

# Transformation des herbes envahissantes en granules combustibles à Ross-Béthio (Sénégal)

Amadou Oury Ba<sup>1</sup>, Ndiogou Diongue<sup>1</sup>, Abdoulaye Fall<sup>1</sup>, Mamadou Aly Sow<sup>1</sup>, Benoit Courteau<sup>2</sup> et Djibril Dia<sup>3</sup>

**Abstract** - Cet article présente le Projet intégré de production de Granules combustibles, de Bio-compost et de Biocarburant, entrepris par S3IC et ses partenaires, à Ross-Béthio au Sénégal. Le premier volet de ce Projet, financé par la Banque Mondiale dans le cadre du concours Development Market Place 2006, consiste à transformer des herbes envahissantes (*Salvinia Molesta*, *Typha Australis*, *Khaye*) des rives du fleuve Sénégal, en granules combustibles pour la cuisson des repas des populations locales. L'article introduit tout d'abord la problématique du projet initial et présente la chaîne de production (composée d'outils de coupe des herbes, presse, moteur à biocarburant et broyeur) conçue par l'équipe du projet pour la production de ces granules combustibles. Il expose ensuite les étapes de la réalisation de ce projet intégré, de la phase de l'unité expérimentale à celle de l'exploitation commerciale rentable, en passant par la phase transitoire nécessaire à la constitution d'une entreprise durable. Les auteurs terminent l'article par la présentation des principaux avantages socio-économiques et environnementaux des produits (granules combustibles et comestibles, le bio-compost et biocarburant) de la future exploitation commerciale à caractère social et de type intégré.

**Index Terms** - *Salvinia Molesta*, *Typha Australis*, *Khaye*, Pourghère, *Jatropha carcus*, granules combustibles et comestibles, bio-compost, biocarburant, grappin, presse à granules, broyeur à végétaux secs, moteur au biocarburant, etc.

## 1- INTRODUCTION

Le Projet 'DM2006 Project 1075 of Development Market Place' financé par la Banque Mondiale, dénommé Projet JADE (JAcynthe D'Eau), était initialement destiné à la transformation de la *Salvinia Molesta* (ou Jacinthe d'Eau) en combustible écologique. Ce Projet s'est orienté, en cours de réalisation, vers la valorisation des herbes envahissantes et des résidus agricoles en granules combustibles. Cette phase pilote est exécutée par S3IC<sup>1</sup>, en collaboration avec le partenaire industriel canadien, EcoIndustrielle<sup>2</sup>, et le partenaire sénégalais, ASESCAW<sup>3</sup>. Ce projet cible la région du fleuve Sénégal (initialement les environs de Ross-Béthio) infestée depuis plusieurs années par des plantes aquatiques (*salvinia*, *typha*, *khaye*, et autres) (cf. figure 1.1) qui, tout en limitant la capacité du bétail de s'abreuver et en empêchant les pêcheurs de lancer leurs filets, contribuent à la dégradation de l'environnement fluvial (eutrophisation), à la perte de la biodiversité et aux blocages des aménagements hydrauliques.



a) - *Salvinia Molesta*

b) - *Typha Australis*



c) - Envahissement des canaux d'irrigation

Figure 1.1: Herbes envahissantes des canaux et/ou cours d'eau

## 2 - PRÉSENTATION DE LA CHAÎNE PILOTE DE PRODUCTION

L'objectif de la phase pilote du projet JADE consiste à couper les plantes aquatiques envahissantes de la vallée du fleuve et les transformer en granules combustibles destinés à la cuisson des repas. La production des granules de cuisson se fait à l'aide d'une plate-forme mécanique (cf. figure 2.2) qui est un groupe constitué d'un broyeur à végétaux secs et d'une presse à granules entraînée par un moteur à l'huile de pourghère (*Kidy* ou *Tabanani*). Le cycle de transformation commence par le déchetage des plantes envahissantes à l'aide du broyeur et la farine ainsi obtenue est acheminée dans un tamis (qui sera plus tard remplacé par une meule) pour en retenir les particules plus épaisses. Les plus fines des particules sont alors mélangées avec de l'eau et c'est ce mélange aqueux qui sera introduit dans la presse qui produira, par extrusion, les granules de combustibles.

### 2.1- Outils de coupe des herbes envahissantes

Dans la proposition initiale du projet à la Banque Mondiale, le Grappin devait être utilisé pour le nettoyage des bords/cours d'eau et canaux d'irrigation de la vallée du fleuve Sénégal. Cependant, si le Grappin est utile contre la *Salvinia Molesta*, il s'est avéré inefficace contre la *Typha* ou le *Khaye* qui sont des

1 - S3IC : Société Sénégalaise des Scientifiques et Ingénieurs au Canada, 8243, Rue St-Denis, Montréal (Qc), Canada, H2P 2G7.

2 - EcoIndustrielle : Une Division de Mécanique Industrielle, 569-F Boul. Lionel Boulet, Varennes (Qc), Canada, J3X 1P7

3 - ASESCAW : Amicale Socio-Économique Sportive et Culturelle des Agriculteurs du Walo, B.P. 09, Ross-Béthio, Sénégal.

plantes fortement enracinées. Contre ces dernières herbes, les Faux et Faucille ont été utilisées et se sont avérées beaucoup plus efficaces pour la coupe. Aussi la Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS), grande compagnie cultivant plusieurs hectares de canne à sucre, dispose de Focardeuses pour la coupe et le nettoyage des canaux d'irrigation. Les photos de la figure 2.1 illustrent des grappins en opération.



a) - Vue du Grappin

b) - Grappin en opération

Figure 2.1: Grappin en opération dans un milieu de Salvinia

## 2.2- Composantes de la plateforme de production

L'un des objectifs du projet consiste à transformer un déchet environnemental en combustible pour la préparation des repas. Pour y arriver, il a été nécessaire de récolter, sécher, broyer, pulvériser, conditionner et extruder la matière végétale pour en faire un granule combustible. Le soleil se charge du séchage, un broyeur à marteaux est utilisé pour réduire en matière de fines particules, un système de vaporisation est utilisé pour l'humidification et la presse rotative sert à la production en continue de granules.

*La Presse à granules (PG)*- Elle est formée d'une série de plaques perforées qui défilent sous un volant de compression, forçant la matière végétale, introduite par un silo, à passer par les orifices. Le système ainsi formé tourne lentement (35-40 tours/mn) et nécessite peu d'énergie comparativement aux procédés hydrauliques. L'ensemble tient dans un volume de 1.5 m x 1.5 m x 0.5 m, avec une masse de 350 kg. La PG fonctionne sur le principe d'extrusion qui nécessite environ 10 tonnes de force pour souder les particules ensemble, de manière à produire un cylindre de 6 mm de diamètre. La PG est une machine (cf. figure 2.2a) qui fonctionne en continu.

*Le Moteur au biocarburant*- La PG est entraînée par un moteur diesel de 20 cv dont la moitié de la puissance est utilisée pour actionner d'autres composantes comme le broyeur ou une génératrice. Ce moteur diesel fonctionne à partir d'un biocarburant produit dans le cadre du projet; et une méthode pour nous assurer de la fiabilité du fonctionnement est en train d'être finalisée (figure 2.2c, en rouge).

*Le Broyeur*- C'est un appareil rotatif à marteaux qui nécessite une puissance de moins de 5 CV pour fonctionner. L'équipement est muni d'un embrayage et de divers tamis internes (2mm, 3 mm et 4 mm d'ouverture) permettant différentes moutures. Introduite par l'orifice d'admission, la matière brute est broyée et pulvérisée par le choc des marteaux tournant à plus de 4000 tours/minute, tamisée grossièrement puis rejetée par une décharge qui permet d'y installer un sac pour récupérer la matière pulvérisée (voir figure 2.2b).

*Tamis versus Meule* - Actuellement on utilise un tamis pour obtenir les fines particules indispensables à la production des granules. Cependant, si une mouture extra-fine est requise, il serait possible d'envisager l'ajout d'une meule à pierre, de manière à transformer les fines particules en « farine ». Le principe de fonctionnement de cette meule est similaire à celui du système qui permet de réduire le grain en farine.



a) - Presse à granules (PG)

b) - Broyeur à végétaux secs



c) - Principales composantes de la Plate-forme

Figure 2.2: Composantes de l'unité de production des granules

## 2.3 - Fonctionnement de la chaîne de production

Une fois récoltées au Grappin ou à la Faux, les matières végétales sont séchées sur place et découpées grossièrement en segments de 1.5m, pour faciliter leur manipulation. Les tiges sont ensuite broyées mécaniquement et tamisées manuellement pour obtenir la granulométrie spécifiée. La matière ainsi pulvérisée est pesée et étendue sur une membrane imperméable. On la vaporise avec un volume d'eau connu afin de lui conférer un taux d'humidité préétabli et nécessaire à la fabrication des granules. Le tout est recouvert pour une durée déterminée de sorte que la matière s'imprègne bien de l'eau (cf. photos de la figure 2.3). Cette mouture humidifiée est ensuite introduite dans le silo d'approvisionnement de la presse qui la distribue sous le point de compression afin de la forcer à travers les orifices des plaques. Il se forme un cylindre de 6 mm de diamètre qui tombe par gravité, lorsque sa longueur atteint plus de 5cm.

La production est récupérée à la base de la presse et ensuite mise à sécher afin de restaurer le taux d'humidité optimale pour son inflammabilité. Les granules sont ensuite prêts à être utilisés (cf. photos de la figure 2.4).



Figure 2.3 : Préparation de la matière première

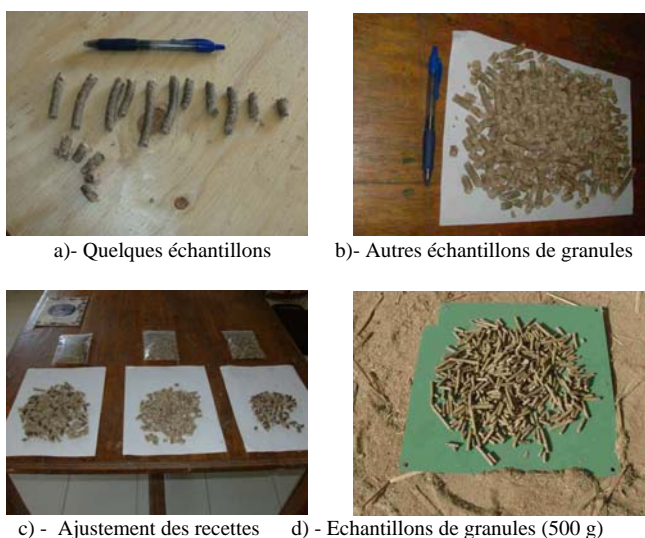


Figure 2.4 : Dimensions des granules combustibles

### 3 - RÉSULTATS TECHNIQUES ET NOUVELLES PERSPECTIVES

A l'origine, le projet devait utiliser deux technologies éprouvées (i.e., le grappin flottant et la presse manuelle) pour récolter les plantes aquatiques et produire les granules combustibles; l'objectif initial du projet était de nettoyer les berges du fleuve envahies par la *Salvinia molesta* [1]. Le projet s'est transformé ensuite en une intervention globale de revalorisation de la biomasse de la *Typha australis* (estimée à 200 000 tonnes/an), un autre fléau du delta du fleuve Sénégal.

A cet effet, l'équipe du projet a installé une unité de production de granules combustibles composée d'une Presse rotative entraînée par un Moteur diesel (au biocarburant) et d'un Broyeur de matière sèche. Compte tenu de la grosse taille des particules issues du broyeur, l'utilisation d'un tamis fut indispensable.

#### 3.1 - Les principaux travaux réalisés sur le site

Sur le site de Ross-Béthio (au Sénégal), l'équipe de projet a réalisé les principaux travaux ci-dessous :

- installer, effectuer les mises au point nécessaires et faire fonctionner l'unité expérimentale (presse, moteur et broyeur);
  - produire des échantillons de granules à pouvoir calorifique voisin à celui du charbon (détermination de la composition optimale du mélange initial et mise au point des ajustements nécessaires pour obtenir les couples et vitesses adéquats);
  - réaliser les principaux tests techniques sur les granules (i.e., les tests de caractérisation, de toxicité et de combustion ou water boiling test de la B.M./1985);
  - effectuer les tests d'acceptabilité sociale, en réalisant une évaluation (sondage) dont les résultats ont été consignés dans un rapport;
  - produire une quantité suffisante de granules pour la vente ;
  - assurer, à la relève (2 ouvriers qualifiés), une formation adéquate sur l'entretien et le bon fonctionnement de l'unité expérimentale, ainsi que sur la préparation de la matière première et la production des granules;
  - engager 3 personnes (1 comptable et 2 vendeurs) pour vendre, dans le magasin du partenaire local (ASESCAW), les granules ainsi produits;
  - et rédiger enfin un plan d'affaire pour la suite du projet.
- En outre, au cours de la réalisation des travaux ci-dessus mentionnés, l'équipe de projet :
- a pu expérimenter et a réussi la production de bio-compost (engrais naturel) à partir de ces mêmes plantes aquatiques ;
  - et a initié, sur quelques hectares de terre, la culture de Pourghère (Kídy/Tabanani) dont l'huile (issue de ses graines) sera utilisée comme carburant du moteur utilisé. (cf. figure 5.1).

#### 3.2 - Les résultats des tests techniques

##### 3.2.1 - Le pouvoir calorifique des granules

Le pouvoir calorifique est une mesure de la quantité d'énergie par la combustion d'un échantillon solide ou liquide; c'est une mesure essentielle pour la caractérisation de l'efficacité énergétique d'un échantillon.

*Méthode utilisée-* Les tests de caractérisation du pouvoir calorifique des granules ont été réalisés par le Centre de Transfert Technologique en Écologie Industrielle (CTTEI) de Tracy (Québec), selon la méthode MA.108-P.Cal.1.1 [7] du Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (CEAEQ). Cette dernière est elle-même dérivée de la méthode D240 de l'American Society for Testing and Materials (ASTM), intitulée «*Heat of combustion of liquid hydrocarbon fuels by bomb calorimeter* ».

*Principe de la Méthode* - Selon la méthode MA.108, le pouvoir calorifique est déterminé en brûlant une quantité d'échantillon connu dans une bombe calorimétrique contenant un excès d'oxygène sous pression, et est déterminée à partir de la variation de la température observée durant la combustion de l'échantillon. Le domaine d'application de cette méthode concerne essentiellement les échantillons dont le pouvoir calorifique est dans une fourchette de 0.64 à 1 000 MJ/kg. (Par exemple, au Québec, les huiles usées ou autres matières peuvent être utilisées à des fins énergétiques, si leur pouvoir calorifique est d'au moins 18.5 MJ/kg).

L'Annexe 1 décrit l'appareillage et/ou les instruments utilisés et présente les principales équations pour déterminer le pouvoir calorifique des granules.

Après avoir effectué des tests sur trois échantillons de granules, les résultats obtenus par le CETTEI [8] indiquent, comme le montre le Tableau 3.1 que la valeur moyenne du pouvoir calorifique des granules produits à Ross-Béthio est de 15 250.88 [kJ/kg], avec un écart-type de 463.72. A titre de comparaison, le Tableau 3.2 présente des données représentant le pouvoir calorifique de quelques combustibles.

**Tableau 3.1:** Résultats des tests sur le pouvoir calorifique des granules combustibles [8]

	Pouvoir calorifique	Pouvoir calorifique	Pouvoir calorifique	Ecart Type
	[ Btu/lb ]	[ kJ/kg ]	[ kJ/kg ]	[kJ/kg ]
Granule 1	6 551.89	15 229.47	15 250.88	463.72
Granule 2	6 765.04	15 724.93		
Granule 3	6 366.37	14 798.24		

**Tableau 3.2 :** Pouvoir calorifique de quelques combustibles [ Source : Wikipédia ]

Combustible	Pouvoir calorifique moyen			
	[ MJ/kg ]	[ kJ/L ]	[ Btu/lb ]	[kJ/mol ]
Hydrogène	141.79	12.75	61 000	286
Essence	47.3	35 475	20 400	---
Gazoil	44.8	38 080	19 300	---
Ethanol	29.7	21 300	12 800	1 300
Propane	50.35	---	---	2 219
Butane	49.51	---	20 900	2 800
Charbon	15-27	---	(8-14).10 <sup>3</sup>	---
Bois	15	---	6 500	---

Notons que le pouvoir calorifique (de 15 251 kJ/kg) des granules combustibles produits par le projet se situe à la borne inférieure du pouvoir calorifique du charbon de bois. Ce qui nécessiterait une future analyse en vue de l'amélioration de ce pouvoir calorifique puisque le projet se donne comme but de dépasser la valeur de 17 000 kJ/kg avancée par certaines publications, de manière à bien se positionner du point de vue énergétique par rapport au charbon qui constitue le principal concurrent des granules en tant que combustible ménager.

### 3.2.2 - Les tests d'ébullition d'eau et influence des fourneaux

Les tests d'ébullition d'eau (ou water boiling tests) relatifs aux granules consistent à déterminer le temps nécessaire à faire passer une quantité d'eau donnée, de la température ambiante à la température d'ébullition de l'eau (de 100° C), lorsque qu'elle est chauffée par les granules combustibles. Ainsi, ces tests d'ébullition d'eau pourraient être complémentaires à ceux de la détermination du pouvoir calorifique des granules. Dans le cadre de ce projet, un objectif d'intérêt serait d'effectuer des tests d'ébullition comparatifs entre les granules et le charbon de bois d'une part et d'autre part des tests d'ébullition relatifs aux granules seulement pour les différents types de fourneaux de cuisson (fourneau simple, le Skanal ou fourneau Econo), comme l'illustrent bien les photos de la figure 3.1.



a) - fourneau simple      b) - Skanal ou fourneau Econo

Figure 3.1: Tests d'ébullition ( Water boiling tests )

### 3.2.3 - Les tests de toxicité des granules combustibles

Les tests de toxicité des granules sont un pré-requis avant toute mise en marché des granules et leur utilisation par les ménages en vue de la cuisson des repas. Nous sommes présentement à la recherche de laboratoires susceptibles de réaliser de tels tests, et la plupart des compagnies encore rencontrées au Québec ne réalisent que des tests de toxicité pour des produits relatifs aux appareils de l'aéronautique ou de l'aérospatiale. Cependant, compte de la composition organique des granules, il est permis de prédire la non-toxicité des granules.

En revanche, l'exigence scientifique et la responsabilité sociale nous dictent de conduire des tests de toxicité permettant d'affirmer de manière scientifique que les granules sont non toxiques et inoffensifs.

### 3.2.4 - Les tests de caractérisation du bio-compost

Les tests de caractérisation des principaux éléments chimiques du bio-compost ont été effectués par les Laboratoires d'Analyse S.M.Inc. de Varennes (Qc) qui a fourni un certificat d'analyse [9] (cf. Tableau 3.3), et par le laboratoire de Chimie du Service Alimentation, de l'Institut Sénégalais de Recherche Agronomique (ISRA, Sénégal) qui a rédigé un bulletin d'analyse [10] (cf. Tableau 3.4).

**Tableau 3.3** : Résultats des tests de caractérisation du bio-compost de S.M. Inc. [9]

Eléments	Quantité	Unité
Humidité ( en %) du Brut ( 60°C)		
Matière organique par brûlage	20.0	[ %p/ p]
Matière minérale	---	
Carbone	---	
Azote total Kjeldahl	4120	[ mg / kg ]
Ratio C/N	24	-
Phosphore total	1960	[mg / kg m.s.]
Potassium (K)	2830	[ mg /kg ]]
pH	7.50	

**Tableau 3.4** : Résultats des tests de caractérisation du bio-compost de l'ISRA [10]

Eléments	Quantité	Unité
		T.p.p.s
Humidité ( en %) du Brut ( 60°C)	7.60	
Matière organique	---	
Matière minérale	79.51	
Carbone	8.52	
Azote total	0.79	
Ratio C/N	---	
Phosphore	0.03	
Potassium (K)	0.35	
pH	7.40	

T.p.p.s. : Teneur en pourcentage du produit sec



a) - Préparation du Bio-compost

b) - Vue du Bio-compost

Figure 3.2 : Produit prometteur du projet - Le Bio-compost

Il est connu que la consommation du carbone organique par la microflore libre une grande quantité de CO<sub>2</sub>. Or, la baisse progressive de la teneur en carbone du milieu résulte en une diminution sensible du rapport C/N. Un rapport C/N trop faible (inférieur à 15) conduit à des pertes d'azote alors qu'un C/N élevé ralentit la décomposition. Selon le degré de fermentescibilité du carbone composant les résidus, on considérera comme favorable, un rapport C/N de 20 à 40 en fin de maturation. Cependant, plusieurs spécialistes considèrent comme idéal, un ratio de 15 à 30 ; ce qui correspond au C/N de notre bio-compost produit à Ross-Béthio.

Rappelons enfin que les deux analyses ont obtenu une valeur du pH du bio-compost égale à 7.5 ; cette valeur du pH prouve encore que ce bio-compost est d'une très bonne qualité.

### 3.3 - Les tests d'acceptabilité sociale des granules

Des tests préliminaires de cuisson utilisant différents types de fourneaux (fourneau classique, Skanal/fourneau Econo) ont été effectués par l'équipe de projet sur le site de production des granules, à Ross-Béthio (voir figure les photos de la figure 3.3).



Figure 3.3 : Tests d'acceptabilité sociale

Durant ces tests de cuisson réalisés sur le site, l'équipe n'a senti ni détecté la présence de gaz toxique. Cependant, pour plus de précaution, il est prévu d'effectuer des tests de toxicité par un laboratoire, avant d'initier les tests d'acceptabilité sociale dont le document de sondage post-test est déjà rédigé.

### 3.4 - Nouvelles perspectives

Durant la production des granules combustibles, l'équipe a surtout découvert une multitude d'avenues de revalorisation de la *Thypha australis* qu'elle ignorait à l'origine du projet; c'est ainsi qu'elle :

i) - a réussi à maîtriser l'usage du biocarburant (i.e. trouver le bon rapport huile de Pourghère/gasoil, et un ajustement du moteur) pour actionner les équipements.

ii) - a su produire, à partir de certaines plantes envahissantes locales, un excellent bio-compost permettant de doubler les rendements des cultures maraichères (à cet effet, elle a déjà reçu des demandes, de plusieurs milliers de Tonnes de ce bio-compost, exprimées par le Ministère de l'Environnement et les services des Eaux et Forêts du Sénégal, pour la région des Niayes);

iii) - a aussi réussi, à partir des rhizomes (racines) de la Typha, à produire de la farine pour en faire du pain comestible;

iv) - il a enfin été envisagé de produire de la nourriture pour le bétail à partir de ces procédés déjà initiés, en ajoutant les résidus agricoles comme matières premières.



Figure 3.4 : Pain issu des racines de la Typha

## 4 - LA VISION FUTURE DU PROJET

### 4.1 - Conditions d'une exploitation commerciale rentable

Puisque le Projet JADE (ou DM 2006 Project 1075) ne pourrait passer directement de la phase de production expérimentale à la phase d'exploitation commerciale rentable durant laquelle une entreprise produirait le combustible domestique, ainsi que d'autres produits (tels la nourriture pour bétail, le bio-compost et le biocarburant), une phase transitoire s'avère indispensable pour asseoir des conditions préalables de natures opérationnelles et technico-économiques. Aussi, cette phase transitoire pourrait se faire dans le cadre d'un GIE, alors que la phase d'exploitation commerciale serait une entreprise commerciale de type SARL ou SA [5,6], comme le prévoit la vision globale du projet(cf. schéma de la figure 4.1).

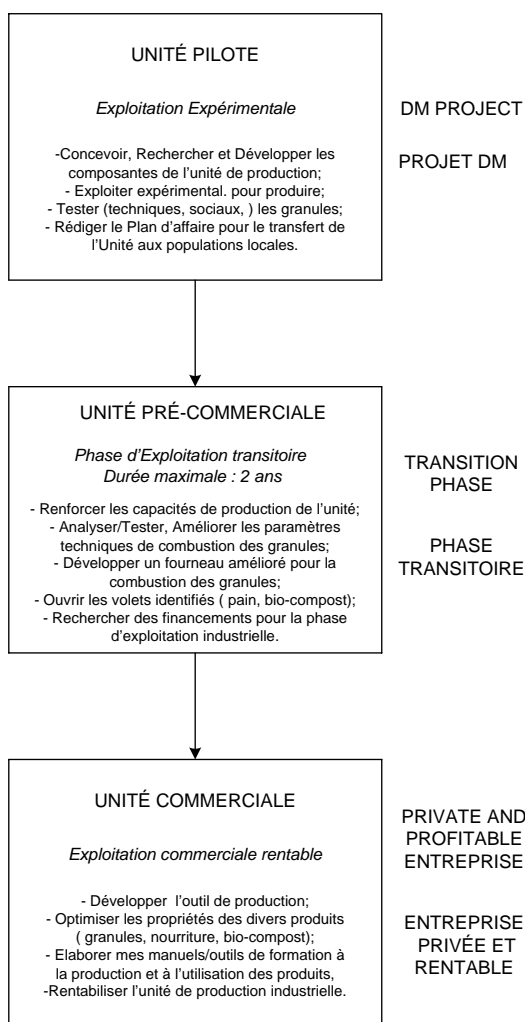


Figure 4.1 : Vision de l'implantation de l'unité commerciale

Ainsi, cette unité de production commerciale pourrait très vite devenir une entreprise de type intégré dont les produits seraient rentables du point vue socioéconomique et écologique.

### 4.1.1 - Les conditions opérationnelles

*Un approvisionnement fiable en matières premières* - Le premier élément des conditions opérationnelles d'une exploitation industrielle rentable est d'organiser un circuit fiable d'approvisionnement en matières premières. Aussi, le principal enjeu après la disponibilité des plantes (*typha, khaye, salvinia*, etc.), serait d'établir un système de collecte qui assurerait un approvisionnement régulier et fiable durant toute la période de l'année. Il faudrait organiser un circuit de fournisseurs assidus de matières premières et trouver, en collaboration avec les services des Eaux et Forêts, des méthodes de collecte sécuritaire et permettant la restauration de l'écosystème.

*Un réseau commercial de distribution et de vente éprouvé* - Toute entreprise, pour être viable, doit avoir un réseau commercial de distribution et de vente éprouvé. Aussi, il serait important de monter ce réseau de sorte que les distributeurs soient en mesure de placer dans la plupart des commerces, ainsi qu'auprès des dépôts de charbon de bois, les granules végétaux produits par l'entreprise. A titre d'exemple à St-Louis, les groupes de femmes qui font actuellement la distribution du charbon de bois pourraient constituer un réseau de départ pour recevoir les granules.

### 4.1.2 - Les conditions techniques

*Un biocarburant disponible* - L'utilisation d'un moteur d'entraînement fonctionnant au biocarburant est une des conditions pour assurer la rentabilité économique et l'acceptabilité écologique du projet. Or, il n'existe pas encore au Sénégal une production organisée de l'huile de pourghère malgré l'existence du projet PROGEDE du Gouvernement qui a déjà octroyé des superficies de terres cultivables en vue de la plantation de la *Jatropha caracus*. C'est pourquoi, depuis sa phase expérimentale, le projet JADE avait entrepris d'avoir et une pépinière de plants de *Jatropha* et de commencer sa culture (cf. figure 5.1). Comme cette plante ne produit ses graines qu'après 2 ans d'existence, il faudrait ensuite régler la question de transformation mécanique des graines en huile combustible. Or, pour l'instant, une des rares sources d'approvisionnement en huile de pourghère est basée sur une production artisanale. Il serait donc nécessaire d'envisager un approvisionnement à partir des pays voisins comme le Niger et surtout le Mali qui est en avance dans la culture de cette plante.

*Une capacité technique de production continue des granules* - Le niveau actuel de capacité technique de la production expérimentale doit être renforcé si l'on veut passer à la phase de production commerciale rentable. En effet, il faut effectuer de profondes améliorations et des tests techniques pour passer du fonctionnement de l'exploitation expérimentale à celui de l'exploitation commerciale rentable; et toutes ces améliorations devraient s'opérer durant la phase transitoire.

### 4.1.3 - Les conditions économiques

Nous présentons ici, de manière concise, nos estimations sur la rentabilité économique de la nouvelle entreprise dont les principaux produits seraient principalement les granules combustibles et la nourriture de bétail, le biocarburant et le bio-compost.

Selon nos estimations, le bio-compost permettrait de générer une rapide entrée d'argent (liquidités) après une période de 3 mois d'exploitation seulement; de plus, son faible coût de production fait de lui un produit très rentable.

Quant au biocarburant produit, son prix de vente devrait être élevé durant les deux premières années; cependant, dès la troisième année, son prix deviendrait compétitif à celui de l'essence. Aussi, notre projection à long terme devient très intéressante surtout à cause de la tendance de hausse du prix du pétrole.

Comparé au charbon de bois, les granules utilisés comme combustibles de cuisine ne seraient pas rentables durant les 3 premières années (exception faite d'une éventuelle prise en compte d'une pénurie de la matière première du charbon). Aussi, la non rentabilité des granules durant ces 3 années serait compensée par les profits engendrés par les autres produits.

Or, si les granules sont enfin utilisés comme nourriture du bétail, ils deviendraient économiquement plus attractifs, à cause de leur faible coût de production (moins de contraintes dans le processus de production et une disponibilité de la matière première).

## 4.2 - Objectifs des phases transitoire et commerciale

### 4.2.1 - Objectifs de la phase transitoire

Avant le passage à l'entreprise commerciale, les principaux objectifs ci-dessous devraient être réalisés, à savoir :

- établir un circuit d'approvisionnement en plantes aquatiques (salvinia, typha, khaye, etc.) fiable, sécuritaire et écologique ;
- trouver une solution sûre et définitive à l'approvisionnement en biocarburant;
- garantir une capacité de production continue de la quantité de granules répondant au seuil de rentabilité commerciale;
- finaliser les tests techniques de caractérisation des granules;
- documenter les procédures/procédés de préparation de la matière première et de la production des granules ayant un fort pouvoir calorifique ;
- rédiger un manuel d'utilisation, d'entretien et de fabrication des différentes composantes de l'unité de production ;
- introduire et développer les volets de production des granules comestibles, du bio-compost et du biocarburant;
- développer un fourneau amélioré pour la combustion des granules;
- concevoir et tester la mise en œuvre d'une stratégie de mise en marché avec un réseau de distribution situé dans les régions pilotes ;
- rédiger et faire signer tous les documents contractuels entre les différents partenaires des diverses phases du projet intégré;
- constituer la direction et trouver les fonds de la future entreprise commerciale.

### 4.2.2 - Objectifs de l'exploitation commerciale

La vision de la phase d'exploitation commerciale est présentée ci-dessous.

Une entreprise rentable devrait prendre la relève après la phase transitoire. Cette entreprise rentable devrait être à caractère social, c'est-à-dire qu'elle devrait:

- développer des produits susceptibles de couvrir les réels besoins des populations locales;
- offrir des produits fabriqués par/avec la population locale et n'ayant aucun impact négatif sur l'environnement;
- être économiquement profitable aux populations locales.

## 5-IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

### 5.1 - Les granules combustibles et la nourriture pour bétail

L'utilisation des granules comme combustible domestique au lieu du charbon de bois contribue tout d'abord à arrêter la désertification, en épargnant ainsi les arbres qui auraient dû être utilisés comme matière première pour la production du charbon. La production des granules, tout en assurant le nettoyage des rives du fleuve (meilleure qualité de l'eau, bonne irrigation, écosystèmes favorables aux oiseaux, poissons et animaux) contribue à la valorisation écologique de la biomasse en combustible dont la combustion serait moins nocive que celle du charbon. En même temps, cette utilisation des granules contribue à la réduction de la dépendance énergétique des populations locales (grâce aux granules, et au biocarburant à base d'huile de pourghère). Enfin, des résidus agricoles sont d'autre part utilisés pour produire des granules comestibles pour le bétail; ce qui génère des emplois et des revenus pour la population locale, en plus de procurer de la nourriture pour le bétail.

### 5.2 - Le Bio-compost

L'emploi du bio-compost, un fertilisant naturel, permet de réduire les effets nocifs du fertilisant chimique, comme la pollution des terres et des eaux. En même temps, le bio-compost permettrait d'améliorer le rendement des cultures, de manière à accroître la satisfaction de la population en matière de nourriture. Enfin, la facilité de production de ce type de fertilisant, et son faible prix de vente permettraient à la population locale de faire des économies substantielles.

### 5.3 - Le Biocarburant et la culture du Jatropha

Au Sénégal, la culture du *Jatropha carcus* a été lancée par le PROGEDE sur une superficie de 25 ha en 2003 et une extension sur 100 ha en 2005-2006, en collaboration avec la Banque Mondiale; et ce, dans le cadre de son programme de promotion des énergies renouvelables.

La production du biocarburant ainsi que la culture du pourghère dont il dérive, freineraient non seulement l'érosion du sol et la déforestation des régions, mais elles participeraient aussi à la promotion des femmes rurales. Tout en étant une source d'énergie renouvelable, elles contribueraient ainsi au développement de l'économie rurale et à la réduction de la

pauvreté des couches de la population les plus vulnérables (cf. l'Annexe-2 qui détaille certains aspects positifs des points de vue écologique, énergétique et économique).

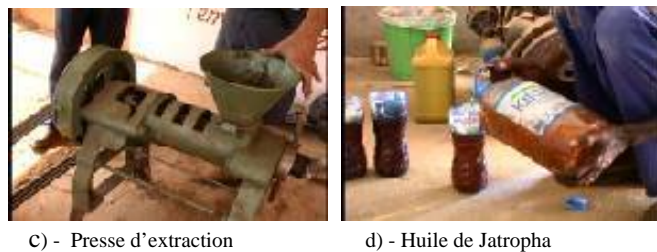
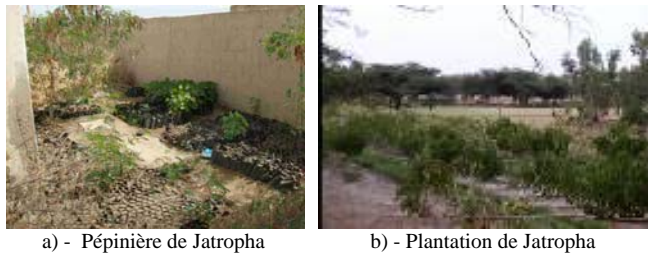


Figure 5.1 : Culture de Jatropha et son Huile à Ross Béthio



Figure 5.2: Culture de la Jatropha et matières premières

## 6 - CONCLUSION

Cet article avait pour objectif de présenter les réalisations du Projet JADE qui consistent à la récolte et la transformation des plantes aquatiques envahissantes et des résidus agricoles de la région du fleuve, en compost et en granules combustibles destinés à la cuisson des repas. La production des granules combustibles se fait à l'aide de l'unité expérimentale qui est un groupe constitué du broyeur et de la presse rotative entraînée par un moteur à l'huile de pourghère. Ce projet écologique de valorisation de la biomasse en combustible et en compost, tout en assurant le nettoyage des rives du fleuve (meilleure qualité de l'eau, bonne irrigation, écosystèmes favorables à la flore, à la faune et aux humains), va contribuer en même temps à la gestion du fléau de ces plantes envahissantes, à la lutte contre la déforestation (par la culture du pourghère) et surtout à la réduction de la dépendance énergétique des populations de la région du fleuve Sénégal.

Selon la vision de l'équipe de projet, le passage de l'unité expérimentale (ou du projet JADE) à la phase de l'exploitation commerciale rentable, nécessite une étape transitoire (sous forme de GIE) indispensable pour l'accomplissement de certaines conditions opérationnelles et technico-économiques. Cette phase de l'exploitation rentable

se ferait dans le cadre d'une entreprise (SA ou SARL) à caractère sociale et de type intégré, et dont les principaux produits seraient les granules combustibles et/ou comestibles pour bétail, le bio-compost le biocarburant issu de la plante du pourghère et l'électricité produite par les granules de Typha ou par le biocarburant.

L'article a enfin présenté les impacts socio-économiques et environnementaux des principaux produits de cette future entreprise de type intégré, à caractère social.

## REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont tout d'abord à la Global Environment Facility (GEF) et à la Banque Mondiale qui ont financé ce projet, en particulier aux Messieurs O. Ozloo et O. Diop, les superviseurs de JADE, qui ont fortement contribué à la réussite du projet. Nous remercions ensuite tous les membres de l'équipe JADE ainsi que le comité local de pilotage du projet, le partenaire sénégalais (ASESCAW), et le partenaire industriel (EcoIndustrielle), sans oublier Monsieur M. Levasseur dont la machine, le Corncompact, fut à la base de la conception de la PG. Nos remerciements vont enfin aux reviewers de l'article (Dr. M. Fall, Dr. O. Dioume et Dr. O. Cissé), à tous les membres de S3IC et à sa COP, et à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce grand projet.

## RÉFÉRENCES

- [1] M.A. Ledoux et B. Courteau, *Document de Proposition de projet au World Bank Development Market Place*, S3IC et EcoIndustrielle 2006.
- [2] M. A. Ledoux, *DM06 Proejct1075 Progress Report No.1*, S3IC et EcoIndustrielle, Jan. 24th 2007
- [3] M. A. Ledoux, *DM06 Proejct1075 Progress Report No.2*, S3IC et EcoIndustrielle, Aug. 31 2007
- [4] A.O. Ba, N. Diongue, A. Fall, B. Courteau, *DM06 Proejct1075 Final*, S3IC et EcoIndustrielle, May 26th 2008.
- [5] A.O. Ba, N. Diongue, A. Fall, B. Courteau, *DM06 Proejct1075 Business Plan Final*, S3IC et EcoIndustrielle, May, 30, 2008.
- [6] Document de l'APIX.- Site Web
- [7] Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ), *Détermination du pouvoir calorifique : méthode de combustion avec une bombe calorimétrique (M.A.108.P.Cal.1.1)*, 2006-09-11.
- [8] Renée Rossignol, *Certificat d'analyse de granules combustibles*, CTTEI Centre de Transfert Technologique en Écologie Industrielle, Tracy (Qc), 12 Août 2008.
- [9] André Dor et Nader Daoud, *Certificat d'analyse du Bio-compost*, Laboratoires d'Analyses S.M.Inc., Varennes (Qc), 18 Août 2008.
- [10] ND. S. Ndiaye, *Bulletin d'analyse du Bio-compost*, Laboratoire de Chimie, Service Alimentation, Institut Sénégalais de Recherche Agronomique (ISRA), Dakar, 13 Août 2008.

## PROFILS DES ORGANISTAIONS EN JEU

**S3IC** - est un OSBL (Organisme sans but lucratif) ayant son siège au Canada, et regroupant des professionnels (scientifiques et ingénieurs) qui exécutent des projets à valeurs ajoutés au profit du Sénégal et des populations sénégalaises de l'intérieur et de l'extérieur.

**EcoIndustrielle** - est une Division de la Compagnie Mécanique Industrielle B. Courteau Inc., de Varennes (Qc.), qui œuvre dans le domaine de l'écologie industrielle.

**ASESCAW** - est une ONG sénégalaise qui s'occupe de l'épanouissement économique, culturel et sportif des agriculteurs du Walo (région de la vallée du fleuve Sénégal).

## ANNEXES

## ANNEXE 1- Détermination du Pouvoir calorifique

*Appareillage/Instrument de mesure* - Les principaux appareillage et/ou instruments utilisés durant les essais, par cette méthode sont :

- 1 bombe calorimétrique à oxygène de 300ml;
- 1 manomètre et détenteur avec un adaptateur pour bombe;
- 1 support pour bombe;
- 1 boîte de mise à feu;
- 1 bain d'eau;
- 1 gaz : oxygène;
- 1 réservoir ovale d'une capacité de 2 litres;
- 1 thermocouple ou thermomètre pouvant lire des variations de températures de 0.02 °C
- 1 pince adaptée pour tenir la bombe;
- 1 balance analytique avec une sensibilité de 0.1 mg

*Capacité calorifique du Calorimètre* - La capacité calorimétrique de l'appareil (i.e., la constante de l'appareil) est déterminée à l'aide l'équation (1)

$$W = \frac{H_{ab} \cdot g_{ab}}{1000 \cdot (T_f^o - T_i^o)} \quad (1)$$

où :

- $W$  - capacité calorifique du calorimètre, en  $[kJ / ^\circ C]$
- $H_{ab}$  - chaleur de combustion de l'acide benzoïque, égale à 26453  $[kJ / kg]$
- $g_{ab}$  - poids de la pastille d'acide benzoïque, en  $[g]$
- $T_f^o$  - température finale de l'eau dans le réservoir après la mise à feu
- $T_i^o$  - température initiale de l'eau dans le réservoir avant la mise à feu
- $T_f^o$  et  $T_i^o$ , en  $[^\circ C]$

*Pouvoir Calorifique de l'huile* - Le pouvoir calorifique de l'huile minérale se détermine à l'aide de la relation (2)

$$H_H = \frac{[1000 \cdot (T_f^o - T_i^o) \cdot W]}{g_H} \quad (2)$$

où :

- $H_H$  - pouvoir calorifique de l'huile minérale, en  $[kJ / kg]$
- $T_f^o$  - température finale de l'eau dans le réservoir après la mise à feu
- $T_i^o$  - température initiale de l'eau dans le réservoir avant la mise à feu
- $T_f^o$  et  $T_i^o$ , en  $[^\circ C]$
- $W$  - capacité calorifique du calorimètre, en  $[kJ / ^\circ C]$
- $g_H$  - poids de l'huile, en  $[g]$

*Pouvoir Calorifique de l'échantillon* - Conformément à cette méthode, le pouvoir calorifique (P.C.) de tout échantillon se calcule à l'aide de relation (3).

$$P.C. = \frac{[1000 \cdot (T_f^o - T_i^o) \cdot W] - [H_H \cdot a]}{b} \quad (3)$$

où :  $P.C.$  - pouvoir calorifique, en  $[kJ / kg]$

- $T_f^o$  - température finale de l'eau dans le réservoir après la mise à feu,
- $T_i^o$  - température initiale de l'eau dans le réservoir avant la mise à feu;
- $T_f^o$  et  $T_i^o$ , en  $[^\circ C]$
- $H_H$  - pouvoir calorifique de l'huile minérale, en  $[kJ / kg]$
- $W$  - capacité calorifique du calorimètre (constante de l'appareil déterminée avec l'acide benzoïque), en  $[kJ / ^\circ C]$
- $a$  - poids de l'échantillon, en  $[g]$
- $b$  - poids de l'huile, en  $[g]$

## ANNEXE 2- Aspects environnementaux et socio-économiques de l'exploitation du biocarburant

Nous résumons, ci-dessous, certains aspects environnements et socio-économiques positifs de l'exploitation du biocarburant et de sa matière première que constitue la plante de pourghère.

**1) - Energie renouvelable :**

- production d'électricité et électrification rurale;
- les moteurs Lister (à base d'huile de jatropha) sont utilisés pour entraîner des moulins à grains, des pompes à eau, etc.

**2) - Atténuation de l'érosion et de l'appauvrissement du sol :**

- les haies vives (de pourghère) empêchent les accès des animaux aux champs de cultures, et elles contribuent à atténuer l'érosion par l'eau et par le vent;
- les racines (des plantes de pourghère) facilitent l'infiltration de l'eau de pluie ou de ruissellement dans le sol, de manière à accroître la moisson;
- les résidus de coques issus de l'extraction de l'huile de la jatropha constituent aussi un très bon fertilisant.

**3) - Promotion des femmes :**

- les femmes rurales, équipées de moulins à grains entraînés par des moteurs à biocarburant (à base d'huile de jatropha), voient leur tâche quotidienne de préparation de nourriture facilitée;
- par conséquent, ces moulins à grains ont tendance à conduire vers un certain appauvrissement du village, à cause du cash nécessaire pour acheter et transporter les ressources externes (tels le carburant, le lubrifiant, la maintenance, etc.);
- cependant, l'utilisation de l'huile de jatropha localement produite comme carburant et lubrifiant, permet de stopper la sortie de ce cash du village;
- enfin, les femmes rurales utilisent la jatropha comme médicament (les graines comme laxatif, la sève pour arrêter les saignées et contre les infections et les feuilles contre la malaria) et pour la production de savon.

**4) Réduction de la pauvreté:**

- en faisant la promotion de l'utilisation intégrée de la plante de pourghère, le système Jatropha pourrait directement contribuer à l'accroissement de l'économie rurale.

La culture de la plante de pourghère pourrait ainsi contribuer à la réduction de la pauvreté, en :

- réduisant les pertes des récoltes et en évitant les dommages causés par le bétail ou les vents;
- augmentant l'infiltration des eaux de pluies ou de ruissellement, ce qui exige moins d'eau d'irrigation pour les jardins/cultures locaux;
- accroissant la fertilité du sol, grâce à l'utilisation de résidus de coques comme fertilisant;
- augmentant l'utilisation des ressources locales moins chères au lieu des ressources externes plus coûteuses;
- créant des emplois locaux, évitant ainsi l'exode de la population rurale vers les villes, en quête d'emplois.