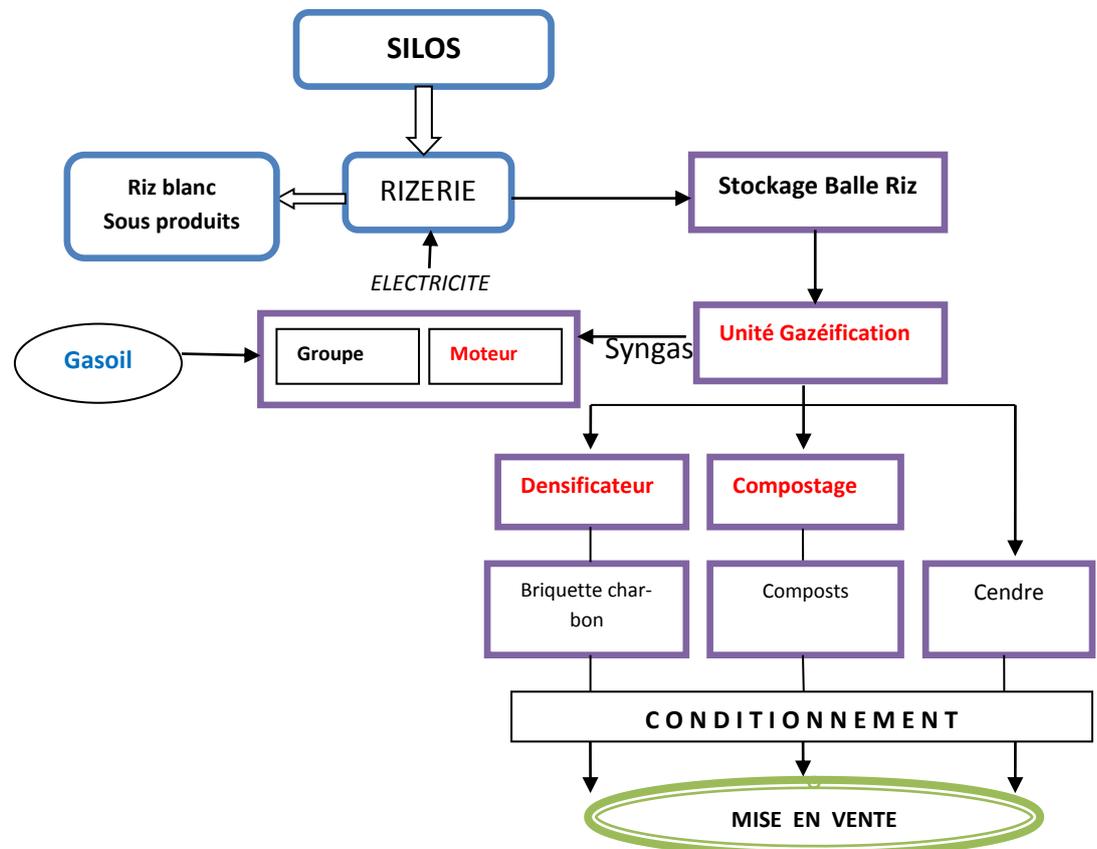


Figure 44 - Unité COmbinée de VALorisation de Balle de RIZ

Source : L'Auteur

L'ensemble des 4 unités de production (riz, briquette de charbon, composts, cendre conditionnée) constitue l'ossature de la valorisation optimale de la balle de riz et ses coproduits.

II.2.1.3 - L'estimation des coûts d'investissement pour une UCOVALBRIZ

	<i>Coûts d'investissement (En Euros)</i>	<i>Equivalent Coûts (En ariary)</i>	<i>Etape de réalisation</i>	<i>Observation</i>
Stockage Balle de riz				
Unité de gazéification	1 200 000			
Unité de production de l'électricité 1MW	1 250 000			
Raccordement électrique, transport	290 000			
SOUS TOTAL 1			1 ère étape	1ère valorisation
Unité de densification	A évaluer			
Unité de compostage	A évaluer			
SOUS TOTAL 2			2ème étape	2ème valorisation
Unité de conditionnement	A évaluer			
SOUS TOTAL 3			3ème étape	3ème valorisation
TOTAL GENERAL	2 280 000			

Tableau 14- Estimation des coûts d'investissements pour une UCOVALBRIZ

Source : L'Auteur

II.2.2 – La cohérence de l'utilité de l'UCOVALBRIZ avec le développement durable à Madagascar

II.2.2.1- Le fonctionnement de l'UCOVALBRIZ :

- Dans tout Madagascar existe des rizeries et/ou de décortiqueries qui rejettent la balle de riz. Pour jouir des avantages apportés par une UCOVALBRIZ, il faut l'installer sans rompre la chaîne de production qui la renferme.

Une unité UCOVALBRIZ répond respectivement l'objectif et le principe du MDP ; l'itinéraire à suivre pour adopter le MDP nous conduit à l'affaiblissement des investissements et son impact est le résultat à attendre pour le développement durable.

Principe du MDP [41][VIR2000]

Un Etat ou une entreprise de l'Annexe I (OCDE et pays de l'Europe Est) investit dans un projet de réduction des émissions de GES dans un PED. En échange des réductions constatées, un volume équivalent d'Unités de Réductions d'Emissions Certifiées

(UREC, Certified Emission Reduction) lui est délivré.

Cet investisseur pourra vendre ces Unités sur le marché ou les déduire de ses obligations internationales de réduction.

L'objectif du MDP

➤ Pour les pays industrialisés (pays de l'Annexe I) : il s'agit de réduire le coût de mise en œuvre de leurs engagements de réductions en finançant ou en réalisant des projets de réductions des émissions peu coûteuses dans les PED.

➤ Pour les pays en développement (non Annexe I), il s'agit d'accueillir des projets qui contribuent à leur développement durable. Un transfert de technologies écologiquement rationnelles est censé s'opérer.

Le MDP se présente comme une voie pour attirer les investissements étrangers et pour concrétiser la politique de développement durable.

II.2.2.2 - Le développement durable à Madagascar [44][VIR2000]

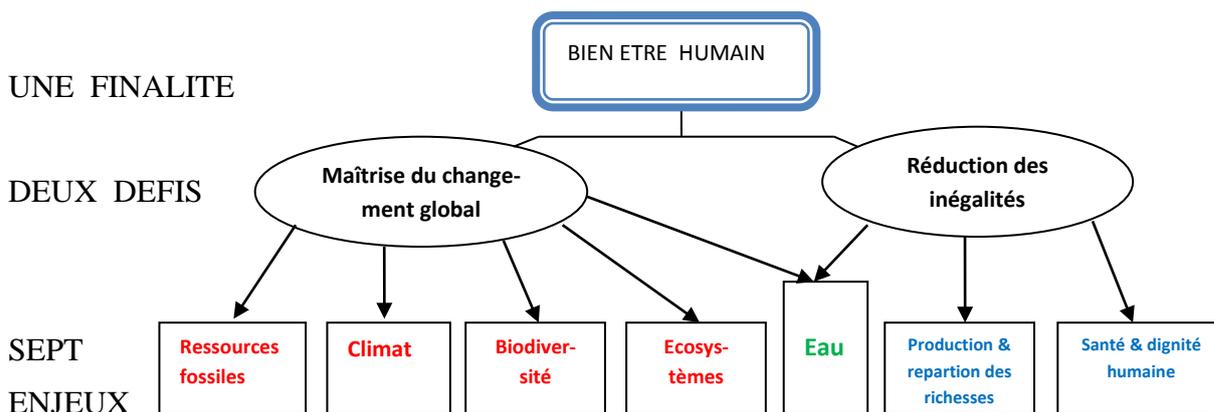


Figure 45 - Une définition opérationnelle du développement durable
Source : [5][ALF2009]

1 point : Plan social [Développement Durable – Novembre 2001]

Les facteurs sociaux du développement durable sont l'accès à l'éducation, l'habitat, l'alimentation, les soins... afin de :

- satisfaire les besoins essentiels des populations : *amélioration de la production rizicole*
- combattre l'exclusion sous toutes ses formes (sociale, professionnelle...) : *création d'emplois*
- stabiliser la croissance démographique.

◦ maîtriser la croissance urbaine et les flux migratoires : *actions contre l'exode rural par le biais du développement local.*

2 point : Plan économique

Le développement durable dépend en particulier :

◦ d'un développement économique respectueux des milieux naturels dont proviennent les ressources de base : on pense au *développement des zones productrices de riz* ;

◦ d'un changement profond dans les relations économiques internationales afin de promouvoir un commerce équitable : développement des commerces par les relations bilatérales ou multilatérales ;

◦ de l'annulation de la dette des pays pauvres et d'une augmentation des investissements afin qu'ils ne soient plus contraints à opter pour des profits à court terme en contradiction avec leur développement durable et celui de la planète : résultat progressif du MDP à Madagascar .

3 point : Plan environnemental

Il faut savoir respecter les principales conditions suivantes :

◦ l'utilisation, la gestion durables des ressources naturelles (air, eau, sol, vie) et des savoirs humains : *réduction des GES , fertilisation des terrains de culture en particulier la riziculture* ;

◦ le maintien d'un certain nombre de grands équilibres naturels (climat, diversité biologique, océans, forêts...) ;

◦ l'économie des ressources non renouvelables (pétrole, gaz, charbon, minerais...) : *substitution du gas-oil par la BR pour son emploi aux générateurs* .

4 point :

L'ensemble de ces conditions ne seront atteintes qu'avec la participation de chacun. Le Développement Durable exige la démocratie et la participation effective de la population à cette démocratie (citoyenneté).

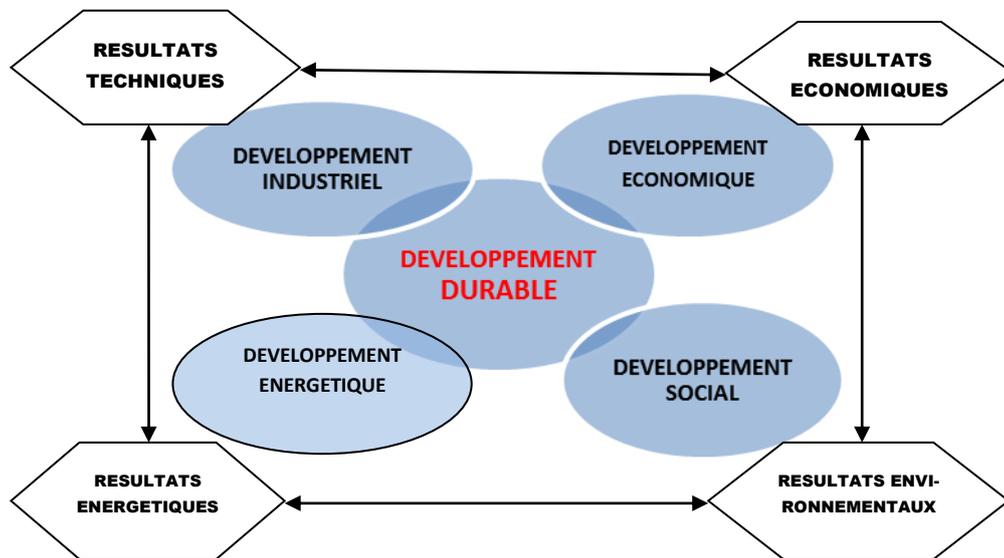


Figure 46 - Les résultats escomptés pour le développement durable à Madagascar

Source : L'Auteur

II.2.3 - La cohérence du développement local intégré avec le développement durable à Madagascar [34][MEG2002],[19][EDF2006],[15][COM2007]

Le développement durable ne pourra se réaliser que si les conditions de vie de la population ne soient améliorées. Cette amélioration nécessite l'accès rapide de tout un chacun à un minimum de services de base, à savoir : la nourriture, la santé, l'eau, l'éducation, les routes, la télécommunication, et surtout l'énergie.

Jusqu'à maintenant, il est à noter que l'énergie n'est pas explicitement prise en compte dans les initiatives de la lutte contre la pauvreté, alors que pour les plus démunies, elle est indispensable à la satisfaction de leurs besoins quotidiens. Sa rareté et son coût relativement élevé aggravent davantage la pauvreté à Madagascar.

Ne possédant pas de combustible fossile exploitable, Madagascar est contraint d'importer du pétrole pour satisfaire ses besoins en consommation énergétique. Presque toutes les branches d'énergie sont utilisées dans le pays : l'énergie traditionnelle (l'énergie musculaire, animale, feu de bois, charbon de bois), l'énergie électrique, l'énergie à base de pétrole, voire les énergies nouvelles (solaire, éolienne ...). [41][VIR2000].

Les ressources naturelles ne sont pas inépuisables et, dans 50 ans, nous serons 9 milliards d'humains. *Changer de mode de vie et inscrire nos politiques dans un développement durable devient une nécessité.*

II.3 - LES IMPACTS SOCIO-ECONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX [39][REC2009]

II.3.1 – Les impacts sociaux

- Création d'emplois
- Amélioration de la façon de vivre: habitation électrifiée, combustible domestique.

II.3.2- Les impacts économiques

III.3.2.1 – Les impacts sur le marché de riz

- La diminution du coût de production de riz blanc qui va privilégier les consommateurs ou la population malgache
- Augmentation des revenus des riziculteurs

III.3.2.2 - Les impacts sur la production rizicole

- Augmentation du rendement de culture
- Réduction du coût de revient à l'hectare
- Conservation et amélioration de la fertilité des sols
- Veille pour la croissance continue de la production

II.3.3 - Les impacts environnementaux

II.3.3.1- Le respect des conditions générales de fonctionnement du MDP

Le Mécanisme de Développement Propre est un mécanisme qui permet aux pays développés de réaliser leurs objectifs de réductions d'émissions de GES en investissant dans des projets réduisant les émissions de GES dans des pays en voie de développement. En retour, ils obtiennent des crédits d'émission pouvant être utilisés pour leurs propres objectifs de réduction d'émissions de GES.

Le Protocole de Kyoto impose 4 conditions pour les projets MDP (critères d'éligibilité) :

- Ratification du Protocole de Kyoto par les deux Etats (investisseur et hôte)
- Le projet doit contribuer au développement durable du pays hôte : il revient à chaque PED de définir et d'établir ses propres critères de développement durable. Certaines ONG ont développé des outils d'évaluation du développement durable. On peut citer la Matrice du Développement Durable présentée par le projet « Sud Sud Nord » ou le « Gold Standard » qui s'en est inspiré supervisé par WWF.

- Le projet doit être approuvé par le pays hôte.

➤ Le projet MDP doit être additionnel : un projet est additionnel s’il permet des réductions d’émissions qui n’auraient pas été réalisées sans la création d’une obligation de réduction des émissions.

II.3.3.2 – L’obligation des mises en place du MDP à Madagascar

II.3.3.2.1 - Calcul de l’URCE

Pour le calcul des certificats verts, on trouvera sur le site <http://www.cwape.be>

Chaque MW de centrale biomasse permet de produire de l’électricité en réduisant environ de 3000 à 5000 tonnes par an les émissions de CO2 par rapport à une centrale électrique équivalente fonctionnant aux énergies fossiles. [45][www.aveva.com].

Emissions de CO2 évités	=	3 000 000 à 5 000 000	kg CO2/ an
Nombre de certificat vert (*)	=	6 500 à 10 000	CV/ an
Economie en combustible	=		kWh /an (...%)

Prix de vente minimum de certificat vert (**)= 6 500 x 88 euros = 572 000 Euros/an

(*) 1CV = 456 kg CO2 [31][MEG2002]

(**) Prix moyen de 1CV au 22/12/08 = 88 euros [31][MEG2002]

Pour finaliser la synthèse de notre recherche, la figure ci-après montre la valorisation complète de la balle de riz nous permet de bénéficier des avantages énormes sur le plan social, économique et environnemental.

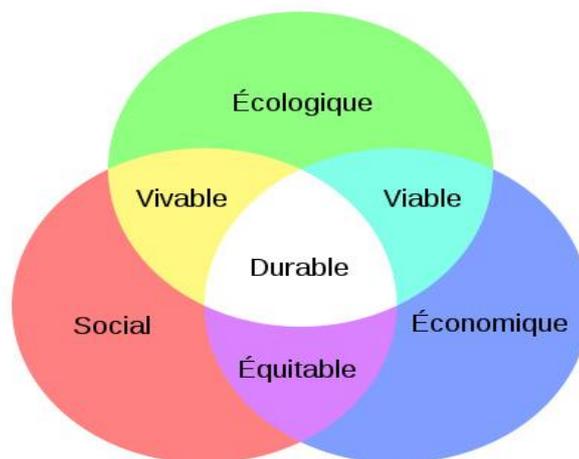


Figure 47 - Synthèse des impacts de l’UCOVALBRIZ

Source : L’Auteur

TROISIEME PARTIE - DISCUSSION

III.1 - LA DURABILITE DU DEVELOPPEMENT DE VALORISATIONS DE LA BALLE DE RIZ

III.1.1 – La maîtrise de la technologie de production d'électricité à partir du gaz de synthèse

III.1.1.1- La purification des gaz de synthèse [36][NOZ2009] [40][VAN1994]

Cette transformation thermo-chimique entraîne aussi la production d'hydrocarbures lourds, des goudrons. Leur élimination, pour garantir un gaz de synthèse de grande qualité, comprend deux étapes principales :

- Une pyrolyse produisant du résidu carboné et des gaz de pyrolyse (incondensable, eau et goudrons).
- Un traitement haute température de ces gaz en lit fixe pour le craquage et le reformage du méthane et des goudrons.

III.1.1.2- Les composés à éliminer [17][DEV2003], [8][BRO2006]

* Les *goudrons* sont des composés entraînant des problèmes pour la bonne marche du procédé de gazéification et également des procédés en aval. Au sein du procédé de gazéification les goudrons se condensent sur les points froids et cela induit des problèmes d'usure, de corrosion et une moins bonne efficacité des échanges thermiques. Par ailleurs, les goudrons peuvent former du coke par cokage ou des suies par polymérisation. Tous ces dépôts sont à l'origine non seulement de colmatage des canalisations ou des installations mais également de la désactivation des catalyseurs.

III.1.1.3- L'élimination des goudrons

* La formation des goudrons commence à faible température lors de la dégradation de la biomasse.

Selon Milne et Evans [MIL1998], nous pouvons citer certaines classifications :



Figure 48 - Formation des goudrons selon la classification de Milne et Evans [MIL1998]

La mise en place d'un traitement semble bénéfique, même cela fait baisser les bénéfices (jusqu'à plus de -50 % du TRI), l'installation n'en reste pas moins rentable. Et, le gain de disponibilité qu'apporterait l'élimination des polluants permet d'avoir un meilleur bilan énergétique et environnemental, avec une augmentation jusqu'à 5 % de l'énergie primaire et

des émissions de CO2. [39][REC2009]

L'objectif est d'obtenir un gaz de synthèse (CO+H2) ayant une teneur en goudrons inférieure à 0.1mg/Nm3.

III.1.3- La maîtrise de l'utilisation des moteurs à gaz

- Concentration en goudrons tolérée pour chaque application [][SWI2004] & [][BAU2006]

Application	Concentration en goudrons
Moteur à combustion	30 – 500 mg. Nm-3
Turbine à gaz	0,05ppm à 5mg.Nm-3
Gaz de synthèse	0,02mg.Nm-3 en particules solides 0,1 mg.Nm-3

Tableau 15 - Concentration en goudrons tolérée pour chaque application

Source : [SWI2004] & [BAU2006]

- La maîtrise technique, des approvisionnements en pièces de rechange

III.1.4 - Recherche des fournisseurs compétents du domaine des moteurs à gaz

III.1.4.1- Les fournisseurs européens [39][REC2009]

Les 3 plus grands fournisseurs constructeurs européens sont:

- GE Energy : Jenbacher en Autriche
- Deutz en Allemagne
- Waukesha en Allemagne

Il ne faut pas oublier que l'un des objectifs est l'application du MDP à Madagascar. Le pays investisseur doit être appartenue dans les pays de l'Annexe I / OCDE.

III.1.4.2- Les fournisseurs asiatiques (chinoises)

Avec l'émergence économique des produits chinois dans le marché mondial, il y a plusieurs fournisseurs constructeurs chinois qui travaillent dans le domaine de la production d'électricité à partir de la biomasse, y compris la BR. Citons les 5 plus grands établissements constructeurs :

WUXI, FengYU, GREENPOWER, ETES, POWERMARX, SHANDONG HUAN-HAI

III.1.4.3- Leurs différences et leurs avantages

	Fournisseurs européens	Fournisseurs chinoises	CHOIX	Observations
Prix Unité de gazéification	1 200 000 Euros	165 978 Euros	Chinois	
Prix Moteur à gaz	1 250 000 Euros	292 902 Euros	Chinois	
Raccordement & transport	290 000 Euros	A fournir par le fabricant		
Service après vente	A fournir par le fabricant	A fournir par le fabricant		
Rendement électrique	A fournir par le fabricant	A fournir par le fabricant		
Contrat de maintenance	A obtenir après Contrat d'achat	A obtenir après Contrat d'achat		
Coût de l'installation	2 740 000 Euros	458 880 Euros	6 fois moins	
AVANTAGES	*Longue durée de vie de l'installation *Pays hôte bénéficiaire pour la vente de CV	*Matériels très bon marché *TRI = moins de 3ans *Ensemble complet de l'installation		
INCOVENIENTS	- Matériels trop cher - TRI = plus de 7ans - Coût de maintenance élevé - Ensemble de gazéification et moteur séparé	-Pièces de rechange facilement endommagées -Pas de pratique MDP -Barrière linguistique		

Tableau 16 – Les avantages et inconvénients entre les fournisseurs des installations

Source : L'auteur

III.2 – LA VULGARISATION DES TECHNIQUES APPROPRIÉES POUR LE DEVELOPPEMENT LOCAL

III.2.1 – Les barrières culturelle et économique

Pour la vulgarisation en milieu rural, les paysans ont toujours des comportements non réceptifs. Il pense que les résultats d'une telle action et d'un tel projet ne les apportent pas concrètement des avantages directs.

Comme tous les projets à réaliser, des pratiques de l'IEC devront accompagner les actions sur terrain.

- Absence/ insuffisance de culture entrepreneuriale et industrielle: aversion du risque du Malagasy Culture de *fihavanana* pouvant aboutir à la déresponsabilité
- Culture *du moramora*
- Culture de *l'innovation*
- Solidarité nationale – Concept du Vita Gasy

L'un des points clés pour parvenir à une politique énergétique performante reste l'évolution des comportements: pour que tous les acteurs se sentent concernés, se mobilisent et agissent, s'informent et se sensibilisent.

Les interventions, les actions à entreprendre vont s'adresser à la fois au grand public, aux collectivités locales, aux professionnels, ...

III.2.2 – Les zones d'application limitées

* Dans les zones n'utilisant pas de réseau électrique principal, une électricité produite localement est parfaitement adaptée en tant que moyen rentable pour répondre à la demande locale en électricité tout en réduisant significativement les frais d'installation ou de mise à niveau du réseau. En alimentant directement en énergie au niveau de la charge, il est également possible de réduire ou d'éviter les pertes de transport et de distribution.

* Pour les zones productrices de riz comme Alaotra, Marovoay, Samangoky, le projet est valable dans son intégralité ; par contre les zones ayant des moyennes et petites surfaces de rizières, l'action pourrait être faite de façon partielle.

III.2.3 – Des réticences à la réalisation des résultats de recherche

* Beaucoup de projet d'excellence ont été démontré qu'ils vont apporter des développements. Par faute de moyens financiers et humains, il y a beaucoup d'échec lors de leur réalisation.

- * Faiblesse mise en œuvre et non appropriation des politiques sectorielles
- * Faible capacité de facilitation,
- * Faible capacité de mise en œuvre des stratégies: échec d'opérationnalisation des structures de proximité pour le développement
- * Faible capacité de mobilisation du secteur

CONCLUSION

Dans ce travail, notre objectif a été principalement la VALORISATION OPTIMALE de la balle de riz dans une grande rizerie industrielle, la Tiko Rice Mill Vohidiala, d'une capacité de traitement prévisionnelle de 80 000 tonnes de paddy par an.

En effet, les premières années de fonctionnement ont montré les problèmes de coûts liés à l'utilisation du Gas-oil pour produire l'électricité destinée à la marche de l'usine ainsi que les problèmes d'encombrement et d'environnement posés par la balle de riz qui représente 20 à 23% de la masse de paddy.

Il était donc important d'étudier les possibilités d'utiliser la balle de riz pour produire l'électricité pour l'usine.

Nous avons adoptés l'approche de l'Analyse de la Valeur et du Reengineering pour mener notre étude.

Dans cette optique, nous avons d'abord procéder à une collecte systématique des informations : recherche bibliographique classique, webographie, recherche de brevets, enquêtes et visites sur terrain pour approfondir les expériences pratiques existantes.

Cette recherche documentaire nous a montré que chaque type d'utilisation est fonction de la quantité de balle de riz disponible sur place : plus cette biomasse est concentrée sur une même localité, plus les gains à obtenir sont importants.

Nous avons ensuite appliqué la démarche retenue au cas de la TRMV que nous connaissons bien comme responsable technique direct.

Après une étude détaillée des différentes options possibles, nous proposons comme choix technique la mise en place d'une unité de gazéification pour produire du gaz de synthèse. Ce gaz de synthèse alimentera deux moteurs à gaz de 500 kW.

Nous discutons des offres des fournisseurs. Les investissements correspondants au choix que nous proposons se monte à 2 740 000 Euros. Dans ce cas, l'usine pourrait se passer totalement de gas-oil importé.

Au prix actuel du gas-oil, grâce à cette substitution, le temps de retour de l'investissement serait de 6,5 années.

Par ailleurs à partir des informations obtenues, nous avons utilisé la cendre de balle de riz pour préparer du compost avec des composantes disponibles localement. Le compost enrichi en silice, obtenu au bout de 21 jours, a été appliqué sur rizière (5 hectares) et donne un excellent résultat.

La cendre siliceuse donne également de bon résultats sur le maïs et le haricot. Ces résultats méritent d'être approfondies.

Nous terminons notre travail en esquissant l'intérêt de valoriser l'utilisation de la balle de riz pour vendre des « unités d'émission carbone » dans le cadre du MDP.

L'ensemble de nos résultats explique le titre de notre mémoire : « *La balle de riz : une biomasse par excellence pour le développement durable à Madagascar* » et notre proposition de créer une Unité Combinée de Valorisation de la Balle de riz.

RÉFÉRENCES

A

-
- [1][AAL2008] Aalborg Energie Technik a/s . *Energies d'Avenir , solutions franco-danoises* . Danemark
- [2][AFH2007] Association Française de l'Hydrogène . *Situation mondiale de l'énergie*. Mémento de l'Hydrogène , 2007,vol. Fiche 1.1.
- [3][ALE2005] ALEXIS T. Belonio . *Rice Husk Gas Stove Handbook*. Appropriate Technology Center.Department of Agricultural Engineering and Environmental Management. Central Philippine University. Iloilo City, Philippines, 2005
- [4][ALE2005] ALEXIS T. Belinio.*Gas Stove Using Rice Hull as Fuel*. Glow. Volume 35. Yogyakarta, Indonesia , Asia Regional Cookstove Program,May 2005 .
- [5][ALF2009] ANNE Lise Fèvre-Gautier. *Analyser la durabilité du développement de valorisation non alimentaire des agro-ressources*. Thèse de Doctorat , Spécialité Développement Durable. Université de Troyes . France, Février 2009
- [6][ALL2006] ALLEN M .L. *The Manufacture of a Cement Extender from Rice-Husks using a Basket-Burner* , Prince of Songkla University, Thailand
- [7][ANN2008] ANNICK Lempereur et Dimitri Eggermont. *Réaliser une étude de faisabilité d'une cogénération dans les règles de l'art*. Cahier de charges réalisé par le Facilitateur en Cogénération de la Région wallonne. Version 5 du 22 Décembre 2008

B

-
- [8][BRO2006] BROTHIER M. *Etude de la conversion/purification de gaz issus de la pyrolyse de biomasse- Volet 4- Résultats des campagnes d'essais*. NT DTN/STPA/LPC/2006-004, 2006.
- [9][BTG2007] Biomass Technology Group : Tar & Tar removal. 2007

C

-
- [10][CEA2011] Commissariat à l'Energie Atomique . *Mémento sur l'Energie* . 2011.
- [11][CLA2005] CLAUDET G. *La valorisation énergétique de la biomasse*. L'énergie de demain, techniques- environnement – économie, 2005, pp.295-318
- [12][COG2003] COGEN 3. Proven ,Clean and Efficient Biomass, Coal, Gas Cogeneration The EC-ASEAN Business Facilitator . December 2003 . *Technical Report Available Cogeneration Technologies in Europe, Part I , Definitions and Systems* , p 1-21 .
- [13][COG2003] COGEN 3. Proven ,Clean and Efficient Biomass, Coal, Gas Cogeneration The EC-ASEAN Business Facilitator . December 2003 . *Technical Report Available Cogeneration Technologies in Europe, Part II , Technologies and Products* ., p 1-56

[14][COM2007] Commission européenne, Projet GEESFORCOM, CIRAD . *Electrification rurale à Madagascar*. Scénarisation du nombre de consommateurs et des puissances Escomptées pour le dimensionnement d'une centrale biomasse. Août 2007

[15][COUT2009] COUTURIER CH. *Technics of Power production from biogas and syn-gas* , SOLAGRO , N 07-0226/1A , Janvier 2009.

D

[16][DER1987] DERICK W. Brinkerhoff , JANET C.Tuthill . *La gestion efficace des projets de développement* . Kumarian Press , 1987

[17][DEV2003] DEVI L., Ptasinski K. J., Janssen F.J.J.G. *A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes*. Biomass and Bioenergy, 2003, vol.24, pp.125-140.

E

[18][EDF2006] EDF . *Lutter contre le changement climatique*. Développement durable , 2006, pp. 18-31

G

[19][GIL1998] GILLES Bressy , CHRISTIAN Konkuyt . *Economie d'Entreprise – Aide mémoire* , Editions Sirey 4^e edition ,1998, pp.220-270

[20][GIT1987] GITTINGER J.P. *Analyse économique des projets agricoles* . Série IDE sur le Développement économique. Edition Economica-1987 pp

[21][GOE2010] GOEFF Hogan. *Information Sheet4.CHP*. v5 UK

I

[22][ISM2003] ISMAEL Daoud . *Installer une cogénération dans votre établissement*. Guide de Pré-faisabilité pour les Acteurs du Secteur Tertiaire, PME, PMI. Institut Wallon asdl . Mars 2003

[23][INT2004] INTERREG IIIA France-Suisse. *Les Energies Renouvelables au Service Développement durable. Bilan énergétiques : comparaison entre les régions*, Août 2004

J

[24][JAK1994] JAKOBIAK François . *Pratique de la Veille Technologique* . Les Editions d'organisation

[25][JAK1995] JAKOBIAK François . *Information , Innovation , Japon, Réseaux* .DEA VT Aix-Marseille-94/95-01

[26][JAN2004] JAN WILLEM Dogger . *Idées nouvelles pour des fourneaux de cuisine*. 2004

[27][JUL1985] JULIANO, B.O. *Rice Chemistry and Technology*. The American Association of Cereal Chemist, Inc. St. Paul, Minnesota, USA , 1985, pp774

K

[28][KOM1989] KOMAR A . *Matériaux et éléments de construction*. Editions Mir Mouscou 1989, pp. 121-171, 232-243

L

[29][LAU2003] LAURENT Van de Steene. GIRARD Philippe, CIRAD- Foret , 2003 : Magazine Bois Energie- Dossier Cogénération pp.25-28

M

[30][MAN1987] MANUEL Bridier , SERGE Michailof, *Guide pratique d'analyse de projets*. 4eEdition - Economica, 1987, pp.7-26, 67-80, 215-221

[31][MEG2002] MEGIE G., Jouzel J. : « *Les changements climatiques* ». Johannesburg Sommet Mondial du Développement durable 2002, Quels enjeux ? Quelle contribution des Scientifiques ? pp.135-174.

[32][MIC2010] MICHEL Villoz. *Energie renouvelable, Tour horizon, Quelle énergie renouvelable choisir ?* 2010

N

[33][NOZ2008] NOZAHIC Françoise, *Production de gaz de synthèse par interactions a haute température du gaz, des goudrons et du résidu carbone issus de la pyrolyse de biomasses*. Thèse de Doctorat , Spécialité Génie des Procèdes et de l'environnement, Institut National Polytechnique de Toulouse, Janvier 2008 , pp

O

[34][OBE2004] OBERNBERGER Ingwald, GEROLD Thek, February 2004 : *Basic information regarding decentralized CHP plants based on biomass combustion in selecte IEA partner countries/ Final report* . Graz University of Technology, Austria .

[35][OBE2002] OBERNBERGER Ingwald, PETER Thonhefer, ERWIN Rissenhefer , October 2002 : *Description and evaluation of the new 1,000kWel Organic Rankine Cycle process integrated in the Biomass CHP Plant in Lienz, Austria* . Published in Euroheat and Power , Volume, 10/2002 .

P

[36][PLA2008] *Synthèse du Plan Régional de Développement Alaotra Mangoro*

[37][PÖR2008] PÖRNER GRUPPE. Rice Husk Technology, Green Technology.

R

[38][RAN2009] RANDRIAMORASATA ANDRIANOELY Andy Ravaka. *Valorisation de la biomasse pour la production d'électricité*. Mémoire de Fin d'Etude DEA, Département Génie Electrique, 2009

[39][REC2009] RECORD. *Techniques de production d'électricité à partir de biogaz et de gaz de synthèse*. Etude Record n°07-0226/1A

V

[40][VAN1994] VAN de Steene L., Girard P. *Le point sur la gazéification de la biomasse*. Bois énergie, 2003, vol. 1, pp. 25-28

[41][VIR2000] VIRGINIE Bineau, YVES Maigne, FAOUZI Senhaji. Fondation Energies pour le Monde. *Guide pratique du Mécanisme de Développement Propre et de son application à l'électrification rurale par énergies renouvelables*. Editeur Systèmes Solaires

W

[42][WIM1983] WIMBERLY, J.E. : *Technical Handbook for Paddy Rice Postharvest Industry in Developing Countries*. Los Banos, Laguna: International Rice Research Institute, 1983

WEBOGRAPHIE

- [43] [http:// www.aet-biomass.com](http://www.aet-biomass.com)
- [44] <http://www.afh2.org/uploads/memento/Fiche%201.1%20revissee.pdf>,
- [45] [http:// www.areva.com](http://www.areva.com)
- [46] <http://www.bioenergy-news.com>
- [47] [http:// www.biomassenergycentre.org.uk](http://www.biomassenergycentre.org.uk)
- [48] <http://www.bios-bioenergy.at>
- [49] [http:// www.cogensud.be](http://www.cogensud.be)
- [50] <http://www.culturesfrance.com/adpf-publi/folio/johannesburg/index.html>
- [51] <http://www.ec.gc.ca/cleanair-airpur>
- [52] http://www.edf.com/index.php4?coe_i_id=150001
- [53] <http://www.energyefficiencyasia.org>
- [54] <http://energiesnouvelles.free.fr/Sources/renouvelables/biomasse.html,2007>.
- [55] <http://www.futura-sciences.com>
- [56] <http://www.inra.fr/prodinra/pinra/index.xsp>
- [57] <http://www.inra.fr/internet/Departements/ESR/documentation/index.php>
- [58] <http://www.inra.fr/internet/ Produits/WEBTEXTO/sad/bdsad.html>
- [59] [http:// www.insee.fr](http://www.insee.fr) Date de consultation : Mars 2011
- [60] <http://pastel.paristech.org/bib/>
- [61] [http:// www.pyroforce.ch](http://www.pyroforce.ch) Date de consultation : Oct. 2010
- [62] [http:// www.oecd.org/statlist.html](http://www.oecd.org/statlist.html) Date de consultation :Janv.2011
- [63] [http:// www.opraturbines.com](http://www.opraturbines.com) Date de consultation : Nov.2010
- [64] http://www.record_net.org
- [65] <http://www.sudoc.abes.fr/>
- [66] [http:// www.tearfund.org](http://www.tearfund.org)
- [67] <http://thesa.inist.fr/fre/recherche.html>
- [68] [http:// www.usinenouvelle.com](http://www.usinenouvelle.com) Date de consultation : Oct. 2010

INVENTAIRE DES BREVETS DANS LE DOMAINE

1- Sources consultées

Les sources consultées ont été les suivantes :

- INPI Base de données espanet des brevets européens <http://fr.espanet.com>
- INRA : Base de données des publications de l' INRA : Prod INRA www.inra.fr/prodinra/pinra/index.xsp
- Base de données des publications du département « Sciences, société, agriculture, alimentation, espace et environnement » www.inra.fr/internet/Departements/ESR/documentation/index.php
- Base de données des publications du département « Sciences pour l'action et le développement » [www.inra.fr/internet/ Produits/WEBTEXTO/sad/bdsad.html](http://www.inra.fr/internet/Produits/WEBTEXTO/sad/bdsad.html)
- SUDOC (Système Universitaire de Documentation) Références bibliographiques et résumés des thèses soutenues en France depuis 1972 www.sudoc.abes.fr/
- THESA Base de données sur les thèses en cours dans les grandes écoles <http://thesa.inist.fr/fre/recherche.htm>
- PASTEL Bibliothèque virtuelle des thèses soutenues dans les grandes écoles scientifiques et techniques de la région parisienne <http://pastel.paristech.org/bib/>

2- Résultats Brevets

Ces résultats sont issus de la base de données Espacenet de l'INPI avec les critères de recherches suivants :

- Mots clés (en français ou anglais) = biogaz et moteur, biogaz et traitement ou épuration, biogaz et turbine, gaz de synthèse
- Sur les 10 dernières années

Thèmes	Epuration	Moteur	Turbine	TOTAL
Nombre de brevets recensés	15	2	3	20
Pays acteurs	Allemagne : 5 Japon : 6 USA : 4	Allemagne	Japon	Allemagne : 7 Japon : 9 USA : 4
Commentaires	3 problématiques particulières sont traitées : purification, l'élimination de H ₂ S et l'élimination de siloxanes	Essentiellement sur le biogaz	2 sur le biogaz et 1 sur le gaz de synthèse	

ANNEXES

ANNEXE 1

Objectifs du Millénaire pour le Développement du Gouvernement de Madagascar [Partenaire pour un développement durable à Madagascar 2008]

- 1 ERADIQUER LA PAUVRETE EXTREME ET LA FAMINE
Réduire de moitié le pourcentage de la population mondiale qui vit avec moins de 1\$ par jour jusqu'en 2015, réduire de moitié le pourcentage de la population mondiale souffrant de la famine.
- 2 ATTEINDRE L'EDUCATION PRIMAIRE UNIVERSELLE
Tous les enfants termineront l'école primaire en 2015.
- 3 PROMOUVOIR L'EGALITE DES SEXES ET RESPONSABILISER LES FEMMES
Eliminer l'inégalité entre garçons et filles à tous les niveaux d'éducation jusqu'en 2015.
- 4 REDUIRE LA MORTALITE INFANTILE
Réduire la mortalité infantile de deux tiers jusqu'en 2015.
- 5 AMELIORER LA SANTE MATERNELLE
Réduire de moitié la mortalité maternelle jusqu'en 2015.
- 6 COMBATTRE LE VIH/SIDA, LE PALUDISME, AINSI QUE D'AUTRES MALADIES
Contenir et inverser les tendances jusqu'en 2015 .
- 7 ASSURER LA DURABILITE ENVIRONNEMENTALE
Adopter des stratégies pour le développement durable et la protection des ressources naturelles.
Réduire de moitié la population sans accès à l'eau potable et à l'assainissement jusqu'en 2015.
- 8 DEVELOPPER UN PARTENARIAT GLOBAL POUR LE DEVELOPPEMENT
Libéraliser le commerce et système de financement, faciliter l'accès aux marchés, accentuer le processus d'annulation de dettes , créer des emplois pour les jeunes , promouvoir l'accès aux médicaments à prix abordables et promouvoir l'accès aux nouvelles technologies.

ANNEXE 2

BIOMASSE - AGRORESSOURCES

1- BIOMASSE [NOZ2008] : *ensemble des produits organiques végétaux et animaux utilisés à des fins énergétiques ou agronomiques.*

De manière générale les végétaux convertissent dans leurs cellules de l'énergie solaire sous forme d'énergie chimique (liaisons chimiques carbone - hydrogène notamment) grâce à la photosynthèse.

Le terme de **biomasse** recouvre un champ très large : bois , déchets des industries de transformation du bois, déchets agricoles (pailles, lisiers, etc...), fraction fermentescible des déchets ménagers et des industries agro-alimentaires, biogaz de décharge ou produits de méthanisation (boues d'épuration, décharges, etc...).

Les principaux composants de la biomasse sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène dans des proportions proches de $C_6H_9O_5$ en fonction du degré hygrométrique.

La nature de la biomasse va privilégier certaines filières de valorisation énergétique :

- La **biomasse lignocellulosique** (bois, paille, bagasse de canne à sucre, fourrage, etc...) est *riche en substances de structure et peu hydrolysable*. Sa valorisation privilégiera les procédés par « **voie sèche** » dits **thermochimiques**.

- La **biomasse riche en substances glucidiques** est déjà largement *utilisée à des fins alimentaires (céréales, betteraves sucrières, cannes à sucre, etc...), facilement hydrolysable*.

Elle se prête mieux à des procédés de valorisation par voie fermentaire ou par distillation.

Elle rentre toutefois en compétition avec l'utilisation à fin d'alimentation de ces ressources, ce qui explique partiellement l'augmentation récente du prix de vente de certains produits alimentaires de base.

- La **biomasse oléagineuse riche en lipides**, aussi largement *utilisée à des fins alimentaires (colza, palmier à huile, etc.)* et dont *les huiles ou dérivés d'huile (ester)* peuvent être utilisés comme carburants dans les moteurs diesel.

2- AGRORESSOURCES [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Agroressource>]

Les agroressources sont les végétaux qui fournissent des composés de base nécessaires à l'énergie , la chimie et les matériaux, notamment :

- des lipides et protéines obtenus à partir de colza, tournesol, soja, lin, etc.
- des glucides obtenus à partir de cultures céréalières (blé, maïs, orge, avoine, seigle, etc.) et betteravières,
- des fibres lignocellulosiques provenant de résidus de cultures (paille, etc.),
- de plantes annuelles (chanvre, sorgho, etc.),
- et de la sylviculture, des molécules spécifiques issues de coproduits de diverses plantes en particulier médicinales, aromatiques et colorants ».

ANNEXE 3

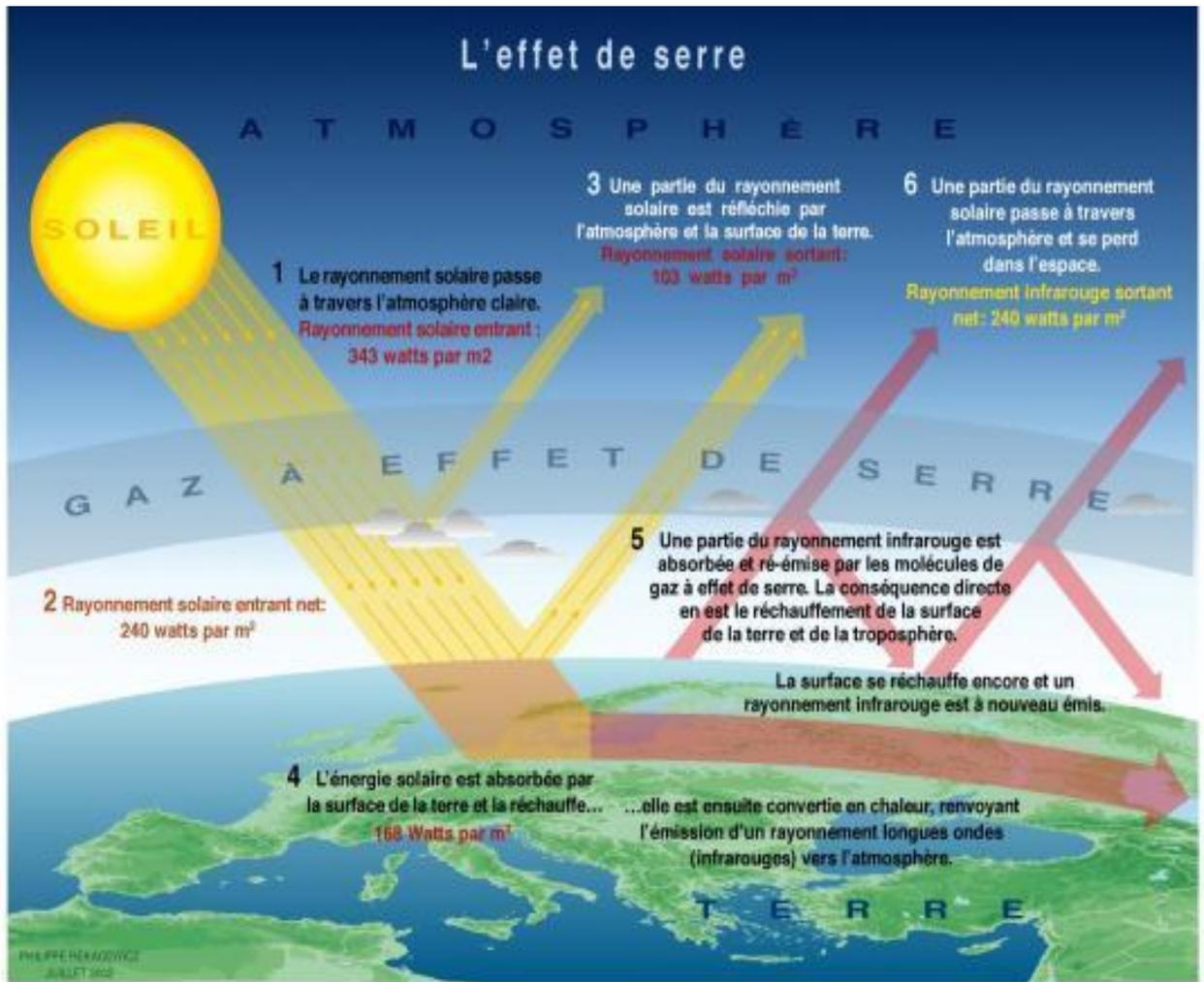
Des caractéristiques physiques des principaux éléments dans les gaz de biomasse sont donnés dans le tableau ci-dessous.

	Symbole	Unité	CH ₄	CO ₂	CO	O ₂	N ₂	Air	H ₂	H ₂ O	H ₂ S
Masse molaire	M	g / mol	16,04	44,01	28,01	32,00	28,01	28,96	2,016	18,02	34,08
Masse volumique	r	kg/Nm ³	0,72	1,98	1,250	1,43	1,25	1,29	0,090	0,86	1,54
Densité	d	-	0,56	1,53	0,97	1,11	0,97	1,00	0,07	0,67	1,19
Pression critique	Pc	bar	46,00	73,90	34,94	50,40	33,90	37,70	12,97	220,6	89,40
Température critique	Tc	K	190,5	304,50	132,5	154,6	126,2	132,4	33,2	647,1	373,2
Pouvoir calorifique supérieur massique	PCS m	MJ / kg	55,66		10,12				141,8		16,52
PCS volumique	PCS v	MJ / Nm ³	39,82		12,63				12,75		25,37
Pouvoir calorifique inférieur massique	PCI m	MJ / kg	50,04		10,12				119,97		15,19
PCI volumique	PCIv	MJ / Nm ³	35,88		12,65				10,78		23,33
Indice de Wobbe	W	MJ / Nm ³	53,41		12,82						23,28
Pouvoir comburivore	Lmin	m ³ (n) / m ³ (n)	9,57		2,38				2,38		7,23
Volume de fumées humides	Vgb,h	m ³ (n) / m ³ (n)	10,52		2,88				2,88		7,70

Nm³ : mètre-cube normal, à 1 atm et 0°C.

Tableau des Caractéristiques physiques des principaux composés des gaz de biomasse
Source : [42] RECORD pp.30

ANNEXE 4



Sources : Okanagan university college Canada, section géographie ; université d'Oxford, section géographie ; Agence américaine pour la protection de l'environnement (EPA), Washington ; Changements climatiques 1995 ; Données scientifiques sur les changements climatiques, Contribution du groupes de travail au deuxième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, PNUE et OMM, Cambridge University Press, 1998.

ANNEXE 5

ANNUAIRES DES ACTEURS : Fiches acteurs

Cet annuaire regroupe des acteurs du domaine du gaz de synthèse, la liste n'est pas exhaustive.

TRAITEMENT DU GAZ DE SYNTHÈSE ET COGENERATION

Fiche n° 1 :	CarboTech AC GmbH	Germany
Fiche n° 2 :	Cirmac	The Netherlands
Fiche n° 3 :	Cogenco SAS	France
Fiche n° 4 :	Gastec	France
Fiche n° 5 :	GTS Gas Treatment Service	The Netherlands
Fiche n° 6 :	Haase	Germany
Fiche n° 7 :	Köhler & Ziegler AG	Germany
Fiche n° 8 :	Muche	Germany
Fiche n° 9 :	PpTek	United Kingdom
Fiche n° 10 :	Pro2	France
Fiche n° 11 :	Schmack Biogas AG	Germany
Fiche n° 12 :	Seva	Germany

ANNEXE 6

Liste des principaux constructeurs de moteurs à gaz

Entreprise	Adresse	CP	Ville	Pays	Site internet
CATERPILLAR FRANCE S.A					http://france.cat.com
COGENCO SAS	18 rue Saint Vincent	78100	Saint-Germain	France	www.cogenco.co.uk
DEUTZ	115, rue du Fossé Blanc	B.P. 39 92234	Gennevilliers	France	Erreur ! Référence de lien hypertexte non valide.
GE ENERGY (Jenbacher)	2-4 rue Pillet Will	75009	Paris	France	www.ge.ecomagination.com/site/fr
MAN					
TEDOM	Belgická 4685/15 466 05		Jablonec nad Nisou	Rép. Tchèque	http://engines.tedom.eu
WAUKESHA					

ANNEXE 7

Les douze principes de la Chimie Verte

- 1- *La prévention de la pollution à la source en évitant la production de résidus.*
- 2- L'économie d'atomes et d'étapes qui permet de réaliser, à moindre coût, l'incorporation de fonctionnalités dans les produits recherchés tout en limitant les problèmes de séparation et de purification.
- 3- *La conception de synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces et la préparation de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement.*
- 4- La conception de produits chimiques moins toxiques avec la mise au point de molécules plus sélectives et non toxiques impliquant des progrès dans les domaines de la formulation et de la vectorisation des principes actifs et des études toxicologiques à l'échelle cellulaire et au niveau de l'organisme.
- 5- La recherche d'alternatives aux solvants polluants et aux auxiliaires de synthèse.
- 6- *La limitation des dépenses énergétiques avec la mise au point de nouveaux matériaux pour le stockage de l'énergie et la recherche de nouvelles sources d'énergie à faible teneur en carbone.*
- 7- L'utilisation de ressources renouvelables à la place des produits fossiles. Les analyses économiques montrent que les produits issus de la biomasse représentent 5% des ventes globales de produits chimiques et pourraient atteindre 10 à 20% en 2010. Plus de 75% de l'industrie chimique globale aurait alors pour origine des ressources renouvelables.
- 8- *La réduction du nombre de dérivés en minimisant l'utilisation de groupe protecteurs ou auxiliaires.*
- 9- L'utilisation des procédés catalytiques de préférence aux procédés stoechiométriques avec la recherche de nouveaux réactifs plus efficaces et minimisant les risques en terme de manipulation et de toxicité. La modélisation des mécanismes par les méthodes de la chimie doit permettre d'identifier les systèmes les plus efficaces à mettre en œuvre [incluant de nouveaux catalyseurs chimiques, enzymatiques et /ou microbiologique].
- 10- *La conception des produits en vue de leur dégradation finale dans des conditions naturelles ou forcées de manière à minimiser l'incidence sur l'environnement.*

11- La mise au point des méthodologies d'analyses en temps réel pour prévenir la pollution, en contrôlant le suivi des réactions chimiques. Le maintien de la qualité de l'environnement implique une capacité à détecter et si possible à quantifier, la présence d'agents chimiques et biologiques réputés toxiques à l'état de trace [échantillonnage, traitement et séparation, détection, quantification].

12- Le développement d'une chimie fondamentale plus sûre pour prévenir les accidents, explosions, incendies et émissions de composés dangereux.

ANNEXE 8

Le Silicium Disponible dans les Plantes (SDP)

Le **SDP** lors de la livraison sous la forme de **TD**, est la formule magique de la médecine des plantes, établit par de nombreux tests prouvant ses avantages extraordinaires et significatifs :

- Il est l'élément essentiel requis pour l'immunité de la construction cellulaire des plantes.
- Il favorise la croissance de racines saines en aérant la zone racinaire.
- Il a un pouvoir absorbant qui améliore la rétention d'eau du sol de façon significative.
- Il retient les éléments nutritifs dans la zone racinaire.
- Il augmente la croissance des racines de 20 à 200%.
- Il augmente considérablement la capacité d'échange cationique, en stimulant l'absorption des nutriments.
- Il augmente l'absorption de phosphore de 45 à 80%.
- Il augmente l'efficacité de la potasse de 30 à 40%.
- Il stimule la photosynthèse et la force de la cellule.
- Il améliore le taux de survie, en particulier lors de conditions de stress comme la sécheresse.
- Il augmente la résistance des plantes aux agents pathogènes et aux ravageurs.
- Il réduit le prélèvement de l'azote.
- Il augmente le rendement des cultures par hectare.
- Il réduit la détérioration lors de l'emballage et du transport.
- Il améliore l'état des sols.
- Il réduit l'effet de la salinité.
- Il réduit la décharge d'irrigation de 30 à 40%.
- Il réduit la lixiviation chimique dans les cours d'eau et les zones côtières de deux façons:
 1. Les fertilisants chimiques additifs sont absorbés par les végétaux et ne se perdent pas lors de la lixiviation.
 2. Il retient les engrais chimiques dans la zone racinaire.