



COLLECTION ACTES DE CONFÉRENCES

4^{ème} CONFÉRENCE BIOCARBURANTS BIOÉNERGIES

Du 21 au 23 Novembre 2013
à Ouagadougou

> Quel bilan et quelles voies d'avenir
pour les biocarburants et les bioénergies
en Afrique?



Sous la direction de :

- **Joël BLIN** (CIRAD -2iE)
- **Sylvie MOURAS** (CIRAD -2iE)
- **Amandine WADRE** (2iE)
- **Anaïs VORON** (2iE)

Conférence Internationale

4^{ème} CONFÉRENCE
BIOCARBURANTS
ET BIOÉNERGIES

du 21 au 23 novembre 2013

à Ouagdouhou

> Quel bilan et quelles voies
d'avenir pour les biocarburants
et les bioénergies en Afrique?

© 2iE copyright, 2013
Éditions Sud Sciences et Technologies
Rue de la science
01 BP 594 Ouagadougou 01
Burkina Faso
2ie@2ie-edu.org
www.2ie-edu.org
dépot légal BNB: 4ème trimestre 2013
ISBN : 978-2-67792145-1

© Harmattan Burkina, 2013
Avenue Mohamar Kadafi
12 BP 226 Ouagadougou 12
Burkina Faso
infos@harmattanburkina.com
www.harmattanburkina.com
dépot légal : 4ème trimestre 2013
Bibliothèque National du Burkina (BNB)
ISBN : 978-2-67792145-1
EAN : 9782677921451

Organisateurs



Partenaires financiers



Membres du comité scientifique

- **Sarah AUDOUIN** (2iE)
- **Joël BLIN** (CIRAD -2iE)
- **Arnaud CHAPUIS** (2iE)
- **Marie-Hélène DABAT** (CIRAD)
- **Salif DERRA** (CIRAD – Université de Ouagadougou)
- **Charly GATETE** (2iE)
- **Laurent GAZULL** (CIRAD)
- **Sylvie MOURAS** (CIRAD-2iE)
- **Justine NANEMA-OUEDRAOGO**
(Ministère de l'Agriculture et de la Sécurité Alimentaire)
- **Oumar SANOGO** (CNRST)
- **Alfred TRAORE** (Université de Ouagadougou)

Préambule

Le manque d'accès à l'énergie est aujourd'hui un frein majeur au développement de nombreux pays du Sud. L'accès à l'énergie est devenu un axe stratégique des politiques de développement économique des États, notamment par le développement des énergies renouvelables.

En Afrique de l'ouest, plus de 80% de l'énergie domestique des pays d'Afrique de l'ouest est assurée par la biomasse (bois de feu et charbon de bois). L'enjeu pour les pays en développement est aujourd'hui de passer d'un usage domestique de la biomasse énergie à un usage moderne permettant de fournir une énergie de production indispensable au développement économique et social. En effet malgré leur abondance sur le continent africain, beaucoup de ressources naturelles et de matières premières ne sont pas valorisées et transformées en produits à haute valeur ajoutée faute d'accès à une énergie de puissance à un coût abordable.

À partir de 2004, les biocarburants suscitèrent l'engouement d'investisseurs qui s'engagèrent massivement dans leur production tout en revendiquant leur action dans le développement économique et social du continent. Mais dès 2007 la ruée vers le pétrole vert connait un ralentissement et les premières critiques se font jour en raison du rôle négatif joué par les biocarburants à qui on a attribué la hausse des cours de certaines denrées alimentaires. La crise alimentaire de 2008/2009 accentue les controverses contre les biocarburants et de nombreux opérateurs qui ambitionnaient l'export de leur production abandonnent leurs projets. Néanmoins, la hausse et la volatilité du prix du pétrole, la sortie de devises du territoire national pour l'achat d'énergies fossiles pèsent sur la production d'énergie des pays africains. Les biocarburants restent donc une option à ne pas négliger pour l'approvisionnement énergétique des pays du continent, et en particulier en milieu rural.

Depuis 2007, la Conférence Internationale « Biocarburants en Afrique » est organisée tous les deux ans pour accompagner le développement des biocarburants en Afrique. L'objectif de ces conférences est de fournir aux gouvernements et aux décideurs une évaluation objective du potentiel des biocarburants. Cette conférence est un moment privilégié pour faire le point sur les connaissances et les avancées dans ce domaine. Ce sont à chaque fois plus de 300 personnalités, experts, décideurs, entreprises et représentants d'ONG, issus de tous les continents qui sont réunis à Ouagadougou.

L'objectif de cette 4^{ème} édition de la conférence biocarburants/bioénergies est de :

- Mettre en exergue les retours d'expérience sur les filières en construction pour repérer les contacts et les modes d'organisation qui paraissent les plus prometteuses
- Mettre en évidence les modes de valorisation qui permettent une rentabilité de la production
- Discuter des apports des bioénergies pour la production agricole et des politiques publiques à mettre en place pour favoriser le développement des bioénergies

Dans les pages qui suivent, vous trouverez les articles présentant les travaux qui ont servi de base aux échanges entre les participants.

Paul GINIÈS, Directeur Général de la Fondation 2iE
Joël BLIN, Chercheur Cirad, Responsable du laboratoire Biomasse Énergie et Biocarburant

Editorial

Poor access to energy is now a key challenge to the development of many countries in the South. Energy supply has become a strategic priority for economic development policies, especially through developing renewable energies.

In West Africa, more than 80 % of household energy is provided by biomass (firewood and charcoal). The challenge for developing countries is now moving from a domestic use of biomass energy to a modern use. The latter will help produce energy which remains essential to economic and social development. Indeed, despite their abundance on the African continent, many natural resources and raw materials are not valued and transformed into high value added products because of the lack of access to affordable power services.

In 2004, biofuels aroused the enthusiasm of investors who invested on the sector while claiming their participation in the economic and social development of the continent. But in 2007, the rush for this green oil slowed down and the first reviews which were released linked biofuel production to food price rise. The food crisis of 2008/2009 highlighted the controversy against biofuels and many operators who aimed at exporting their production cancelled their plans. However, high and volatile oil prices, national funds used to pay for fossil fuels weigh on energy production in African countries. Biofuels are therefore an option to consider for Africa's energy supply, particularly in rural areas.

Since 2007, the International Conference «Biofuels in Africa» has been organized every other year to support biofuel development in Africa. The purpose of these conferences is to provide governments and policy makers with an objective assessment of the potentials of biofuels. This conference is an excellent framework to assess knowledge and findings in this field. Over 300 participants, experts, policy-makers, business and NGO representatives, from all four continents, attend the event in Ouagadougou.

This fourth edition of the biofuels / bioenergy conference aims to:

- Highlight feedbacks on prospective fields in order to identify contacts and promising organizational methods
- Emphasize the valorization methods with cost-effective production
- Discuss the contribution of bioenergy for agricultural production and governmental policies to implement in order to promote bioenergy development

This document includes articles on the conference sessions which gather the key arguments that were presented by participants to the fourth edition of the International Conference on Biofuels in Ouagadougou.

Paul GINIÈS, Director General of 2iE Foundation
Joël BLIN, Cirad, Researcher, Head of Laboratory for Biomass Energy and Biofuels

Sommaire

THÈME 1

Organisation de filière :

Quelle alternative entre agro-industrie et circuit court de proximité ? 1

Un cadre d'analyse pour évaluer les filières de production
de biocarburants à base d'huiles végétales en Afrique de l'Ouest 2
S. AUDOUIN, A. CHAPUIS, S. DERRA, C. GATETE DJERMA, M-H DABAT, L. GAZULL

Jatropha: from wonder to whither?
Insights from a Tanzanian social business venture 2005-2013 16
H. ROMIJN, J. GEVAERT

Oil palm business models 25
L. FEINTRENIE

Modélisation et évaluation des performances économiques de la logistique
d'approvisionnement d'une huilerie: Cas du Jatropha au Burkina Faso 35
M. SAWADOGO, A. CHAPUIS, J. BLIN

Des biocarburants au développement rural :
les conditions de développement des filières jatropha en Afrique de l'Ouest 57
F. GIRAUDY

THÈME 2

Diversité des débouchés :

Clé du succès des filières biocarburants ? 68

Performances technico-économiques des procédés de
production de biocarburants à partir de jatropha 69
A. CHAPUIS, J. BLIN, V. CODINA, A. ENSINAS, D. LECOMTE

L'expérience de la filière « biodiesel en France et dans l'Union Européenne » :
enseignements pour le développement de filières « huiles végétales carburant
pour l'Afrique » 83
J-P. JAMET

Bioénergie et la filière palmier à huile dans le bassin du Congo :
Opportunités et risques 95
L. MIARO

Ethylic biodiesel production: evaluation of two-stage ethanolysis
performances 100
S. NITIEMA YEFANOVA, L. CONIGLIO, R. SCHNEIDER, R. NEBIE, Y. BONZI-COULIBALY

THÈME 3

Les bioénergies pour augmenter la production agricole et agroalimentaire ?	108
Les dynamiques de mécanisation de la production et de la transformation agricoles en Afrique de l'Ouest <i>M. HAVARD, S.C. SIDE</i>	109
Les impacts de l'électrification rurale sur les trajectoires d'activités de la population. Cas de Madagascar <i>T. RANDRIANTSEHENO, L. GAZULL</i>	121
Renforcement de la production des bioénergies au Burkina Faso à travers la biofermentation des résidus de mangues issus de l'agro-industrie <i>M. K. SOMDA, A. S. TRAORE</i>	132
Les bioénergies, opportunité pour le développement du secteur agroalimentaire : étude de la filière mangue séchée au Burkina Faso <i>M. RIVIER, J.M. MEOT, P. SEBASTIAN, A. COLLIGNAN</i>	144

THÈME 4

Les bioénergies peuvent-elles se développer sans stratégie / intervention des États ?	153
Policies for sustainable biomass in Southeast Africa <i>R. JANSSEN, D. RUTZ, C. KHAWAJA</i>	154
Du vide institutionnel au partenariat multi-acteurs pour la définition de politiques en faveur des agrocarburants en Afrique de l'Ouest <i>C. GATETE DJERMA, M-H. DABAT</i>	164
Promoting <i>Jatropha curcas</i> for biofuel production in Mali: policy and institutional frameworks <i>N. FAVRETTO, L.C. STRINGERA, A.J. DOUGILLA</i>	176
Development and Prospect of Bioenergy in Taiwan <i>S-N. CHEN</i>	187
Cadre stratégique de développement durable des biocarburants au Burkina Faso <i>R. N. SAWADOGO</i>	194
Index des auteurs	201

THÈME 1

**Organisation de filière :
Quelle alternative entre agro-industrie
et circuit court de proximité ?**

UN CADRE D'ANALYSE POUR ÉVALUER LES FILIÈRES DE PRODUCTION DE BIOCARBURANTS À BASE D'HUILES VÉGÉTALES EN AFRIQUE DE L'OUEST

S. AUDOUIN^{(1)(2)(6a)}, A. CHAPUIS^{(1)(3)(6b)}, S. DERRA^{(4)(6c)}, C. GATETE. DJERMA^{(1)(5)(6d)}, M-H DABAT^(6d), L. GAZULL^(6a)

(1) Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement (2IE),
Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB)
Fondation 2IE, rue de la science, 01 BP 594, Ouagadougou, Burkina Faso

(2) Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR PRODIG ,
2 rue valette, 75005 Paris, France

(3) Université de Toulouse, Mines Albi, CNRS UMR 5302, Centre RAPSODEE,
Campus Jarlard, F-81013 Albi Cedex 09, France

(4) SupAgro, UMR Innovation,
2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France

(5) Université Paris-sud 11, Collège d'Études Interdisciplinaires (CEI),
54, Boulevard Desgranges, 92330 Sceaux, France

(6) Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
a) UR 105 B&SF, b) UR 42 Biomasse énergie, c) UMR Innovation, d) UMR ArtDev
Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, France

Contact email des auteurs: sarah.audouin@cirad.fr; arnaud.chapuis@mines-albi.fr ;

salif.derra@cirad.fr ; cdjerma@gmail.com

Mots clés: évaluation, critère de durabilité, filière énergétique, biocarburant, Afrique de l'Ouest

I Introduction

Véritables objets d'espoir pour le développement durable à l'échelle mondiale, les agrocarburants ont connu une expansion médiatique sans précédent à partir des années 2000. Cet engouement massif a fait l'objet de nombreux débats relatifs aux modèles d'implantation, à la légitimité et aux impacts sur la sécurité alimentaire [1] de ces cultures énergétiques ; ou même à leur réel capacité à réduire les émissions de gaz à effet de serre. Face aux nombreuses options techniques et organisationnelles possibles, les filières de production de biocarburants à partir d'huiles végétales offrent des modèles divers et contrastés. Dans un objectif d'accompagnement à la construction d'une politique spécifique aux biocarburants, cette communication propose un outil d'évaluation ex-ante et ex-post de la durabilité des différentes formes de filières de production biocarburants à base d'huiles végétales.

L'originalité de notre démarche repose sur un travail en amont de construction d'une typologie exhaustive des filières susceptibles d'émerger en Afrique de l'Ouest, puis sur l'élaboration d'une grille d'évaluation de leur durabilité respectant les trois piliers du développement durable. L'identification des critères et indicateurs de cette grille s'est appuyée sur la revue de littérature réalisée par Buytaert et al. (2011) sur les outils d'évaluation de la durabilité spécifiques à la biomasse énergie [2] et sur les travaux

de la roundtable on sustainable biofuels (RSB), certification de production durable de biocarburants reconnue par l'Union Européenne (UE). Les critères et indicateurs sont répartis en trois catégories par nature et sont déclinés selon l'échelle géographique à laquelle ils s'appliquent et selon la situation temporelle de l'évaluation : ex-post ou ex-ante, ce qui, à notre connaissance, a été peu pris en compte dans les méthodes d'évaluation connues. Les indicateurs sont définis de manière précise, afin qu'ils puissent être calculés ou estimés sans équivoque par l'utilisateur. L'évaluation cible plus particulièrement les filières huiles à base de *Jatropha curcas* et s'appuie sur une connaissance approfondie des auteurs de la situation au Burkina Faso.

Notre réflexion s'articule autour de trois parties. Nous présentons d'abord le cadre conceptuel et la démarche générale de l'étude, puis nous détaillons la typologie des filières probables. Enfin nous proposons une grille d'évaluation des filières existantes (ex-post), qui nous amènera à une grille évolutive intégrant les filières potentielles (ex-ante) pour conclure sur l'intérêt et les difficultés d'application d'une telle démarche.

II Une démarche qui articule évaluation et approche filière

2.1 Une vision pragmatique parmi le foisonnement des méthodes proposées

Le corpus de l'évaluation de la durabilité des systèmes de production regroupe de nombreuses techniques et outils visant à contribuer de manière plus ou moins intégrée, à l'analyse d'impact de projets, d'activités économiques, de réglementations au regard des trois piliers du développement durable : social, environnemental et économique [3]. Plusieurs auteurs ont recensé les principaux outils et méthodes appliqués au domaine de la biomasse-énergie [2]–[4]. Les aspects environnementaux sont les plus largement couverts par ces outils, au détriment des aspects économiques et sociaux. Les plus à même d'intégrer les trois dimensions du développement durable sont ceux basés sur la méthode « critères et indicateurs » [2], notamment parce qu'elle permet d'intégrer des critères qualitatifs et quantitatifs. Cette méthode consiste à définir, pour un cadre d'application donné, une série d'indicateurs traduisant au mieux la durabilité du système étudié. Leurs valeurs peuvent être analysées qualitativement, agrégées pour former un indice ou bien pondérés. Enfin, elle est particulièrement flexible puisqu'elle peut aussi bien être utilisée en analyse ex-post ou ex-ante et à différentes échelles spatiales [2], [4]. L'approche spatiale est particulièrement pertinente dans le cadre d'une évaluation de durabilité car les impacts évalués ne s'appliquent pas tous à la même échelle : les émissions de gaz à effets de serre constituent un impact global ; l'effet d'une activité sur l'économie peut être observé au niveau régional ou national ; enfin les impacts sociaux ont souvent un caractère très local. De plus, l'interprétation des impacts dépend largement du contexte social, environnemental et économique. Par conséquent, l'évaluation de la durabilité à plusieurs échelles spatiales est capitale pour faciliter les décisions politiques en fonction des priorités de développement, par exemple le développement rural, le développement macro-économique, la création d'emplois agricoles, commerciaux, industriels, etc.

Dans le domaine de la biomasse-énergie et des biocarburants en particulier, il existe déjà un grand nombre de cadres d'analyse fournissant les principes et les critères que doit satisfaire une initiative pour être considérée comme durable [2]. Ce foisonnement s'explique par les nombreuses controverses soulevées par les biocarburants et les appels des Etats et de

l'UE à la nécessité d'une certification de durabilité. Dans l'ensemble, les grilles d'évaluation sont définies de manière très générale pour pouvoir envisager la majorité des cas : elles fournissent donc plutôt des principes et des critères que des indicateurs bien définis et ne sont pas toujours applicables en l'état. Nous avons donc choisi de nous baser sur l'une de ces grilles afin de l'adapter à notre démarche et au contexte de notre étude, comme le recommande Pope et al. [4].

La grille qui nous a paru la plus pertinente pour la situation connue en Afrique de l'Ouest est celle développée par la RSB, seule certification actuellement reconnue par l'UE. Elle a été établie suivant une méthode participative incluant toutes les parties prenantes du secteur ainsi que les organismes gouvernementaux, les ONG et les représentants de la société civile. Elle comporte 12 principes, déclinés en critères et s'applique particulièrement aux produits destinés à l'exportation. Cette certification est donc avant tout destinée à assurer au pays importateur que le biocarburant a été produit dans des conditions qui limitent les effets néfastes sur les sociétés et écosystèmes des pays du Sud.

Pendant, notre démarche se différencie significativement de la RSB sur trois points : (i) elle n'est pas centrée sur un produit mais sur les filières ce qui permet d'intégrer acteurs, fonctions et échelles spatiales; (ii) elle est destinée à être appliquée dans les pays producteurs de biocarburants afin de comparer les filières entre elles et (iii) ses critères sont simplifiés et donc applicables plus rapidement.

2.2 L'analyse de filière en aide à la décision

Nous avons choisi d'aborder la filière en amont de nos réflexions, ce qui nous permet de délimiter les frontières de l'étude en termes d'acteurs, d'espaces et des usages associés aux biocarburants.

L'analyse de filière est considérée comme un mode de découpage et de représentation en un modèle simple d'un appareil productif généralement complexe et de description de flux physiques et financiers entre les agents. La filière huile énergétique consiste à « produire et à transformer une matière première agricole (jatropha, canne à sucre, palmier à huile, sorgho sucré, etc.) en un produit artisanal ou industriel (huile végétale brute, biodiesel, éthanol), à la distribuer et à l'utiliser comme consommation intermédiaire dans plusieurs secteurs de l'économie (production d'électricité, transport, agro-industrie, artisanat, etc.) et dans les ménages (via l'électricité ou directement), aussi bien à l'échelle locale (plateformes multifonctionnelles, moulins, motopompes, etc.) que nationale (centrales, hydrauliques, distribution de carburant, etc.), en substitution à une importation (gasoil, DDO, fuel oil, etc.) ou du fait de leurs propres attributs (production décentralisée notamment) en réponse à une demande nouvelle (mécanisation de l'agriculture, irrigation, travail de soudure, etc.)» [5]. Dans le cas des filières bioénergétiques, la partie aval est particulièrement importante à prendre en compte du fait de la nature du produit qui est utilisé comme facteur de production¹ par d'autres secteurs de l'économie. L'analyse de filière permet d'intégrer à la fois des considérations macro et micro économiques, les options techniques pour chaque fonction de la filière, l'organisation des acteurs et enfin la dimension spatiale des activités. Etant donné l'importance de chacun de ces facteurs sur la durabilité, la filière apparaît comme un cadre d'étude particulièrement pertinent pour identifier les facteurs sensibles, analyser leur influence et apporter les éléments essentiels en support à la prise de décision.

1 1/ la légalité, 2/ la planification, le suivi et l'amélioration continue, 3/ la réduction des émissions de gaz à effet de serre, 4/ les droits de l'homme et du travail, 5/ le développement social et rural, 6/ la sécurité alimentaire locale, 7/ la conservation de la biodiversité et des écosystème, 8/ le sol, 9/ l'eau, 10/ l'air, 11/ l'utilisation des technologies, intrants et gestion des déchets, 12/ les droits fonciers. Pour plus de détail se reporter aux documents de la RSB : <http://rsb.org/sustainability/rsb-sustainability-standards/>

2.3. Les filières biocarburants en Afrique de l'Ouest

Les filières biocarburants ouest africaines à base de jatropha diffèrent de plusieurs points de vue. Elles ont généralement connu une émergence par canaux multiples avec l'implication de plusieurs types d'acteurs [6], [7]. Leurs genèses sont diverses : projets financés par des agences de coopération (GIZ au Mali, au Burkina, au Niger) ; impulsion par l'assistance technique (coopérant étranger au niveau des ministères); investissement d'ONG (au Mali, Bénin, Togo, Burkina Faso, Côte d'Ivoire) ou implantation de multinationales généralement en joint-venture (dans tous ces pays).

2.3.1 Fonctionnalités des agents dans les filières de production d'huile énergétique

De manière générale, les acteurs identifiés dans ces filières peuvent être catégorisés selon leurs fonctions principales: production, transformation et consommation . Par mesure de simplification de la représentation, nous ne ferons pas apparaître la fonction de commercialisation ou de distribution qui, dans cette phase d'émergence des filières, est généralement internalisée par les agents des fonctions principales . L'étape de transformation a été scindée en deux parties : la trituration des graines qui donne l'huile végétale carburant (HVC) et l'estérification de cette huile qui donne le biodiesel. La trans-estérification ne concerne que peu d'acteurs (en nombre) et met en jeu une maîtrise technique et un investissement non comparables avec les activités d'une huilerie. Dans le Tableau 1, les différents types d'acteurs sont mis en regard des principales fonctions de la filière. Des agents ont été regroupés en fonction de leur proximité fonctionnelle ou géographique ; comme les entreprises artisanales et industrielles d'une part ; les associations, coopératives de producteurs agricoles, ONG et opérateurs techniques d'autre part. Enfin nous n'avons pas distingué les ménages des opérateurs économiques car dans le milieu rural ouest-africain les petits entrepreneurs travaillent souvent à domicile et la distinction de l'utilisation de l'énergie entre l'activité économique et le ménage est difficile à opérer . Par ailleurs, le produit fini de la filière (HVC ou biodiesel), est aussi une consommation intermédiaire pour d'autres filières de production (transformation agro-alimentaire, ferronnerie, etc.). Notons enfin que cette matrice d'identification des filières couple des situations réelles et prospectives, c'est-à-dire des filières qui existent déjà dans certains pays d'Afrique de l'Ouest et d'autres qui pourraient émerger dans les années à venir.

Elle révèle à la fois que plusieurs acteurs de natures différentes peuvent assurer la même fonction et que plusieurs acteurs peuvent assurer plusieurs fonctions, ce qui multiplie les formes de filières envisageables au niveau technique et organisationnel.

2 Les modes de coordination au sein des filières (verticaux, horizontaux, mixtes) pourraient être associés à cette démarche de différenciation des filières afin de différencier les types de filières et ont fait l'objet d'autres travaux des auteurs.

3 Notons que dans une analyse approfondie et en particulier dans une analyse économique, cette fonction s'avère très importante à distinguer, qu'elle soit internalisée ou pas, étant donné la spécificité de ces filières énergétiques qui peuvent être très longues (exportation) ou très courtes (production et usage très localisés).

4 Dans un exercice plus détaillé et notamment avec une approche spatiale qui distinguerait milieu urbain et milieu rural, il serait important de les distinguer.

Tableau 1. Matrice d'identification des fonctions des agents

Fonction Agent	Production	Transformation 1 Huilerie	Transformation 2 Estérification	Consommation/ utilisation
Agriculteurs (individuels ou en association)	Production des graines sur champ propre (moyenne de 2/3ha en agriculture familiale)	X	X	Utilisation de l'HVC pour motopompe et tracteur
Entreprises artisanales et industrielles	Production des graines sur champ propre avec emplois salariés ou contrat avec des paysans pour s'approvisionner en graines	Transformation des graines en HVC : huilerie de petite capacité (100 à 800 t graines/an) ou raffinerie (> 4000 t huile/an)	Transformation de l'HVC en biodiesel (>10 000 t/an)	Autoconsommation du biodiesel produit
Collectivités locales	Production des graines sur champ propre avec emploi salarié ou contrat avec des paysans pour s'approvisionner en graines	Transformation des graines en HVC dans l'huilerie de la collectivité ou sous-traitance à une huilerie privée	Sous-traitance à un industriel privé	Autoconsommation de l'HVC ou du biodiesel pour l'alimentation en énergie des services publics de la commune (santé, école, administration, etc.) ou pour l'électrification rurale
Association/ coopérative / ONG / opérateur technique	Production de graines sur champ propre de l'association, ONG, ou de l'opérateur technique, ou concentration des graines produites individuellement par les membres de la coopérative	Transformation des graines en HVC dans une huilerie artisanale interne à la structure (presse de petite taille avec ou sans raffinerie) ou sous-traitance à une huilerie privée	X	Autoconsommation de l'HVC produit pour l'agriculture, ou alimenter des groupes électrogènes
Ménage	X	X	X	Utilisation directe de l'HVC ou du biodiesel pour transport
Opérateur économique (non agriculteur)	X	X	X	Utilisation directe de l'HVC ou du biodiesel pour le transport, PMF, services ou indirectement comme source d'énergie pour une unité d'électrification

2.3.2 Les archétypes des filières de production de biocarburant à base de *Jatropha curcas* : un panel de "possibles"

Après avoir identifié les acteurs et leurs fonctions, il convient de les associer selon des combinaisons plausibles et pertinentes afin de construire des archétypes de filières. Les utilisateurs du produit fini ont été regroupés selon quatre catégories : (i) les usagers locaux qui se concentrent à proximité de l'aire de production de la culture énergétique (agriculteurs,

ménages, opérateurs techniques, gérants de plate-forme multifonction (PMF), groupements d'utilisateurs d'électricité, coopératives agricoles, collectivités) ; (ii) les usagers industriels qui peuvent être installés dans l'aire de production ou bien en dehors; (iii) les usagers nationaux qui correspondent aux consommateurs de biocarburants situés hors de la zone de production (ménages urbains ou sociétés privées) et enfin (iv) les usagers internationaux lorsque le biocarburant est destiné à l'exportation.

Toutes les combinaisons d'acteurs selon leurs fonctions dans la filière ont été envisagées afin de former six archétypes de filière, en excluant les combinaisons non plausibles (tableau 2).

Tableau 2. Typologie des filières ouest-africaines de production de biocarburants à partir d'oléagineux

Certaines combinaisons ont été exclues car elles étaient non cohérentes et nous avons

Type de filière	Combinaison d'acteurs et description du type de filière
Type 1 : Filière courte	agriculteur → association/ONG /huilerie artisanale → usager local La production, transformation et consommation sont localisées au niveau de la zone de production. La production du jatropha est assurée par des agriculteurs individuels et indépendants. Le pressage des graines est fait par une association, une ONG, ou par une huilerie artisanale déjà existante dans la zone. Le produit final est l'HVC, commercialisée localement aux agriculteurs qui peuvent l'utiliser dans les moteurs statiques (de type motopompes), ou bien transformée en électricité dans les PMF et destinée aux ménages ou aux acteurs économiques ruraux.
Type 2 : Coopérative	coopérative → coopérative → usager local La production de jatropha est assurée par les agriculteurs adhérents à la coopérative. Le pressage et la commercialisation est à la charge de la coopérative. Les capacités techniques financières et managériales des coopératives seront déterminantes ainsi que la localisation des acheteurs d'huile. Il est fort probable que la coopérative vise en priorité la satisfaction de la demande locale (ménage, PMF, agent économique local, etc.). Cependant lorsque la capacité de production est grande, la coopérative peut desservir en HVC des coopératives de transformation agroalimentaire ou d'autres industries.
Type 3 : Filière communale	collectivité → huilerie artisanale, industriel → collectivité territoriale La production de l'HVC est faite par et pour la collectivité territoriale. Elle s'appuie sur une organisation interne (association) qui va gérer la production de jatropha sur des terres communales. La transformation de la production est effectuée par une huilerie artisanale ou un transformateur industriel. L'huile produite est ensuite utilisée à des fins collectives (éclairage public, groupe électrogène, services de santé, centres sociaux, centres de formation, etc..).
Type 4 : Industriel	agriculteur, coopérative → industriel → industries, usager national et international ou agriculteurs, coopératives → coopératives, huilerie artisanale (huile) → industriel (biodiesel) → industries, usagers nationaux ou internationaux L'objectif est la production de biocarburants pour une consommation de grande envergure. Le transformateur s'approvisionne en graines auprès d'agriculteurs individuels ou de coopératives de commercialisation de jatropha. L'industriel peut se spécialiser dans la production de biodiesel et acheter directement l'huile auprès de coopératives ou d'huileries artisanales. Le biocarburant est destiné à d'autres industriels ou au marché domestique, voire international.
Type 5 : Social business	agriculteur, coopérative → industriel → usager local Filière construite autour d'une société privée ayant un objectif double : améliorer les conditions de vie des agriculteurs en achetant les graines à un prix rémunérateur et proposer un produit final (HVC) accessible à une population rurale. Tous les bénéfices sont réinvestis dans les activités productives de l'entreprise. Les fournisseurs de matière première sont les agriculteurs mais peuvent aussi être réunis en coopérative. La société ne produit que de l'HVC et la vend localement aux ménages et agents économiques ruraux. La société peut éventuellement assurer une partie de la production agricole pour sécuriser son approvisionnement et assurer la formation des producteurs contractualisés.
Type 6 : Industriel avec production intégré	industriel → industriel → industrie, usager national et étranger L'industriel maîtrise toute cette filière. La production de matière première est totalement intégrée. Ce modèle de filière nécessite de grandes disponibilités foncières et groupées (un seul tenant ou bien plusieurs blocs de production). Le produit commercialisé sur le marché intérieur et extérieur est uniquement du biodiesel.

considéré leur probabilité d'émerger comme très faible. Les critères d'exclusion de ces filières se basent sur les postulats suivants :

- Les transformateurs de type ONG ou association ne pourront pas fournir directement des consommateurs de type industriels, usagers nationaux ou internationaux. Ces producteurs ont en effet plutôt une vocation sociale de promotion du développement local et traiteront des volumes limités.
- La production de biodiesel, exclusivement réalisée par une unité industrielle, ne peut être rentable que si elle concerne des volumes importants. Ce type de filière ne peut donc pas approvisionner exclusivement le petit consommateur local.
- Les huileries artisanales ont une faible capacité de pressage. De ce fait, le marché local est l'objectif principal. Les volumes d'huiles produites étant réduits, la commercialisation au niveau du marché national et international n'est pas envisageable.
- Si un industriel assure sa propre production de graines, il les transformera dans sa propre usine.
- Si une commune gère une production de jatropha sur ses terres, ce sera pour produire du carburant pour ses besoins propres. Les volumes seront insuffisants pour produire du biodiesel.

III Une grille d'évaluation de la durabilité des filières biocarburants ouest-africaines

3.1 Une grille d'évaluation ex post

L'objectif de cette grille est de pouvoir comparer la durabilité de différents types de filières existantes sur un territoire donné, en considérant l'ensemble des acteurs, espaces et usages associés.

3.1.1 Les échelles spatiales

Mesurer l'impact d'une filière à l'échelle d'un territoire n'est pertinent que si l'analyse peut être menée à différentes échelles [8]. Nous avons choisi trois échelles correspondant à des logiques territoriales distinctes : l'échelle du bassin d'approvisionnement en matière première, l'échelle du bassin de consommation d'huile ou de biodiesel et l'échelle nationale. Le bassin d'approvisionnement regroupe les différentes unités spatiales de production du jatropha qui viennent approvisionner la ou les unités de transformation d'une filière. Il constitue l'interface entre la filière et l'espace de production. Cette échelle permet de s'intéresser à la fois au milieu contenant les exploitations agricoles, aux cultures et pratiques mais aussi aux logiques d'action des producteurs et transformateurs. Le bassin de consommation prend en compte l'espace dans lequel le produit final circule de la sortie de l'unité de transformation jusqu'au consommateur. L'échelle nationale permet de considérer la filière domestique dans son ensemble en couvrant l'espace des bassins d'approvisionnement et de consommation. A cette échelle on s'intéresse particulièrement aux impacts globaux à la fois sur l'environnement, sur l'économie nationale et aux rapports entre tous les acteurs de la filière.

3.1.2 Les critères et indicateurs

Parmi les douze grands principes de la RSB, nous n'en avons retenus que sept qui étaient à la fois pertinents et dont on pouvait simplifier la mesure, que nous avons décliné en critères et indicateurs. Ces principes ont été regroupés selon les trois composantes du développement durable qui structurent la plupart des analyses : la viabilité sociale, la protection de l'environnement, la performance économique [2],[3],[9].

3.1.2.1 La viabilité sociale :

La sécurité alimentaire : principal objet de controverse sur ce sujet [10], c'est un concept complexe aux différentes composantes : la disponibilité, l'accessibilité, la qualité et la stabilité des prix des produits alimentaires. La RSB se base, entre autres, sur l'évolution d'un indicateur d'apport calorique dans l'alimentation des ménages avant et après mise en place du projet concerné. Cette méthode est très complexe et prend assez peu en compte les volets accessibilité et disponibilité. De façon plus pragmatique, cet indicateur peut être abordé au moyen de la mesure du niveau de substitution entre les plantations de jatropha et les cultures alimentaires annuelles. Il doit être construit à l'échelle du bassin d'approvisionnement, en évaluant les antécédents de culture des champs dans lesquels le jatropha est implanté (substitution totale lorsque le jatropha est implanté en plein champ, partielle lorsque le jatropha est implanté en association de culture, ou absente lorsqu'il est implanté sur des terres non cultivées auparavant). Ces informations doivent être recueillies par enquête auprès des producteurs.

Le respect des droits fonciers : représente une autre controverse particulièrement vive avec le risque d'accaparement foncier au détriment des populations rurales. La RSB propose d'identifier les différents usagers et types de droits puis de mettre en place un cadre co-construit avec les parties-prenantes pour éviter les risques d'accaparement. Or, en Afrique de l'Ouest, les droits fonciers correspondent à un empilement complexe de droits et devoirs coutumiers auxquels s'ajoute la législation foncière. Etablir un tel protocole est donc très délicat, d'autant plus que les règles coutumières changent dans le temps et selon les localités. Nous proposons donc un indicateur simplifié, basé sur le nombre de conflits portant sur le foncier en relation avec des plantations de jatropha par rapport à la superficie totale de jatropha implanté dans le bassin de production. Les conflits sont en effet des révélateurs des relations entre acteurs et des risques d'accaparement. Ils sont généralement reportés dans des procès-verbaux en mairie de la commune concernée. Les conflits non déclarés ne peuvent cependant pas être identifiés dans ce type d'indicateur, bien qu'ils représentent une part non négligeable des conflits existants.

4 L'évolution des superficies dédiées au vivrier n'est pas un indicateur fiable car leur réduction éventuelle ne peut être corrélée de façon directe à l'établissement de plantations de jatropha et peut avoir d'autres causes (baisse du prix des céréales sur les marchés régionaux et internationaux, incident climatique, etc.)

5 L'évolution des superficies dédiées au vivrier n'est pas un indicateur fiable car leur réduction éventuelle ne peut être corrélée de façon directe à l'établissement de plantations de jatropha et peut avoir d'autres causes (baisse du prix des céréales sur les marchés régionaux et internationaux, incident climatique, etc.)

3.1.2.2 La protection de l'environnement :

La réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) : doit être comptabilisée sur l'intégralité de la chaîne de production, du champ au réservoir ou du champ à la roue et inclure les émissions liées aux intrants utilisés tout au long de la chaîne. La méthodologie la plus répandue est l'analyse de cycle de vie (ACV), standardisée par l'Organisation Internationale des Standards (ISO). Elle permet de calculer la réduction d'émissions de GES par rapport à un scénario de référence pour la fourniture d'un même service, nommé « unité fonctionnelle ». Dans le cas présent, l'unité fonctionnelle peut être un kWh d'énergie thermique dégagée par la combustion du carburant. Le scénario de référence sera la fourniture de ce kWh thermique par la combustion de carburant Diesel fossile. Les émissions liées aux activités de transformation et aux transports pourront s'effectuer à partir des données telles celles d'EcolInvent qui recense les émissions liées à la plupart des produits et activités industrielles. Les émissions liées à la production agricole sont dépendantes des conditions pédoclimatiques locales et des itinéraires techniques dont le changement d'utilisation des sols et la fertilisation. Nous préconisons l'utilisation de l'outil Ex-ACT développé par la FAO et spécifique au contexte des pays du Sud. La valorisation des coproduits est émettrice de GES qui doivent alors être considérés (selon leur masse, l'énergie produite ou leur valeur économique) [11], [12]. Nous préconisons, comme l'ISO 14040, d'éviter ces allocations d'émissions lorsque la valorisation du coproduit permet de substituer un produit d'origine clairement définie (production d'électricité qui se substitue à celle du réseau, valorisation des tourteaux en fertilisants qui se substituent à des fertilisants chimiques) ; on comptabilise alors directement les émissions évitées. Lorsque l'origine du produit substitué est difficilement identifiable (glycérine, tourteaux pour l'alimentation animale), l'allocation s'effectuera selon la valeur monétaire des coproduits, comme le préconise la RSB, ce qui permet de refléter l'intérêt socioéconomique associé au produit [11].

Les principaux facteurs de différenciation des filières entre elles seront principalement liés à l'étape de transformation avec (i) le type d'approvisionnement en énergie de l'unité de transformation, (ii) la transformation de l'huile en biodiesel qui comporte l'inconvénient d'utiliser du méthanol ; (iii) les options de valorisation énergétique des coproduits; mais aussi (iv) aux pratiques agricoles [14] et à la concentration spatiale de la filière. Bien que les émissions de GES soient comptabilisées à l'échelle internationale, elles seront référencées dans notre grille à l'échelle la plus large, au niveau national.

La conservation de la biodiversité et de l'écosystème : ce principe, tel que présenté par la RSB, est très vaste et propose d'identifier et évaluer la valeur des zones en termes de biodiversité et de services écosystémiques rendus (produits forestiers ligneux ou non ligneux, zones de pâturage, lieux de culte, etc.). Certaines zones sont alors à exclure de la production de biocarburants, d'autres doivent faire l'objet de compensation. Par mesure de simplification nous proposons un indicateur mesurant la part de zones non favorables à la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques qui sont dédiées à la production de jatropha dans la filière. Les zones non favorables peuvent être définies (i) par la non conformation à la législation et aux plants d'aménagement des zones classées ou protégées, et (ii) par la présence d'une forte biodiversité et/ou d'une forte réserve de carbone, ce qui recouvre généralement la fourniture de services écosystémiques importants (réserve de bois de chauffe, de produits forestiers non-ligneux). Les données doivent être accessibles rapidement comme les bases nationales d'occupation des sols. La typologie des zones à exclure reste cependant à définir, tout comme les seuils d'exclusion (forêts denses, zones humides, etc.). L'indicateur proposé évaluerait le rapport entre les superficies non⁴

⁴ jusqu'à 80% des émissions de GES dans la production de biodiesel [13]

favorables mais tout de même défrichées pour l'implantation de jatropha, par rapport à la superficie de l'ensemble du bassin d'approvisionnement, à partir d'un échantillon significatif de plantations de jatropha de la filière concernée.

La protection du sol : La RSB indique que les opérations de production doivent permettre d'inverser la dégradation des sols et/ou de conserver leur fertilité. La mesure passe par un bilan de fertilisation, or les pratiques de fertilisation (fréquence et quantités apportées) varient selon les exploitations agricoles au sein d'une même filière ce qui rend les mesures difficiles. A défaut d'études agronomiques disponibles dans la littérature et pour simplifier cet indicateur, nous ne considérerons que le type de fertilisation (absente, organique ou chimique), quel que soit le type de sol. Cette information peut être recueillie par enquête. La fertilisation des cultures de jatropha en Afrique de l'Ouest est rare, c'est donc un critère discriminant.

La protection des ressources en eau : Ce principe indique que la production de biocarburants doit respecter les droits d'accès à l'eau des populations locales. Au niveau de la production ou de la transformation, les prélèvements d'eau ne doivent pas diminuer les capacités de renouvellement des stocks ni leur qualité. Dans notre cas d'étude, la présence ou l'absence d'irrigation est un critère suffisamment discriminant pour différencier les filières. Pour la transformation, nous proposons de mesurer la quantité d'eau consommée par unité de biocarburant produite et la quantité de polluants rejetés pour le raffinage de l'huile et/ou la production de biodiesel (acide, soude, méthanol). Les activités étant supposées se conformer aux lois en vigueur, les eaux usées des usines de transformation doivent être traitées de manière adéquate avant d'être rejetées dans l'environnement.

La protection de l'air : Les sources de pollution atmosphérique au sein de ces filières sont assez limitées et liées (i) au mode de production d'énergie utilisé pour la transformation (électricité et vapeur), (ii) à la valorisation des sous-produits et (iii) à l'émission de vapeurs de produits chimiques volatils utilisés lors de la transformation. La RSB préconise d'identifier toutes les sources de pollutions atmosphériques et d'établir un plan de gestion de l'air. Nous proposons un indicateur simple constitué des niveaux d'émission des principaux polluants atmosphériques de la combustion d'hydrocarbures (CO, NOx, SOx, HAP, H2S) et liés aux intrants utilisés pour la transformation (hexane, méthanol) qui peuvent être mesurés directement au niveau des unités de transformation à l'échelle du bassin d'approvisionnement. De même que pour l'indicateur précédent, la conformation à la loi imposera le contrôle, la maîtrise des rejets polluants et l'utilisation de systèmes adéquats de traitement des fumées.

3.1.2.3 La performance économique :

Le principe de développement social et rural énoncé par la RSB a été décomposé en différents indicateurs relatifs à la performance économique des filières. Nous considérons que le développement durable d'une filière énergétique doit pouvoir bénéficier en priorité à la population rurale en termes d'amélioration de revenus ou d'accès aux services énergétiques, compte tenu des priorités de développement en Afrique de l'Ouest. C'est pourquoi les indicateurs choisis traitent de la répartition des revenus tout au long de la filière, de la création d'emplois et de l'accès aux services énergétiques. La déclinaison de la mesure aux trois échelles est alors particulièrement pertinente. Ils doivent être renseignés par des études de cas, que les enquêtes de terrain sur un ensemble d'agents de la filière permettent de réaliser.

Le revenu des agents : Au niveau des revenus directs liés à la production, deux indicateurs sont proposés : le revenu additionnel aux autres sources de revenus pour le producteur et la part de revenus créés chez les producteurs par rapport à l'ensemble de la filière. Au niveau des revenus induits, l'indicateur consiste à évaluer la part de revenus créés à l'intérieur de la zone de consommation (issue de l'activité des commerçants intermédiaires, revendeurs, détaillants) par rapport aux revenus totaux de la filière. A l'échelle nationale le premier indicateur concerne la création globale de valeur ajoutée sur l'ensemble de la filière et de valeur ajoutée induite, elle est ensuite déclinée par type d'agent (producteur, transformateur, commerçants) et par poste (salaire, taxes, frais financiers, amortissements, revenus nets d'exploitation). Enfin, le revenu net d'exploitation par type d'agent constitue le dernier indicateur.

La création d'emplois directs : A l'échelle du bassin d'approvisionnement de nouvelles activités économiques peuvent émerger, comme les commerçants intermédiaires chargés de concentrer la production et stimuler ainsi l'activité économique rurale. Leur dénombrement depuis la production jusqu'à l'étape de transformation constitue un indicateur. Des filières très morcelées et peu intégrées favoriseront leur grand nombre, sans garantir pour autant le maintien de marges importantes pour chacun des agents. De la même façon à l'échelle du bassin de consommation l'indicateur concerne le nombre d'intermédiaires de la sortie de la transformation jusqu'au consommateur (revendeurs d'HVC ou de biodiesel). A l'échelle nationale ces indicateurs peuvent être agrégés par le dénombrement du nombre d'emplois salariés directs créés au sein de la filière et par fonction (production, transformation, etc.) par rapport aux quantités de produits finis échangées.

L'accès à l'énergie : cet indicateur ne se mesure qu'à l'échelle du bassin de consommation. Il comprend à la fois les bénéficiaires de ces nouveaux services énergétiques et ses volumes. Un indicateur binaire de distribution ou d'absence de distribution de l'HVC ou de biodiesel aux particuliers en zone rurale permet d'estimer si la filière cible directement les ménages ruraux. Si l'on prend également en compte le nombre de communes et d'habitants bénéficiant de la distribution de ces produits, cela permet de couvrir l'ampleur spatiale de la consommation. Enfin, le volume de produit fini consommé (HVC ou biodiesel) indique également la taille de la filière.

Tous ces indicateurs économiques (excepté le dernier) doivent être rapportés au volume de produit fini.

Cinq principes proposés par la RSB n'ont pas été retenus car nous paraissent trop complexes à mesurer ou peu appropriés au contexte ouest-africain et à l'objectif de l'étude ou non discriminant. Les principes de respect de la légalité et des droits de l'Homme et du travailleur ont été écartés car nous supposons que toutes les filières évaluées demeurent dans la légalité. Le principe de planification, management et d'amélioration continue n'a pas été retenu car la mise en place d'une telle stratégie n'est pas spécifique à un type de filière mais plutôt aux compétences particulières du transformateur. Enfin le principe d'utilisation des technologies, intrants et gestion de déchets concerne l'optimisation des moyens de production et la minimisation des risques pour les individus et l'environnement. Les filières envisagées en Afrique de l'Ouest mettent en œuvre, pour la plupart, des technologies simples et présentant peu de risques (l'extraction au solvant est peu probable par exemple). Concernant l'optimisation de l'utilisation des ressources, la valorisation des sous-produits est un facteur important. Nous la considérons comme indispensable à la rentabilité économique de l'activité, il est donc fort probable que toutes les filières y procèdent, ce qui en fait un⁵ critère non discriminant.

7 Rappelons que par mesure de simplification et dû au caractère émergent de ces filières, nous n'avons pas inclus les commerçants parmi les agents des filières.

8 La filière peut également créer des emplois indirects comme ceux liés aux revenus supplémentaires issus de la production de jatropha (comme l'investissement productif dans du matériel agricole ou du capital sur pied (animaux d'élevage), le démarrage d'activités non agricoles (commerce, services)).

9 Le volume d'activités économiques créées grâce à l'utilisation de l'HVC ou du biodiesel (création d'une nouvelle activité grâce à l'accessibilité ou à l'utilisation de l'énergie à moindre coût) est un indicateur d'emplois indirects.

3.2 Vers une grille d'évaluation évolutive :

À la différence de l'évaluation ex post qui repose essentiellement sur des enquêtes de terrain, l'évaluation ex ante se base sur des hypothèses et une modélisation technico-économique théorique des filières. Si l'on reprend les critères précédents, certains ne peuvent pas être prédits sans établir de préjugés sur les filières (comme le nombre de conflits fonciers, la substitution aux cultures vivrières, la localisation des plantations dans des zones fortement boisées, etc.). Ils seront alors ignorés lors de l'évaluation ou bien évalués qualitativement en fonction des risques relatifs que la filière représente sur ce critère. Par exemple, les conflits fonciers seront a priori moins probables lorsque la production est assurée par les paysans que lorsqu'elle est intégrée par une unité industrielle dont les modalités d'acquisition de la terre dépendent de la législation du pays, de son application et des pratiques foncières existantes.

Les critères relevant de la performance économique et environnementale peuvent être calculés au moyen d'une modélisation technico économique ou d'une ACV pour le cas des émissions de GES. La modélisation peut se baser sur des données généralement disponibles dans la littérature (coûts d'investissements, coûts opératoires moyens, quantités d'intrants utilisés pour la transformation, etc.). Par exemple le calcul de la valeur ajoutée passe par la construction de comptes consolidés de la filière considérée [15].

Ainsi, un certain nombre de critères peuvent être d'ores et déjà mesurés ex post pour les filières existantes tandis que la plupart seront mesurés ex ante ou temporairement non mobilisés. Au fur et à mesure de l'émergence et de la consolidation des filières existantes, la grille pourra être incrémentée de mesures ex post au prorata des moyens disponibles pour sa mise en œuvre.

Pour être utilisable, cette évaluation ex ante doit s'appuyer sur des critères jugés comme prioritaires par les décideurs. C'est tout l'intérêt de cette démarche de permettre de comparer a priori différents types de filières selon les objectifs précis assignés à ces filières : augmenter la création de revenus en zone rurale (une filière favorisant une production paysanne avec consommation locale des produits finis sera favorisée, telle que les types 1,2,3 ou 5), réduire la dépendance énergétique de l'Etat à l'importation de carburants fossiles (une filière biodiesel permettant la production de grands volumes à coûts réduits sera privilégiée, telle que les types 4 et 6).

IV Conclusion

Dans un contexte d'émergence des filières biocarburants en Afrique de l'Ouest, cette communication propose une démarche originale dans le délicat exercice d'évaluation de leur durabilité. Les nombreuses controverses masquent parfois la diversité des modèles possibles. Leurs durabilités ne peuvent être identiques puisque ces filières mettent en articulation des acteurs, objectifs et modes d'organisation différents. Les espaces impactés sont également distincts entre les filières mais aussi au sein d'une même filière selon que l'on se situe à l'échelle du bassin d'approvisionnement, de consommation ou à l'échelle nationale. L'intérêt de cette étude intégrative est de proposer une grille d'analyse de la durabilité des filières multi-usages qui s'appuie sur des indicateurs déclinés à trois échelles d'action différentes, applicables aux six types de filières. Ces indicateurs ne doivent pas être agrégés ou pondérés entre eux afin de donner une note globale à chaque filière puisque les modes d'association entre chaque indicateur sont inconnus et qu'ils ne sont pas tous de même nature (qualitatifs, quantitatifs et d'unités différentes). Nous considérons en effet

10 Cet indicateur peut également concerner la viabilité sociale.

que l'agrégation ou la pondération de ces indicateurs implique un positionnement politique fort qui dépasse le cadre rationnel des sciences [16]. Par exemple une filière peut permettre de créer beaucoup d'emplois ou d'activités économiques, mais réserver l'utilisation de ces produits à une élite urbaine. Par ailleurs un autre type de filière peut réunir de très nombreux producteurs mais leur atomisation et leur incapacité à se constituer en collectif ainsi que le nombre important d'intermédiaires peut réduire drastiquement leurs revenus. Tout l'enjeu de l'utilisation de cette méthode d'évaluation est donc de pouvoir répondre à une question clé qui ne peut se contenter d'être celle du développement durable, fût-elle très large et aux multiples facettes. Elle renvoie au choix politique et au processus de décision pour favoriser l'émergence de tel ou tel type d'impact dans le domaine social, économique et/ou environnemental. L'évaluation ex-ante des filières prend alors tout son sens, puisqu'elle permet de comparer les filières selon certains indicateurs définis selon les priorités de développement. Nous avons donc abouti à une méthodologie adaptable et pragmatique permettant de venir en appui aux décideurs. Elle pourrait cependant facilement être appliquée à d'autres types de biocarburants, ou de biomasse énergie et à d'autres zones géographiques.

Le travail présenté ci-dessus a été réalisé avec le soutien de l'Union Européenne. Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité des auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant l'avis de l'Union Européenne.

Références bibliographiques

1. E. Hanff, M.-H. Dabat, and J. Blin, "Are biofuels an efficient technology for generating sustainable development in oil-dependent African nations? A macroeconomic assessment of the opportunities and impacts in Burkina Faso," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2199–2209, 2011.
2. V. Buytaert, B. Muys, N. Devriendt, L. Pelkmans, J. G. Kretzschmar, and R. Samson, "Towards integrated sustainability assessment for energetic use of biomass: A state of the art evaluation of assessment tools," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 8, pp. 3918–3933, 2011.
3. B. Ness, E. Urbel-Piirsalu, S. Anderberg, and L. Olsson, "Categorising tools for sustainability assessment," *Ecological Economics*, vol. 60, no. 3, pp. 498–508, Jan. 2007.
4. J. Pope, D. Annandale, and A. Morrison-Saunders, "Conceptualising sustainability assessment," *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 24, no. 6, pp. 595–616, août 2004.
5. C. Gatete Djerma and M.-H. Dabat, "Développement des agrocarburants en Afrique de l'Ouest. Une analyse institutionnelle comparative," en cours de publication, 2013.
6. C. Gatete Djerma and M.-H. Dabat, "Biofuels in West Africa : from institutional vacuum to multiactors partnership in strategy formulation and policy implementation," in *Setting the course for a biobased economy*, p. 13, Milan, Italy, June 2012.
7. S. Derra, L. Temple, and I. Ouedraogo, "Emergence d'un Système d'innovation sectoriel sur les agrocarburants au Burkina Faso et conséquences sur les trajectoires technologiques dans la filière Jatropha," presented at the ERRI ; *Nouvelles dimensions sectorielles des systèmes d'innovation*, Montpellier, France, 2012.
8. R. A. Efroymson, V. H. Dale, K. L. Kline, A. C. Mc Bride, J. M. Bielicki, R. L. Smith, E. S. Parish, P. E. Schweizer, and D. M. Shaw, "Environmental indicators of biofuels sustainability : what about context?," *Environmental Management*, vol. 51, pp. 291–306, 2012.

9. R. B. Mangoyana, T. F. Smith, and R. Simpson, "A systems approach to evaluating sustainability of biofuel systems," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 371–380, 2013.
10. M. Negash and J. F. M. Swinnen, "Biofuels and food security: Micro-evidence from Ethiopia," *Energy Policy*, vol. 61, pp. 963–976, Oct. 2013.
11. A. Benoist, "Éléments d'adaptation de la méthodologie d'analyse de cycle de vie aux carburants végétaux : cas de la Première Génération," *Ecole Nationale supérieure des mines de Paris*, 2009.
12. E. Gnansounou, A. Dauriat, J. Villegas, and L. Panichelli, "Life cycle assessment of biofuels: energy and greenhouse gas balances," *Bioresource Technology*, vol. 100, no. 21, pp. 4919–4930, 2009.
13. K. Prueksakorn and S. H. Gheewala, "Full Chain Energy Analysis of Biodiesel from *Jatropha curcas* L. in Thailand," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 42, no. 9, pp. 3388–3393, mai 2008.
14. R. Ndong, M. Montrejaud-Vignoles, O. Saint Girons, B. Gabrielle, R. Pirot, M. Domergue, and C. Sablayrolles, "Life cycle assessment of biofuels from *Jatropha curcas* in West Africa: a field study," *GCB Bioenergy*, vol. 1, no. 3, pp. 197–210, Jun. 2009.
15. M.-H. Dabat, F. Lançon, E. Hanak, and P. Fabre, "Manuel d'analyse des filières agroalimentaires," 2010.
16. F. Boons and J. A. Howard-Grenville, *The Social Embeddedness of Industrial Ecology*. Edward Elgar Publishing, 2009.

JATROPHA: FROM WONDER TO WHITHER? INSIGHTS FROM A TANZANIAN SOCIAL BUSINESS VENTURE 2005-2013

H.ROMIJN⁽¹⁾, J.GEVAERT⁽²⁾

(1) School of Innovation Sciences, Eindhoven University of Technology
IPO Building, P.O. Box 513, 5600MB EINDHOVEN, The Netherlands
Author e-mail contact: h.a.romijn@tue.nl

(2) EcoCarbone Tanzania Ltd, Arusha, Tanzania
Author e-mail contact: jan.gevaert@gmail.com

Key words: jatropha, outgrower business model, social entrepreneurship, sustainability, learning

I Introduction

There has been a great deal of recent soul searching in sub-Saharan Africa around the question whether the promises surrounding biofuels of less than a decade ago can still be delivered somehow. Barely a few years ago, great expectations about socio-economic and ecological benefits from the Jatropha plant in particular drew an unprecedented stream of investors. Private investors with deep pockets embarked on the development of huge plantations, whilst actors from the non-profit sector were pursuing schemes for rural energy provision involving local communities, often in some kind of cooperative set-up. However, both models have been found to be largely unviable financially, and there have been adverse social and environmental impacts too – sometimes quite serious, especially from big mono-plantations (e.g., [1]).

In this paper we hone in on recent experiences with a different organizational model: outgrowing by large numbers of smallholder farmers grouped around a central oilseed processor. In terms of production scale, employment creation, market size, and financial requirements, this business model holds the middle ground between vast plantation enterprises and small-scale local projects. Its objectives too, tend to be situated somewhere in between the pure profit orientation of big plantations and predominantly aid-driven small community projects. While profit is ultimately deemed essential for continued existence, distinct human and environmental concerns are also integral to the business philosophy and strategy. Does this model hold more promise as a viable basis for biofuel development in sub-Saharan Africa?

Despite the fact that outgrowing-based value chains already have a long history in tropical countries for many commercial agricultural (export) crops, outgrower-based biofuel ventures are navigating uncharted territory in many ways. The commercial cultivation and sales of biofuels on a large scale are very recent phenomena, and they have been accompanied by intensive debate in African society and elsewhere about social and environmental sustainability impacts, almost right from the start. This is clearly mirrored in the visions of

the business initiators and in the strategies that they have been adopting to deal with these societal complexities. In the light of this situation, this paper aims to offer an account of key experiences in the development trajectory of a “representative” outgrower-based processor company from up close, with a view to contribute to a better understanding about the People-Planet-Profit-sustainability challenges that social entrepreneurial ventures in the biofuel sector in Africa can encounter in their early stages, and to help draw out key elements of a more facilitative policy & business environment that would enable these ventures to realize their full potential. The paper zooms in on the case of EcoCarbone Tanzania Ltd (formerly known as Diligent Tanzania Ltd). This company makes for an interesting case study because it already started operations in 2005 and hence it experienced the full hype-cycle that biofuels have experienced recently.

II Key concepts

Meeting the requirements of the three pillars of sustainability is extremely challenging, because in practice many trade-offs can occur between them. Even a company with the best of intentions can all too easily end up adopting unsatisfactory compromise strategies in order to ensure its sheer survival. After all, its financial performance is still critical to its credibility and continuity in today’s world, so this requirement still features as the core dimension of doing business. Involving in environmental stewardship and active social involvement in addition to taking care of the financial bottom line can involve substantial extra costs while yielding limited financial rewards; in fact, much of the social and environmental value produced by companies are never earned back by them in hard financial terms. They end up elsewhere in society.

We discuss these trade-offs faced by EcoCarbone Tanzania, and the strategies that were adopted to deal with these challenges with the help of some concepts and insights deriving from strategic management research on organizational learning with a People-Planet-Profit-orientation [2; 4; 6]. Edwards [2] develops a classification to indicate a range of different attitudes that firms can take towards achieving sustainability objectives in the face of complex real-world reality, ranging from complete negation of social and environmental concerns on the one hand, to embracing triple P sustainability in all its facets on the other hand; a somewhat simplified version of this “sustainability ladder” is depicted in Table 1.

Table 1: Classification of attitudes and strategies of organizations towards triple-P sustainability

Attitude / strategy	Characterization
Sustaining transformation	Sustainability is valued <i>as a way of developing</i> the organisation and its stakeholders on all fronts. Transformational strategies are enacted pro-actively for moving towards triple bottom line goals that support external and internal stakeholders, whatever the regulatory environment.
Committed	Committed in principle to economic, environmental and social sustainability, goes beyond mere legal compliance.
Efficient	Sustainability is valued instrumentally, as a source of cost saving. It is valued to the extent that it helps to foster the financial bottom line. Broader sustainability demands are seen as imposing on freedom to do business.
Compliant	Reactively responds to external regulatory requirements. Support of industry regulation as a way of circumventing more demanding regulations regarding sustainability.
Avoidant	Sustainability seen as an attack by oppositional groups. General ignorance of ethical standards and legal responsibilities. Disinterest is the prevailing attitude.
Subsistence	Survival and maximization of profit is seen as the sole purpose of the organization.

Adapted from [2], pp. 292-3.

Edwards emphasizes that the position of organizations on the ladder may not be static. They can climb up and down the rungs of the ladder under the influence of external and internal factors. External factors could include, for instance, a change in the state of the economic climate. In times when the firm's financial bottom line is reasonably secure, there is more space for nurturing social and environmental sustainability values and activities. These may be dropped out of sheer financial exigency, or due to shifting priorities when adverse economic times arrive. Internal factors could be, for example, a gradual change in mindset among the management and owners about the importance of taking responsibility for, and being accountable to, a broader range of societal stakeholders [2].

This kind of upward climbing behavior resonates with the main point made in literature about triple-P orientated organizational learning, namely that firms usually cannot achieve a positioning at the very top of the ladder when they start off, because of the constraints posed by the current-day capitalist system as well as sheer lack of experience with integration of triple P values in business operations. However a movement towards higher rungs on the ladder can be brought about over time as a result of the adoption of conscious strategies, involving a management orientation supporting continual adaptability and learning. This may facilitate the successful linking of the three distinct pillars of sustainability by fostering more balanced, holistic company strategies, in which the potential for developing 3-P complementarities is explored through continuous experimentation and learning-by-doing [4]. Even in the face of external adversity, such learning-friendly attitudes can evoke innovative, responsible and principled responses by business to try to avoid backsliding into a defensive financial-survival mode. Highly complex, turbulent environments – which can even lead to existential crises for companies - can constitute excellent opportunities for learning provided the right mindset and commitment are present, as EcoCarbone's case will also show.

In line with this way of thinking, we conceptualize sustainability as a dynamic unfolding process of evolutionary change, following [4]. It should not be associated with simple linear growth along a well mapped-out path, even less with a static condition. Rather, it is an ongoing journey leading into unknown territory, full of unexpected events.

Organizations can foster this kind of transformative – and, at times, chaotic - process purposively, by striving to build a *capacity for learning* into their vision and strategy, leadership and management, culture, structure, systems and processes. A key part of building this capacity involves the development of visionary organizing and planning. “Planning by developing desirable future scenarios” is one of the pivotal characteristics of dealing with complexity of turbulent organizational environments [3]. Research about the sociology of human expectations has brought out that visions have the power to unite people, and thereby even have the effect of being self-fulfilling, in the sense that they can motivate actors to act towards the realization of the vision, in the belief that it represents a credible desirable future scenario. This mechanism of mobilization of actors around a shared sustainability vision can then help bring about that new desired reality itself [5].

There are several other important features that have been widely associated with pro-active continuous learning in organisations, including: participative and motivational management and leadership, creating opportunities for training and advancement of workers, transparent information flow, avoiding blame games, consensual decision making, team building, turning problems into learning opportunities, being always ready for change, and fostering open and trustful relationships with external parties for mutual development and learning through ongoing interaction (for an even lengthier list, see the compilation in [4]).

III The sustainability journey of EcoCarbone Tanzania Ltd: Findings and discussion

The environment within which EcoCarbone Tanzania (then Diligent Tanzania) began and grew is characterized by very high turbulence, especially due to the fact that biofuels – jatropha biofuels in particular – underwent a spectacular hype-cycle. Initially there were fast rising expectations, then a short peak, to be followed by a nearly complete implosion of expectations and economic activities, as the overblown expectations of the early years could not be realized and widespread disappointment set in (see figure 1). Accordingly, three phases need to be distinguished in the story told in this paper:

- Phase 1: the establishment and early strategy of the company during the high-expectation “boom” years (2005-mid 2008);
- Phase 2: upscaling challenges during the “bust” years (late 2008-2012), ending in liquidation;
- Phase 3: re-start with new financiers, involving a cautious climbing out of the “trough of disillusionment” and entry onto “the slope to enlightenment” (from 2013 onwards).

The challenges faced by the company in each of the three periods are quite distinct. In *phase 1*, there were no serious financial problems as there was plenty of easy finance available, especially subsidized funds from public sources. This was due to the high and rising expectations about jatropha at that time. People widely dubbed it as a “wonder crop” because it would supposedly give high yields even on poor-quality lands in adverse climatic conditions, was not eaten by animals, required little care, could help regenerate soils, and stem soil erosion. Thus, jatropha would not need to interfere with high-biodiversity areas or compete with food production, and it could even contribute in a major way to an energy revolution in oil-dependent countries in the tropics, especially in Sub Saharan Africa where a lot of suitable “empty land” was thought to be available. It could help uplift the rural poor through electrification, and there were expectations of foreign exchange earnings through oil exports as well.

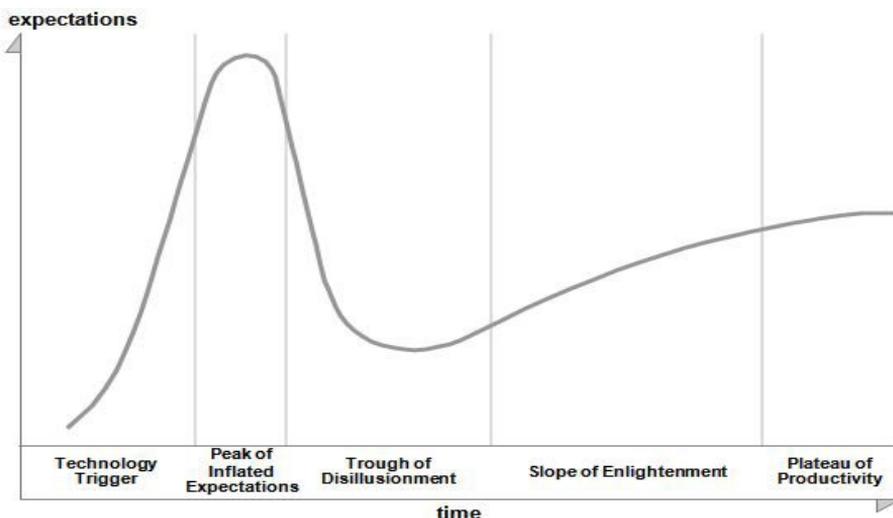


Figure 1: Innovation hype cycle (source: <http://blogs.gartner.com/svetlana-sicular/files/2013/01/GartnerHypeCycle1.jpg>)

The initial challenges for the company in this period thus lay more in establishing a credible business model as an early pioneer, without having the benefit of other examples to learn from, within a challenging African setting with constraints on human resources, local technological capacity, infrastructure and government policy. Initially there were good market prospects overseas, especially in the European aviation sector. KLM offered an unlimited market for jatropha oil at three times the price that local eco-safari companies (the first local clients) were willing to pay.

Due to established personal ties with several Dutch flower firms in northern Tanzania, the company opted to set up its oil processing operations there. However, it soon found out that there is very little empty land in that region that would be an ideal place for growing jatropha on a worthwhile scale. The one obvious option for a plantation was the empty area around the international airport, but negotiations with the airport authority for a lease stalled when it became apparent that *maasai* herdsmen and their cattle were regularly trekking through this land. When the *maasai* got wind of the negotiations, they objected vigorously to the idea of a jatropha plantation. When the company learnt about this, they wisely abandoned the pursuit of leasing land altogether, and concentrated entirely on contracting poor small-scale farmers as outgrowers.

In order to avoid possible competition with food production, the company began to promote the growing of jatropha as a *hedge* shrub around food crops. Since boundary land has little alternative value for farmers, this idea was well received by many because the shrub grows quickly and can be propagated fast by staking. In fact, the Jatropha shrub was already found to be in traditional use in the form of boundary hedges in many places. For farmers with established jatropha, the company introduced a welcome market for their seeds that had remained unharvested until then.

Within a few years of starting up, around 5000 small-scale outgrowers were under long-term contracts with a guaranteed minimum price, and hundreds of regional collection centres had been set up. In addition, the company tried to provide advice to the farmers about better farming practices, e.g. promoting intercropping of staple crops like maize and cassava with legumes to ensure nitrogen fixation. This was greatly valued by the farmers, not only for the practical knowledge that they received for improving yields, but also because of the personal trustful relations that were built in this way. The company benefited as well, because this way of working fostered loyalty among its suppliers in the face of emerging competitors who were scouting around on the market for jatropha seeds.

The internal management practices of the company were equally socially oriented, emphasizing low hierarchy between management and workers, providing ample opportunities for sharing ideas and concerns through frequent social meetings, fair treatment, a transparent culture, offering training development opportunities for promising workers, creating a savings fund, family health insurance, and more. This paid considerable dividends in the form of a committed workforce.

Phase 2 in the life of the company began after mid-2008, when the high expectations about jatropha (and biofuels in general) began to crash down everywhere. For the company, this brought the realization that easy subsidies were going to run out soon, whereas sourcing from 5000 farmers with a hedge of maximum 400m in length would yield far too little production to ever turn this business model privately profitable. Initial back-of-the-envelope calculations revealed that break even could not be expected at less than 1000t. seeds throughput per annum. That would mean the need to involve approximately 20 times more seed suppliers. Growing 20 times larger would undermine the unique value of the company's concept, in

which it not only bought seeds from the farmers but also built up highly valued personal relations through its extension work. This work was highly labour intensive and costly. Thus, the unique original social business model, based on personal contacts and building of trust, forcibly had to give way to another one, based on high throughput, much lower unit costs, and efficient standardized procedures, i.e. involving a forced backsliding on the sustainability ladder depicted in Table 1.

Quantitative upscaling was pursued relentlessly in the following years, even as additional serious mishaps began to accumulate. In the worldwide economic recession, KLM's commitment to sustainability proved no more than skin deep. It broke its price agreement, reducing its buying price to the level of (predominantly unsustainably produced) palm oil crude. This implied such a large price fall that oil export was discontinued altogether by the company, as it did not make any economic sense anymore. A new local market had to be developed instead. Since structural exports to KLM would also have entailed the requirement of official sustainability certification of the whole supply chain according to newly introduced EU regulations, an expensive and laborious biofuel certification project that the company was in the process of implementing went down the drain at the same time.

Remarkably, however, the management did not lose sight of the social goals even in those hard times; these were merely put on a temporary back burner. This vision was shared with senior employees, and with external partners with whom the firm had cultivated close relationships, perhaps most importantly with like-minded researchers from the Eindhoven Technical University in the Netherlands who had assisted the firm with the (failed) biofuel certification project. In a pragmatic and incremental way, ways were explored to extract more value out of the production process, which could help to bring financial viability closer, and would ultimately also allow higher seed prices to be paid to the farmers – another major priority for the management. For instance, the firm began to make cooking briquettes and pellets from the seedcake for use in stoves and ovens, and it struck up a collaboration with an NGO to develop this market. Possibilities for gasification of part of the seedcake to enable self-generation of energy and bio-char for the farmers were explored together with the TU Eindhoven, to be followed by an investigation into the technical and economic feasibility of biodiesel production from the pure jatropha oil. Although some of these efforts have not yielded immediate tangible results, they have had another effect: they kept a shared vision alive, by mobilizing like-minded partners around activities of common interest. Looking back, this proved fundamental for dealing with an even more challenging stage in the company's life that was still to come.

Influenced by the imploding belief about the feasibility of utilizing jatropha for energy purposes, the original Dutch company owner began to run out of working capital in 2011, and he could no longer find fresh finance to continue with the "cash burning stage". Funds for biofuel investments had all but dried up after 2008. Forcibly, a Dutch foundation was invited in to take a substantial share. However, this arrangement proved an unhappy marriage and offered only a very temporary reprieve for the management in Tanzania. Within one year, the foundation announced that it wanted to withdraw – undoubtedly blinded by a virtual avalanche of negative "anti-hype" reports and public discourse about jatropha, and seemingly disregarding the remarkably good progress that the firm had been making in the few years leading up to this stage. The foundation started looking for suitable parties who could buy the firm in 2012. By this time the company was sourcing 500 t seeds from an estimated 50 000 farmers, i.e. a volume ten times higher than a few years before.

The Dutch foundation found several interested parties, but there was one problem: all of them turned out to be hard-nosed financial investors who did not have any affinity with the

company's social mindset, and just wanted to concentrate on the pursuit of financial profit without concern for the long-term wellbeing of the farmers and workforce. The foundation argued that it had no choice in this matter due to the severe worldwide economic recession which had largely brought the financial market for social entrepreneurship investments to a standstill, and “beggars can't be choosers”.

This left the manager and the workforce in an extremely difficult situation: Should they go along with a take-over on those terms, or should they refuse and walk out collectively, leaving the potential investor essentially with no more than an empty shell? In spite of the fact that none of the people involved (including the manager) had any form of job security in the case of a walkout, the manager was able to convince his workforce to reject a takeover on these conditions and to refuse to retreat to the very bottom “survival” rung of the sustainability ladder. Instead, the manager began a strenuous search for a new sustainability-minded investor, while an exasperated Dutch foundation instigated voluntary liquidation proceedings. The months that followed were exceedingly difficult. There were times when it looked as if the final end of the firm was an inevitable certainty. In spite of that, the team doggedly continued to collect and process seeds at full speed almost till the end of 2012, when liquidation was declared and the equipment was auctioned off.

Yet, the end had not come. Instead, there followed a *phase 3*. What ultimately contributed to a breakthrough was the fact that the manager was able to rely on his personal/professional network of supportive parties with relevant professional networks of their own. In this way he discovered EcoCarbone (France), and contacts with this organization were made in early 2013. Very soon after, the company restarted operations under the new name of EcoCarbone Tanzania Ltd, and – for the time being – still with a rented production line and at a somewhat reduced production volume, as EcoCarbone needed time to attract additional investors that share the vision of the company, and that will be able to achieve its full re-capitalisation and further expansion. At the time of writing this article, the prospects for a re-capitalisation and full rebirth with a triple-P strategy are looking good.

IV Conclusions

The story of EcoCarbone illustrates the relevance of just about all the factors that have been pointed up in the literature about organizational learning for triple P-sustainability: we see how a downward movement along the sustainability ladder is induced by adverse events, but we also perceive efforts to regain lost ground again, in spite of severe adversity. Sheer conviction, ethical principles and patience on the part of the people who have played a key role in the company's development in various stages have been the key driving forces behind the latter. Ultimately, these personal values, beliefs and convictions drive the company's sustainability vision, and they have the effect of grounding this vision in the company's strategies and day-to-day activities. This is also what makes its concerns with the economic deprivation of the farmers genuine, and its efforts to improve their conditions credible, even if these efforts cannot all succeed in the short term. In the reality of a world overwhelmingly driven by short-term and narrow capitalist values, the development of a balanced triple-P business model needs time, patience and extensive experimentation to find out what really works.

More specifically, we highlight the importance of the following managerial lessons:

Common-sense management - keeping a level head throughout the turbulent hype cycle, i.e. not being swayed in the early years by promises that are widely endorsed but appear unrealistic upon close consideration; while keeping faith and being extremely tenacious during the “tough trough” years in searching for financial solutions and exploring future development strategies.

Embedding the company into a broader network with complementary actors of various kinds who adhere to like-minded principles and compatible goals, such as local NGOs which are in the business of organizing local smallholders into groups and linking them to market channels, and universities/research institutes whose students and staff can contribute with research at minimal cost, for example on process optimization.

Developing incrementally, based on learning-by-doing in close interaction with the smallholder suppliers, equipment suppliers, customers, and other parties.

Staying true to core values even while key business partners behave opportunistically, including prioritizing self-development and team building among workers.

Turning problems around into opportunities for new learning and improvement, and be flexible enough to embrace the unexpected.

The story of Eco Carbone Tanzania also holds lessons for policy makers and financiers. It illustrates above all that a medium-sized social entrepreneurial business model based around small-scale farmers as seed suppliers can have potential in Sub Saharan Africa when the specific constraints of the local physical and social environment are respected, and the potential offered by those conditions are exploited. In this specific case, this was achieved by orienting the business completely around jatropha sourcing from farmers’ boundary lands, which have negligible opportunity costs. Fast upscaling was made possible because of the existence of a lot of established jatropha hedges in Tanzania.

A specific blueprint for such a business model obviously does not exist. The main lesson afforded by the case study is that local conditions and the vision of the company interactively should be allowed to shape a business model that will work, through a gradual process of learning in close interaction with other parties. A business model is not an off-the-shelf product, it has to evolve. But a few rules of thumb can be given based on the lessons learnt by EcoCarbone Tanzania. Mainly, orienting such businesses towards western markets is not the right way to go for a number of reasons. Powerful western buyers can behave opportunistically due to vagaries associated with economic ups and downs. Moreover, the requirement of sustainability certification is extremely costly and perhaps even impossible to realize for supply chains involving tens of thousands of farmers with tiny plots. Western certification norms such as (in this case) the Dutch NTA8080 are not tailored to deal with the complexities of African rural reality. More fundamentally, one may argue that exporting bio-energy feedstocks to western high-consumption societies is unethical in the first place, as it allows those societies to continue their unsustainable carbon-intensive lifestyles, whereas poor African populations continue to be deprived from even the most basic energy services. Meeting those basic needs and fostering local development should receive top priority.

Much more can be done to stimulate the process of suitable business model formation. The financial market for social entrepreneurship ventures is still highly underdeveloped. Such ventures can therefore fall easily between two stools: the market for traditional for-profit finance on the one hand, and traditional charitable aid funding on the other. Each imposes its

own conditions that social for-profit ventures cannot satisfy. Strengthening of funding options for such “in-between” cases is badly needed.

A final lesson concerns the harmful effects that hype cycles can have for sustainable business. It is crucial that policy makers and fund managers do not let themselves be swayed too much by popular hype or anti-hype discourse about new innovations, whether that concerns jatropha, or some other biofuel, or yet some other type of innovation. Going along with hypes can lead to a lot of wasted funding on unviable projects that can also induce a lot of harmful social and environmental impacts to boot. Conversely, going along with an anti-hype, by withdrawing or withholding funding for ventures that show realistic promise upon closer investigation, leads to wonderful babies being thrown out along with the bathwater.

Bibliography references:

1. EASAC, *The current status of biofuels in the European Union, their environmental impacts and future prospects*. German National Academy of Sciences Leopoldina, Halle, 2012.
2. Edwards, M.G., *An integrative metatheory for organisational learning and sustainability in turbulent times*. The Learning Organization, 2009. **16** (3): p. 189-207.
3. van Eijnatten, F.M., *A hybrid model for analysing the complexity of inter- and intra-organisational environments*. Paper presented at the 5th Annual Meeting of the European Chaos and Complexity in Organisations Network (ECCON), Elspeet (the Netherlands), 21-22 October 2005.
4. Jamali, D., *Insights into triple bottom line integration from a learning organization perspective*. Business Process Management Journal, 2006, **12** (6): p. 809-821.
5. Van Lente, H., *Promising technology: the dynamics of expectations in technological development*. PhD thesis at Twente University, Eburon Press, Delft, 1993.
6. Molnar, E. and P.R. Mulvihill, Sustainability-focused organizational learning: Recent experiences and new challenges', *Journal of Environmental Planning and Management*, 2003, **46** (2): p. 167–176.

OIL PALM BUSINESS MODELS

L.FEINTRENIE¹

(1) CIRAD, UR B&SEF
Biens et Services des Écosystèmes Forestiers tropicaux
Département Environnements et Sociétés
CIRAD-direction régionale d'Afrique Centrale
BP 2572, rue Joseph Essono Balla,
Yaoundé, Cameroun.

Author email contact: laurene.feintrenie@cirad.fr

Key words: public-private joint-venture, industry-smallholders partnership, artisanal palm oil, Central Africa, Indonesia, Colombia

I Introduction

Oil palm plantations have expanded a lot during the last three decades in Southeast Asia, and especially in Indonesia, in answer to the growing international demand for vegetable oil (see 2012 consumption per country, figure 1). Since 2008, Indonesia has been the first world producer of palm oil, ahead of Malaysia. In 2012, the country produced more than 31 Mt of Crude Palm Oil (CPO). Oil palm expansion was much less intensive in Africa. African countries are far behind in term of production (see figure 2), with Nigeria (more the 930 000 t in 2012), Ghana (about 240 000 t) and Cameroon (about 210 000 t) as the main African producing countries (Index Mundi 2013).

Expansions in Indonesia have become more complicated since 2010 and the commitment of the State in a moratorium on deforestation, signed with Norway, and the commitment of oil palm biggest companies in the Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) which includes a prohibition to plant on forested areas. Investors are now looking at other suitable areas to develop oil palm plantations. These areas rest in the Amazonian basin and in the Central African region.

Oil palm plantations are very diverse, ranging from smallholder plots of less than 1 ha targeting family or village consumption of artisanal palm oil in Cameroon, to very large industrial plantations of more than 50 000 ha hold by multinationals in Indonesia targeting urban consumers of the producing country and exportation. Various arrangements are signed between industries, governments, and local populations. These arrangements defined the relationships between the actors of the producing sector, and the conditions of benefit sharing among these actors. The livelihoods impacts on local peoples raise concerns among outsiders, who point at the risks of unfairness, manipulation and abuses of the population; examples abound in the oil palm sector in Indonesia, and in rubber development in Southeast China and Laos. Another major concern is the direct

consequence of rapid conversion of large areas into plantations, which can have a direct impact on local people's access to land, and can induce the displacement of food crop production, and cause direct or indirect deforestation.

Oil palm business models are defined as the oil palm production system, including the producers, the milling units, the relations between industries and producers, and the intermediate actors if any. Based on literature review, field data collection from 2007 to 2010 in Indonesia and in 2012-2013 in Indonesia and Central African countries, the paper questions the impacts of oil palm business models on local livelihoods.

II Material and Method

The analysis draws on socio-economic surveys conducted in Indonesia from 2007 to 2010 (see Feintrenie 2010) and updated in 2013, and interviews of key stakeholders (ministries, oil palm industries' managers, villagers nearby industrial plantations, NGOs) conducted in 2012 - 2013 in Cameroon, Gabon and Republic of Congo, completed with scientific literature review and media reports review.

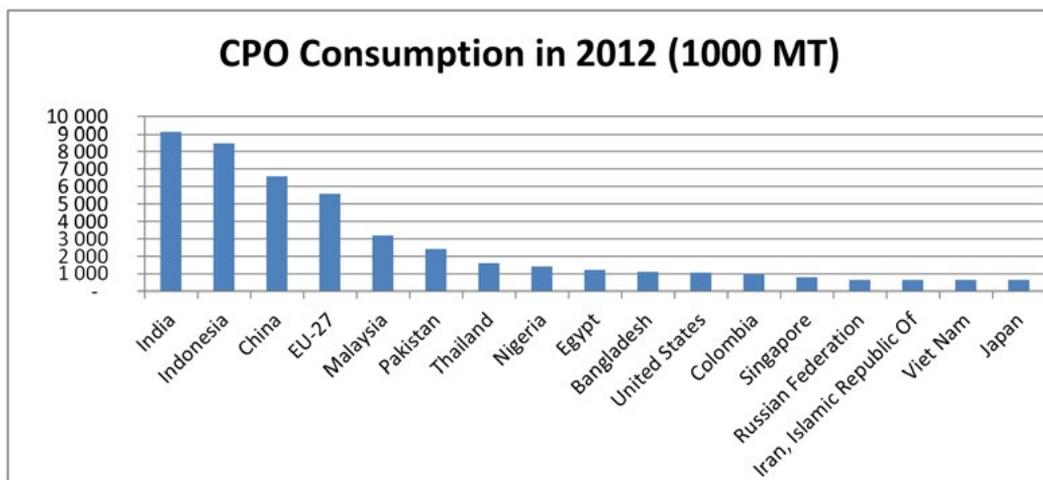


Figure 1: World consumption of Crude Palm Oil (CPO) in 2012, per country. Source: Index Mundi 2013.

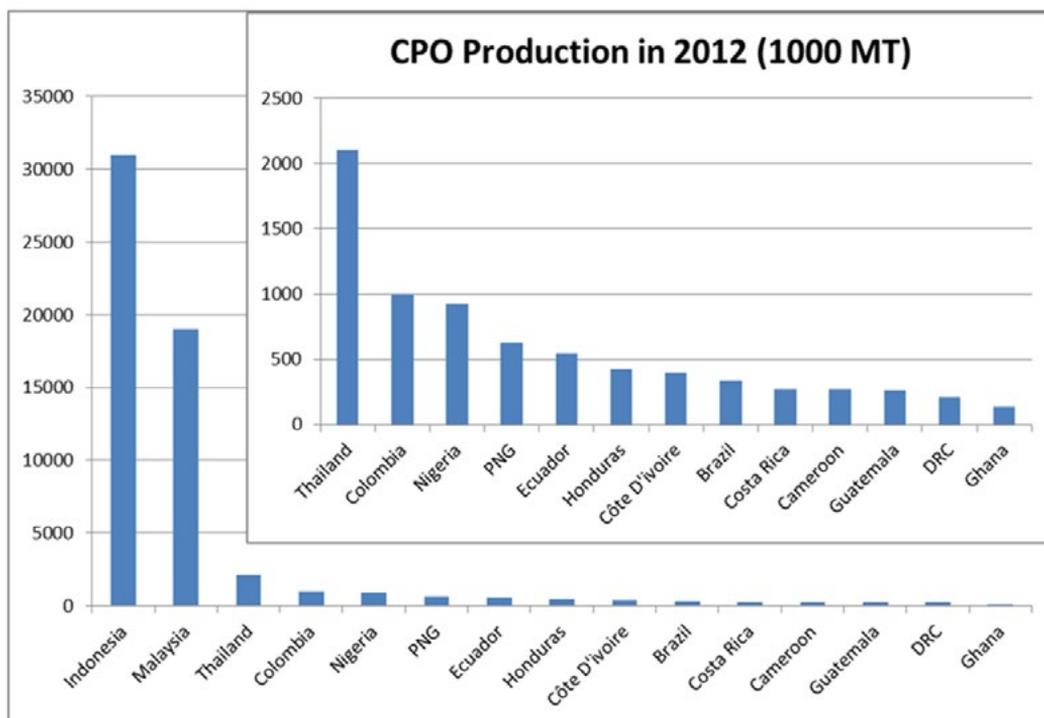


Figure 2: World production of Crude Palm Oil (CPO) in 2012, per country.
Source: Index Mundi 2013.

III Results

3.1 Smallholders and artisanal milling in Central Africa

Three types of plantations are present in Central Africa: agro-industrial estates, contracted small and medium holders who supply industrial mills, and independent smallholders who might also produce artisanal red palm oil at home with artisanal mills. Smallholders with less than 5 ha of oil palm represent more than 75% of oil palm growers in Cameroon. Most of them don't have access to good quality seedlings, use little inputs, cultivate food crops between juvenile palms and face mortality due to rodent (Cheyins and Rafflegeau 2005). As a consequence, the return to land of smallholdings are quite low with about 318 €/ha/year in Cameroon for the production of FFB¹ (Hayatou 2013).

¹ FFB : Fresh Fruit Bunches, traduisible par régimes de fruits frais en français, il s'agit des régimes de palmier à huile.

In Cameroon, as in the entire Central African region, the traditional extraction by hand and foot of red palm oil with water is well spread and allows processing a small quantity of FFB. For processing at home a bigger quantity of FFB, equivalent to the production of 3 to 30 hectares of oil palm, smallholders use manual or motorized artisanal press (Hayatou 2013). A traditional way of extracting palm kernel oil at home by heat is also wide spread in West and Central Africa, palm kernel oil is used to produce artisanal soaps and for custom medicine.

The artisanal sector of transformation of FFB in various products is well developed. The artisanal extraction of red oil by the farmer with a small-scale mill allows him/her to get an added value of about 40 €/ha/year, with nearly no added production costs (Hayatou 2013). In these conditions, it is more profitable for a smallholder to process red oil and sell on the local market than to sell FFB to an industrial mill. The artisanal transformation of FFB to red oil is also an opportunity of livelihoods resources for widows and lonely women, who have poor access to land. It is worth mentioning that some women workers in oil palm farms (for transporting FFB), demand to be paid in loose fruits in order to get raw material to extract artisanal red oil. (Hayatou 2013)

Another African specificity of the oil palm production model is the production of palm wine and palm alcohol (distilled palm wine). Palm wine is produced after cutting down the palm trees, slashing off the palm leaves in order to collect twice a day the naturally fermented sap (Cheyins and Rafflegeau 2005). Cutting a thin slice of the apex twice a day allows the sap collection during about one month and is very profitable. The oil palm plantation can be used as a cash-reserve, cut for palm wine production when there is an important need for cash in the family, to cover medicinal costs, education or university costs, or ceremonies. The benefits of slashing down the palms can also be used to invest in replanting, and cover input costs. There is here an opportunity to improve smallholdings productivity by providing to smallholders a market on which to buy selected high quality seedlings and fertilizers (see Rafflegeau 2008 on good practices of production for smallholders).

The government attempted to develop the oil palm sector by promoting Nucleus Estates and Smallholders (NES) projects. The so called 'village plantations' are owned by smallholders under contract with an industrial mill. The contract states that the smallholders will sell all their production to the mill and receive a monthly payment for the FFB with deduction of the reimbursement of a credit to cover planting and production costs. The enterprise possesses and manages an industrial plantation and a mill. Workers on the estate and at the mill are usually migrants coming from other Cameroonian regions. The first projects of village plantations date from the 1970s, and were supported by the National Fund for Rural Development (FONADER). The public development company, Socapalm, was developed on this model, with the plantation of the estates started in 1969, and development of surrounded village plantations beginning in 1978 (Rafflegeau 2008). The proportions in surface between the Socapalm plantation and the village plantations are around 70% of estates and 30% of contracted-smallholdings. The CDC and Pamol also benefited from the village plantations program (Nkongho et al. 2013).

The program didn't last long, the Fonader bankrupted in 1991 due to several problems: (i) unclear management of the credits, with complete lack of transparency, (ii) long-term reimbursements justified by very high rates of interest, (iii) in reaction, a lack of reimbursement of the credits by the smallholders, who preferred selling their fruits on the informal artisanal market to avoid paying back their credits (Nkongho et al. 2013),

or to buy a small scale mill and produce red palm oil to sell on the local market, or to sell their FFB to another industrial mill (Cheyins and Rafflegeau 2005; Nkongho et al. 2013). The failure of the model in Cameroon probably lies on the weak dependency relations between contracted smallholders and the enterprise involved in the project. The presence of the artisanal palm oil sector and the domestic red oil consumption in Cameroon, open a window for contracted-farmers not to respect their contract, and process their FFB at home or to sell the fruits to artisanal mills.

3.2 Industry-smallholders partnerships in Indonesia

The main oil palm production system in Indonesia is also based on the NES scheme. In the late 1970s, 'Perkebunan Inti Rakyat', Indonesian translation of 'nucleus and community plantation' was introduced as part of the transmigration program (Levang, 1997), a public program which aimed at moving landless volunteer farmers from the over populated islands of Java, Madura and Bali to the less populated islands of Sumatra, Kalimantan and Sulawesi. In the 1980s, oil palm plantations began to expand in Sumatra island, as part of PIR or as industrial plantations with no agreement with smallholders called 'Perkebunan Besar Swasta' (PBS). At the end of the 1980s, 'Primary Cooperative Credit for Members' or 'Koperasi Kredit Primer untuk Anggota' (KKPA) were promoted by the government (McCarthy and Cramb 2009). KKPA could be associated with a transmigration project, with local population joining the KKPA cooperative and transmigrants benefiting from a PIR scheme.

PIR and KKPA, rely on a contract signed between a company, smallholders grouped in cooperatives (so-called plasma-cooperatives), and a bank, under the supervision of the government. Usually, the deal includes the handing over, from the village to the company, of some land against financial compensation. This land bought by the company participates to the nucleus of the plantation, in opposition to the plasma made up by all the smallholdings participating in the venture. Different conditions of contract exist in Indonesia, with various proportions of the land sold to the industry by smallholders above the land conserved as plasma plot, and involving either a financial credit or a share of the net product (table 1).

Table 1: Examples of the main conditions of contracts between plasma holders and industry

Type of contract =>	PBS	KKPA	KKPA	KKPA	KKPA
Land share (% sold to industry / % preserved in plasma)	100 / 0	80 / 20	70 / 30	50 / 50	0 / 100
Net product share (% taken by the industry / % of the plasma member)		0 / 100	0 / 100	60 / 40	0 / 100
Credit		yes	yes	no	yes

Local governments participate in the process through facilitation of discussions between the partners and land titling. If there is a credit, the bank keep individual land titles as collateral, and the company is responsible for collecting the repayments from the farmers. Charges are made for all services. Plasma holders are paid monthly after deduction of all installation and production costs. If the contract involved a credit, a percentage of the net product is kept to pay back the credit.

The degree of responsibility of the plasma holders and cooperatives in the management of the plantation depends on each specific case. In some cases, the industry manages all the technical operations on the plantation and the cooperative is only responsible to distribute their gains to the plasma holders. In other cases, the cooperative manages the plasma plots under the technical directions of the industry (calendar of activities, access to inputs). At least, plasma holders might manage their own plot themselves, benefiting from an easy access to inputs and technical advice through the cooperatives.

The benefits of such contracts for the plasma holders depend on the conditions of land sharing and of credits. Too often interest rates of the credits are very high (above 12%), with installation costs also high, especially in sloppy areas where terracing is needed before planting. In these conditions only a quick reimbursement allows to get out of debt, if the plasma holders wish to devote only a small part of the net product to the repayment of the debt, they might not been able to pay back the whole credit in the duration of the plantation (25 to 30 years).

Some independent smallholdings are developing around industrial and plasma plantations. These smallholders sell their production to middle-men, who sell it to the oil mill. Middle-men are important actors in this market: they collect FFB from many smallholders and then negotiate the price with the mills. They can even organize strikes or protests if they disagree with the enterprise's decisions (Feintrenie et al. 2010). Oil palm independent smallholdings are less productive than estate plantations and plasma plantations. Farmers do not have access to seedlings of productive varieties, they lack of knowledge in the best practices on fertilization or pest management. But they are learning, asking for advices to workers from the estates, employing them as daily workers or plantation managers. Oil palm plantations are profitable to independent smallholders, especially in comparison to other smallholder's plantations (Feintrenie et al. 2010). The return to land of an oil palm smallholding is quite comparable to a rubber or cocoa one, depending of the price of these commodities, but return to labor is generally higher on an oil palm plantation thanks to the poor labor needs.

3.3 Joint-ventures, and alliances

An alliance aims to organize smallholders in order to collect their FFB, to offer them credit, technical assistance and opportunities for inputs at coarse price and to become share holder of a mill according to their surface. Industries participating in this scheme can benefit from financial help from the government and secure their supply in FFB (FEDEPALMA 2010). Credit for smallholders is one of the similarities with the NES development model. Smallholders join the alliance with their own land, like in Cameroon or in Indonesia (Feintrenie and Rafflegeau 2012).

Thanks to a combined development of industrial oil mills and smallholdings under 'alliances', smallholdings represented 19% of the total planted area in 2012 and smallholders were about 5400 (Pacheco 2012). Alliances are based on a win-win partnership between smallholders and an oil mill.

IV Discussion

4.1 How smallholders-industry partnerships can work?

National procedures have been developed by governments to limit risks of land grabbing and negative impacts on the environment and the population impacted by large-scale land acquisitions. These usually involve Environmental and Social impact assessments (ESIA) conducted either by independent consultants or by public officers (or the two together), followed by operational plans of impact management, signature of Free Prior and Informed Consent (FPIC) with writing of the enterprise commitments in specification books signed by all the parties. These agreements and documents are part of the requirements of certification procedures, and have become national standards. Thanks to this, even not-certified industries have to respect some minimum requirements to ensure certain sustainability in the use of large-scale land acquisitions (Feintrenie 2013).

As an example, the Atama society, installed since 2012 in the North of Congo, is not certified, but the society respected the legal procedure and it took 2 years of assessments and discussions between the signature of the agreement protocol with the Ministry of Agriculture and the decree of authorization of occupation of a public land reserve for 25 years (renewable). During these two years, ESIA were conducted, FPIC were negotiated and signed (in November 2012, some villages were still negotiating with the enterprise and the preparation of the land for plantation around these villages was postponed until signature). The main difference between this plantation and a RSPO certified one thus lies in the impact on forest. Indeed, Olam in Gabon, RSPO member, refused land in High Conservation Value (HCV) forests, inundated forest or Ramsar sites², and Sime Darby, RSPO certified, cancelled its plans of oil palm plantation in Cameroon because only forested land were available for large-scale plantations. On the opposite, Atama is not a RSPO member, and thus accepted a concession in a forest area, part of the concession being a declassified forest (from the UFE Ngombe), and part being on inundated forest, and even argued to the government officers that savannahs were not suitable for oil palm plantations, without further enquiry in the actual production potential. Because Olam-Gabon followed the RSPO recommendation to define the area to be planted, including FPIC, HCV assessment, buffer zones around rivers and inundated areas, 70% of the land attributed by the State to the group was stepped aside and will not be planted. Part of it has been excluded from the Olam concessions (especially areas on Ramsar sites or where villages refused the project), and part will remain under the management of Olam but not be planted (HCV areas, buffer zones) (Feintrenie 2013).

² Ramsar sites : en français réseau d'aires protégées international

4.2 Opportunities for oil palm development

Oil palm is the most extended commodity in which international holdings have been investing in Central Africa since 2000, with the largest concessions acquired totalizing more than 870 000 ha (Atama in Congo, Olam in Gabon, SG-SOC in Cameroon, TriNorth Capital in DRC) and the biggest plans of expansion totalizing more than 260 000 ha (FriEl Green and ENI-Congo are negotiating in Congo, GMG is negotiating in Cameroon and Gabon, Olam will expand in Gabon, Siva and SG-SOC are negotiating in Cameroon). This rapid expansion of oil palm plantations answers to the domestic demand (all the countries of the region are net importers of palm oil), the global demand for edible oil (human and animal), industrial use and biofuel. The region is also targeted as a suitable place for oil palm, which is natural to the region, with huge areas of non-cultivated, non-protected and low-population-density land. However, potential yields are lower than in Southeast Asia because of the rain regime (with a dry season) and lack of sunlight during the rainy season. But land is getting scarce in Southeast Asia, and industrial producers are looking for new regions to invest in. Africa is an interesting market, and close by Europe, but Latin America might be more interesting in terms of yield potential. Besides, certified companies will not develop plantations on forested lands, and might not be willing to invest in savannahs with higher uncertainty on the level of production. For this reason, and because of the difficulties encountered in its plantation in Liberia, Sime Darby has decided to cancel its plan of oil palm plantation in Cameroon (600 000 ha of oil palm plantations were at stake). Sime Darby is one of the funding members of RSPO, and much involved in the promotion of a sustainable palm oil production, thus it was considered impossible for them to develop a plantation on forested lands, and no large-scale (above 300 000 ha) non-forested land suitable for oil palm was available. Certification might thus slow down and limit the surfaces to be converted to oil palm plantations in the future in the region.

One common same risk remains everywhere: land grabbing by international companies or local elites. Land grabbing by local elites has been observed both in Cameroon and Indonesia, and reported in numerous countries. The arrival of an industrial plantation creates a land market where land never had a price but was more or less freely accessible to anyone willing to convert it to farming. Confronted to an opportunity of accessing quickly and easily to a lot of cash, numerous farmers decide to sell their land. Money is spent in more or less long-term investments: paying studies to the kids, buying a car or building a new house. But next generations are left with villages surrounded by foreigners' lands, and no more land to develop their own agricultural plots.

IV Conclusion

The development of large-scale industrial oil palm plantations might be of interest in countries of low population density with large areas of non-forested unoccupied lands. On the opposite, in countries with high density of family farming, oil palm smallholders should be favored, as well as artisanal mining of red palm oil. Nonetheless, new forms of partnerships between the industry and smallholders – such as alliances in Colombia – must be imagined to adapt to the African context. These partnerships must include technical support to the oil palm growers and access to facilitated access to high quality seedlings and inputs, against the sale of their bunches to the mill at a price similar or superior to the local market price. The joint-venture system of ownership of mills might be an opportunity to better secure the participation of smallholders into the partnership.

In general terms, sustainable oil palm development requires compliance to international standards of sustainable production such as RSPO certification; the 'free, prior and informed consent' of any community directly or indirectly involved in a development project or who use or benefit from the land or natural resources which will be affected by the project; and transparency on any negotiation of concession, and on management of planting credits. Land agreements have also to be respected on a long term basis in order to avoid conflict with landowners. A sustainable oil palm development also requires investment in increasing FFB productivity of smallholdings, as well as favoring private investments of agro-industries which can provide skills, productivity, and capacity of investment.

Acknowledgements

The author is grateful to ANR (the French National Research Agency) which supported part of this research in the framework of the *Sustainable Palm Oil Production* (SPOP) project (<http://spop.cirad.fr/>), and to the French cooperation through the *Service de Coopération et d'Action Culturelle* (SCAC) in Gabon which supported another part of this study.

Part of the field work has been conducted with the scientific and logistic support of Méthode NKOUA from CRDPI (Centre de Recherche sur la Durabilité et la productivité des Plantations Industrielles) in Congo and Lydia ATSIMA and Donald IPONGO from IRET (Institut de Recherche en Ecologie Tropicale) in Gabon.

Bibliography references

1. Index Mundi 2013. <http://www.indexmundi.com>. Consulted on September 2013.
2. Cheyns E. and Rafflebeau S. 2005. Family agriculture and the sustainable development issue: possible approaches from the African oil palm sector. The example of Ivory Coast and Cameroon. OCL, 12 (2): 111- 120.
3. Hayatou Iyabano A. 2013. Analyse socio-économique de la filière artisanale d'huile de palme au Cameroun. Master thesis. Montpellier, University Montpellier 3-IAMM.
4. Rafflebeau S. 2008. Dynamiques d'implantation et conduite technique des palmeraies villageoises de palmier à huile au Cameroun. Doctorat, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement. Paris.
5. Nkongho RN, Feintrenie L, and Levang P. Forthcoming. The strengths and weaknesses of the smallholder oil palm sector in Cameroon. OCL (accepté).
6. Levang P (1997) La terre d'en face. La transmigration en Indonésie. ORSTOM, Montpellier, France
7. McCarthy, J., and R. A. Cramb. 2009. Policy narratives, landholder engagement, and oil palm expansion on the Malaysian and Indonesian frontiers. Geographical Journal 175: 112-123.
8. Feintrenie L, Chong WK, Levang P. 2010. Why do farmers prefer oil palm? Lessons learnt from Bungo district, Indonesia. Small-Scale Forestry, 9 (3): 379-396.

9. FEDEPALMA-Alianza SNV-USAID/programa MIDAS 2010. De las alianzas productivas a los negocios inclusivos. Guía de mejores prácticas para la implementación de negocios inclusivos en palma de aceite. 24p.
10. Feintrenie, L. and Rafflegeau, S. 2012. *Oil palm development: risks and opportunities based on lessons learnt from Cameroon and Indonesia*. XVII International oil palm conference 2012, September 25-28, Cartagena Colombia.
11. Pacheco P. 2012. Soybean and oil palm expansion in South America, a review of main trends and implications. CIFOR working paper n°90.
12. Feintrenie L. 2013. *Opportunities to responsible land-based investments in Central Africa*. Annual World Bank conference on land and poverty, The World Bank - Washington DC, April 8-11, 2013.

MODÉLISATION ET ÉVALUATION DES PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DE LA LOGISTIQUE D'APPROVISIONNEMENT D'UNE HUILERIE : CAS DU JATROPHA AU BURKINA FASO

M. SAWADOGO ⁽¹⁾, A.CHAPUIS ^(1, 2, 3), J. BLIN ^(1, 2)

(1) Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), CCREHD / LBEB
Rue de la Science 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso.

(2) Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UPR
Biomasse Energie
TA B-42/16, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

(3) Université de Toulouse, Mines Albi, CNRS UMR 5302, Centre RAPSODEE,
Campus Jarlard, F-81013 Albi Cedex 09, France

Résumé

Les biocarburants, notamment l'huile végétale carburant à base de graines de *Jatropha* représentent une alternative à l'utilisation de carburants d'origine fossile. L'enjeu principal de la substitution des carburants fossiles par les biocarburants demeure le prix de vente du carburant qui est très fortement dépendant du prix de la matière première en entrée d'huilerie. Le coût des graines de *Jatropha* peut très fortement varier selon l'organisation de la chaîne logistique en amont.

Le travail présenté ici regroupe les résultats préliminaires d'études sur les chaînes logistiques de filières de *Jatropha curcas*. L'objectif de cette étude est de proposer un modèle de calcul des coûts logistiques pour différents types de filières de production d'huile de *Jatropha* pour un usage carburant. L'objectif ultime est de développer une méthodologie permettant d'identifier le meilleur scénario en fonction d'un certain nombre de paramètres notamment la taille de l'unité de trituration des graines et l'organisation spatiale de la production de la matière première. Les études réalisées concernent l'approvisionnement d'unités de trituration de graines de *Jatropha* de moyenne et grande capacité.

Pour cela, les coûts logistiques de divers scénarios d'approvisionnement d'une unité de trituration de graines de *Jatropha* sont évalués. Ces coûts représentent les coûts de récolte, de transport, de stockage, de décorticage et de séchage. Nous mettons ainsi en place un modèle mathématique de calcul de ces coûts en tenant compte des rendements aux différentes étapes considérées. Le modèle mathématique ainsi formulé est implémenté sous Matlab avec une application sur un cas d'étude dans le sud du Burkina Faso.

Mots clés : *Logistique, Approvisionnement, Biocarburants, Jatropha, Modélisation, huile végétale carburant.*

I Introduction

1.1 Contexte et problématique

Les coûts logistiques des filières de production de biocarburants représentent souvent une part significative du coût de production total. Récolter, transporter, stocker, traiter, sécher sont des opérations coûteuses qui peuvent largement influencer le coût de revient des biocarburants et les rendre peu ou difficilement compétitifs avec les carburants pétroliers. Ces frais sont d'autant plus élevés que les zones de production de la matière première sont dispersées (longues distances de transport, multiplication des équipements de transformation, etc.), comme c'est le cas au Burkina Faso où les conditions pédoclimatiques et le peu de mécanisation impliquent des modes de cultures plutôt extensifs, avec des rendements faibles. La maîtrise des coûts logistiques (approvisionnement des presses, stockage...) est alors primordiale pour réduire le coût global de la chaîne.

L'approvisionnement en matières premières est l'un des principaux obstacles à la rentabilité des filières biocarburant. En effet, selon (*Fan et al., 2013*) [1], les coûts logistiques peuvent représenter jusqu'à 35% du coût total de production des biocarburants ; et même selon (*Mahmood et al., 2011*) [16] ces coûts peuvent être compris entre 40 et 60% lors de la production de bioéthanol. Les problèmes de coûts liés à la collecte, au stockage et au transport de la biomasse pour une valorisation énergétique sont courants dans le domaine des bioénergies : la biomasse sur le champ, en forêt ou sous forme de résidus d'unités de transformation agroalimentaire ne coûte presque rien, mais dès qu'il faut la transporter et/ou la conditionner pour une valorisation énergétique sur un lieu centralisé, les coûts augmentent considérablement, rendant ce type de filières énergétiques alternatives peu rentables. Toujours selon (*Fan et al., 2013*) [1] les coûts associés à la collecte et au transport de la biomasse cellulosique peuvent parfois atteindre 50% du coût total des matières premières.

L'utilisation du *Jatropha* comme ressource pour la production de biocarburant connaît un intérêt en Afrique (et tout particulièrement en Afrique de l'ouest) depuis une dizaine d'années. Les propriétés de cette plante, notamment sa résistance aux climats arides et la forte teneur en huile de ses graines (jusqu'à 40% en masse) ont incité les investisseurs et les potentiels porteurs de projet notamment ceux qui pourraient être financés via les mécanismes de développement propres à s'intéresser à son potentiel pour substituer les carburants d'origine fossiles [13].

Beaucoup d'acteurs impliqués dans le développement des biocarburants en Afrique de l'ouest (promoteurs, ONG, décideurs ...) mènent des travaux pour tenter de minimiser les coûts de production des biocarburants et les rendre plus compétitifs sur le terrain.

Aujourd'hui avec les retours provenant de diverses expériences en Afrique de l'ouest, il apparaît clairement que la taille (dimension et les capacités de trituration) des huileries est un élément (si ce n'est le principal) décisif pour structurer les filières de production d'huiles de *Jatropha*. Bien qu'utilisée depuis plusieurs siècles en Afrique en haies vives pour protéger les cultures vivrières contre les ravages du bétail itinérant, l'agronomie du *Jatropha* n'en est qu'à ses balbutiements. La plus grande partie des programmes de production d'huile carburant à partir de *Jatropha* se sont principalement intéressés jusqu'à ce jour à comprendre et à optimiser l'agronomie de cette plante. Cependant quelques huileries commencent à voir le jour et il apparaît clairement que ces dernières

rencontrent quelques problèmes lorsqu'elles sont :

- de petites capacités en graines (< 400 tonne /an) : il y a un risque d'obtenir de très faibles rendements d'extraction avec des huiles de mauvaises qualités pour un usage carburant. De plus, pour de petites huileries, il est difficile de pouvoir amortir les investissements en équipements, et aussi de pouvoir investir dans des équipements de valorisation des tourteaux, notamment le biogaz, qui permet d'abaisser significativement les coûts de production.

- de grandes capacités en graines (> 10 000 tonnes/an) : les rendements à l'hectare est les surfaces cultivées restent encore trop faibles pour approvisionner de telles unités.

Contrairement à ce qui est couramment accepté, presser des graines de Jatropha pour obtenir de l'huile (avec des bons rendements et de la qualité) n'est pas évident, et cela requiert de bons équipements mais surtout une main d'œuvre qualifiée dont c'est le métier. De plus, pour un fonctionnement optimum il est préférable que la presse tourne en continu afin d'éviter les phases de démarrage et de préchauffage au cours desquelles les rendements d'extraction sont très mauvais.

Cependant l'approvisionnement de ces unités de capacité « moyennes » requiert que des efforts de recherches soient menés sur la localisation de ces unités, sur les emplacements adéquats des zones de stockages, sur la construction de points de collecte et la mise en place de réseaux d'approvisionnement performants.

1.2 Chaîne logistique du Jatropha

La chaîne logistique est définie comme l'ensemble des étapes permettant de mettre à disposition une ressource donnée (personnes, marchandises...) au bon moment, au bon endroit, au moindre coût et avec la meilleure qualité. Selon Beamon [2], la chaîne logistique est un processus intégré, dans lequel un certain nombre d'acteurs différents (fournisseurs, fabricants, distributeurs et détaillants) travaillent ensemble dans le but : d'acquérir des matières premières, de transformer ces matières premières en produits finis spécifiques, de livrer ces produits finis aux détaillants.

La chaîne logistique d'une filière de production de biocarburant à base de Jatropha s'étend de la pépinière à l'utilisation du biocarburant dans un moteur (huile végétale ou biodiesel). La figure 1 présente les différentes étapes de chaînes logistiques de filières de production de biocarburant à base de Jatropha ; les flèches en rouge (tirets) indiquent la chaîne logistique d'une filière produisant de l'huile végétale carburant et celle en bleu représente une filière produisant de biodiesel (qui nécessite une étape de trans-esterification de l'huile végétale brute).

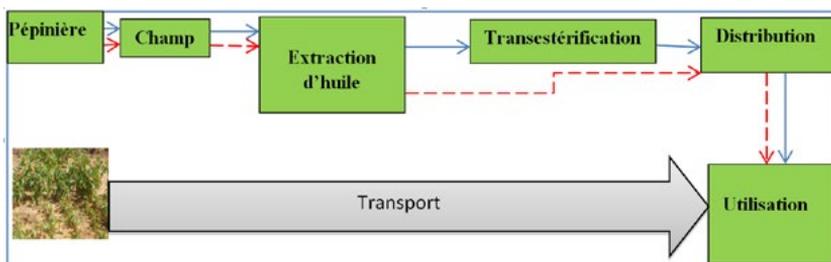


Figure 1. Les chaînes logistiques étendues de filières Jatropha

Chaque étape de cette chaîne logistique est le lieu d'un certain nombre d'opérations (récolte, séchage, transport, stockage...). Ces opérations peuvent être déclinées en des fonctions logistiques principales auxquelles sont associés des facteurs déterminants (tableau 1).

Tableau 1. Les fonctions logistiques de filières jatropha et leurs facteurs déterminants

Fonctions logistiques	Facteurs déterminants
Récolte et séchage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Superficie récoltée ▪ Coût de récolte ▪ Moyens de récolte ▪ Capacité des moyens de récolte ▪ Rendement du séchage ▪ Moyen de séchage
Stockage	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité de stockage ▪ Coût de stockage ▪ Conditions de stockage
Prétraitement (séchage supplémentaire, ...)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité des équipements ▪ Coût ▪ Impacts
Transport	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacité des moyens de transport ▪ Le poids /volume des chargements ▪ Les impacts sociaux et environnementaux ▪ Les coûts

Dans le cas de la présente étude, nous nous intéressons aux performances économiques des chaînes logistiques depuis le champ jusqu'à l'huilerie.

Ainsi, cette étude a pour objectif de mener une évaluation/comparaison économique de différents modèles de chaînes logistiques de filières biocarburant à base de Jatropha en Afrique de l'ouest, plus particulièrement dans l'ouest du Burkina. Dans un premier temps, le périmètre fixant les limites des chaînes logistiques étudiées est défini afin de proposer ensuite un modèle mathématique permettant d'évaluer les performances économiques de plusieurs scénarios d'approvisionnement d'huileries. Ces scénarios portent sur divers niveaux d'intégration des chaînes logistiques des dites filières.

II Méthodologie

La figure 2 présente la méthodologie utilisée dans cette étude. Dans un premier temps, les scénarios envisageables pour l'approvisionnement des huileries sont identifiés. La détermination des scénarios requiert de recenser les acteurs impliqués et les différentes étapes de mobilisation de la ressource (de la récolte à l'huilerie).

La deuxième étape consiste à mettre en place un modèle mathématique permettant d'évaluer les coûts associés à chaque étape de mobilisation de la ressource. Cette modélisation s'appuie sur les scénarios identifiés ainsi que sur les rendements de récolte, de séchage, de décorticage et de pressage.

La dernière étape est une implémentation du modèle sous Matlab en se basant sur la disponibilité des terres pour la culture de *Jatropha* dans l'ouest du Burkina et sur la capacité de l'huilerie.



Figure 2. Méthodologie adoptée pour l'évaluation des performances économiques des chaînes logistiques de filières jatropha

III Modélisation

3.1 Hypothèses et scénarios étudiés

Les scénarios sont basés sur une organisation de filière de type « **transformation industrielle** ». Les graines sont donc destinées à une transformation industrielle de graines de *Jatropha* en huile végétale.

L'hypothèse de transformation artisanale (échelle villageoise) n'a pas été retenue, car ce type de scénario est difficilement viable dans le contexte de l'étude. En effet, les presses de petites capacités sont difficiles à maîtriser pour fonctionner en régime stabilisées avec de bons rendements. Souvent les petites huileries fonctionnent par intermittence (pas en continue et sur des périodes courtes) et la presse n'est pas pilotée par du personnel qualifié; si bien que les rendements obtenus sont très faibles et l'huile

obtenue est souvent de mauvaise qualité ce qui requiert un post traitement (raffinage) ce qui a un coût et rend d'autant moins rentable la filière.

La trituration des graines peut être opérée soit par des « agro-industriels » qui produisent eux –même les graines qu'ils transforment (Scenarion 1), soit par des transformateurs (industriels, coopératives, ...) qui achètent les graines auprès de producteurs (Scenarion 2). La distribution de l'huile n'est pas prise en compte dans la présente étude.

Scénario 1 : Production « agro-industrielle »

Selon ce scénario, les champs sont de grandes plantations d'un seul tenant appartenant à un même acteur qui peut être un « agro-industriel » ou un groupement de producteurs (coopérative, association, ONG ...) qui transforme les graines en huile. Ces industriels possèdent à la fois les plantations et les huileries. Le transport est assuré par les camions de l'unité de trituration, les moyens de stockage, de décorticage et de séchages sont souvent performants et automatisés (ou mécanisés). L'approvisionnement dans ce type d'organisation peut se faire suivant plusieurs types sous-scénarios:

- **Scénario 1a : Modèle de plantation continue avec transformation délocalisée**

Cette variante est caractérisée par une plantation d'un seul tenant alimentant l'huile. La collecte, le séchage des fruits se font au niveau des champs. Ensuite, les fruits secs sont transportés vers l'huile où ils seront décortiqués et les coques pourront être valorisées dans les chaudières de l'huile. Il n'y a pas lieu de créer un point de collecte. L'unité de production étant délocalisée, il y a un transport supplémentaire vers l'huile.

- **Scénario 1b : Modèle de plantation continue avec transformation locale**

L'unité de transformation est située au niveau des plantations dans ce cas, il n'y a pas de transport supplémentaire. Toutes les opérations (récolte, décorticage, séchage...) se déroulent dans le rayon de la plantation.

- **Scénario 1c : Modèle de grande plantation morcelée**

Dans ce cas, il est nécessaire de créer un point de collecte pour mutualiser les flux. Les fruits récoltés sont séchés au champ, puis transportés vers les points de collecte où ont lieu des opérations de décorticage et séchage. Les graines sont ensuite transportées du point de collecte vers l'huile.

Scénario 2 : Production tierce

Dans ce scénario, des producteurs individuels vendent les graines ou les fruits secs à une unité de trituration de graines. Cette dernière peut soit se faire livrer les graines (scénario 1b, 2b) ou les collecter auprès des producteurs (scénario 3b).

- **Scénario 2a : Transport assuré par les producteurs jusqu'à l'huilerie**

La production, la récolte (la logistique au champ est assurée par les producteurs), la logistique d'entrée d'usine également est entièrement à la charge des producteurs. La récolte et le séchage des fruits sont effectués au niveau des champs ; le décortiquage est réalisé par les producteurs avec un équipement communautaire (décortiqueuse appartenant à des ONG par exemple).

- **Scénario 2b : Transport assuré par les producteurs jusqu'au point de collecte**

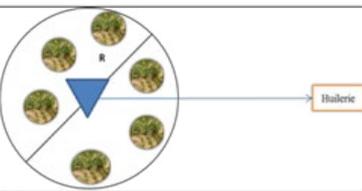
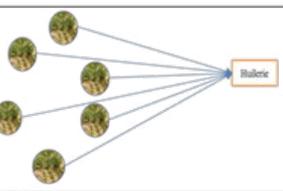
Les producteurs assurent le décortiquage et transportent les graines jusqu'au point de collecte. Les graines collectées sont ensuite transportées ensuite vers l'huilerie avec les camions appartenant à l'huilerie.

- **Scénario 2c : Transport assuré par l'industriel**

Ce scénario est identique au précédent, à la différence que la logistique d'entrée d'usine est assurée par l'industriel qui se charge de collecter les graines chez les producteurs et de les transporter par ses propres moyens.

Le tableau ci-dessous (tableau 2) présente les schémas des scénarios énumérés plus haut.

Tableau 2. Schéma des scénarios retenus pour l'étude

Scénarios	1a	1b
Schémas		
Acteurs	Agro-industriel	Agro-industriel
Scénarios	1c, 2b	2a, 2c
Schémas		
Acteurs	1c : Agro-industriel 2b : Agro-industriel, producteur	2a : Producteur 2c : Agro-industriel

3.1.1 Scénarios d’approvisionnement

Les schémas d’approvisionnement des différents scénarios sont représentés sur les figures 3 et 4. En blanc, sont présentés les activités assurées par les producteurs et en gris celles assurées par les industriels.

Dans le cas du scénario 1a, les fruits sont récoltés, séchés puis stockés au champ, avant d’être transportés vers l’huilerie où ils seront décortiqués et éventuellement séchés et stockés. Dans le cas du scénario 1b, toutes les opérations se déroulent au niveau du rayon de collecte. Dans le cas du scénario 1c, nous avons deux étapes de transport : un transport des champs au point de collecte, puis transport du point de collecte vers l’huilerie. Pour le scénario 2a, les fruits après séchage et stockage au champ sont transportés vers des points de décortication, puis les graines sont séchées et transportées vers l’huilerie. Dans le cas du scénario 2b, les producteurs se chargent de la récolte, du séchage, du décortication et du transport des graines vers les points de collecte ; les graines sont ensuite transportées par les industriels vers l’huilerie. Dans le scénario 2c, après récolte, séchage et décortication par les producteurs, les industriels passent collecter les graines. Le transport assuré par les producteurs est effectué par charrettes à traction âne et le transport assuré par les industriels est réalisé par des camions. Il y a plus d’opérations au niveau du scénario 2 du fait de la diversité des acteurs (producteurs, industriels...).

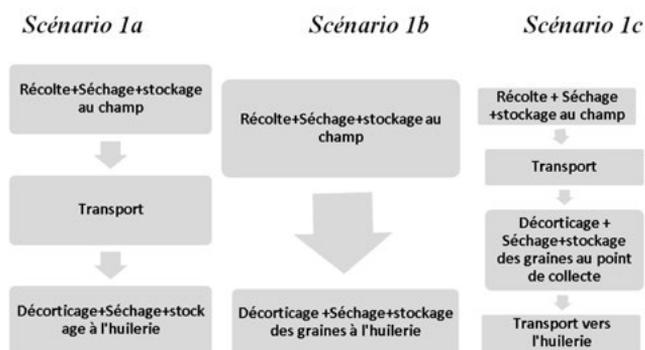


Figure 3. Schémas d’approvisionnement des sous-scénarios du scénario 1 (production agro-industrielle)

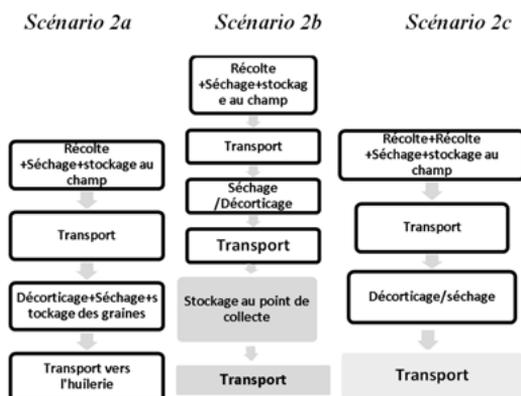


Figure 4. Schémas d’approvisionnement des sous-scénarios du scénario 2 (production tierce)

3.1.2 Hypothèses de transformation

Les huileries peuvent être regroupées en deux catégories selon la capacité de trituration annuelle, sachant que dans les conditions du Burkina Faso les huileries travaillent en moyenne 6 mois dans l'année.

- Les unités de production de moyenne capacité : procédé de pression à froid mais avec des presses de capacité de 500 à 1000 kg/h qui fonctionnent en continu (avec un arrêt le weekend), environ 4000h/an, ce qui permet de transformer entre 2 000 – 4 000 t/an de graines de Jatropha.
- Les unités de production de grande capacité : procédé continu, multi-presse, avec éventuellement un prétraitement thermique, qui nécessite un post-traitement pour raffiner de l'huile (sur place ou dans l'usine de biodiesel). La capacité de l'unité est de 5000 kg/h à 5000 voire 6000 heures/an, ce qui permet de transformer entre 10 000-30 000 t/an de graines de Jatropha.

3.2 Modélisation des coûts logistiques

Un modèle générique prenant en compte l'ensemble des scénarios a été conçu. Ce modèle permet de calculer les coûts logistiques annuels pour les différents scénarios énoncés. Les maillons de la chaîne logistique pris en compte dans le calcul des coûts sont : la récolte, le séchage, le stockage, le décortiquage et le transport. Selon le « Jatropha Handbook » de la FACT Foundation [3], les fruits de Jatropha ont de meilleurs rendements en huile lorsqu'ils sont récoltés à maturité (couleur jaune), nous considérons donc que les fruits sont récoltés à ce stade de maturité. Les fruits récoltés à ce stade de maturité sont encore frais ; une étape de séchage de la pulpe est donc nécessaire avant le décortiquage.

3.2.1 Paramètres du modèle

Le coût logistique (C_{log}) doit tenir compte des coûts allant de la récolte à la livraison des graines à l'huilerie, en passant par les différentes étapes de séchage, de décortiquage et de stockage :

$$C_{log} = C_{rec} + C_{sec} + C_{dec} + CT + C_S$$

Où C_{rec} , C_{sec} , C_{dec} , C_T et C_S sont respectivement les coûts totaux de récolte, séchage, décortiquage, transport et stockage exprimés en FCFA.

Soit δ la capacité de trituration annuelle en graines de l'huilerie, R le rayon de collecte et η le rendement en huile de la trituration des graines sèches. La superficie de l'aire de culture est notée $S = \pi R^2$ et le rendement de cultures en graines sèches noté ηT .

Notons Q_{rec} , $Q1_{sec}$, Q_{dec} et $Q2_{sec}$ respectivement les quantités de fruits récoltés, de fruits frais à sécher, de fruits secs à décortiquer et de graines à sécher après décortiquage, exprimés en fonction de la capacité de l'huilerie δ , comme présenté dans la figure 5.

En Supposant que les fruits soient récoltés avec un taux d'humidité $hsec1$, le taux d'humidité souhaité après séchage des fruits au champ est $hsec1'$. De même, en supposant que le taux d'humidité des graines après décortiquage soit $hsec2$, le taux d'humidité souhaité après séchage des graines est de $hsec2'$. Le séchage à l'air libre des fruits jaunes permet de faire passer le taux d'humidité de $hsec1= 78\%$ à $hsec1'= 8,9\%$ [18]. De même, le séchage des graines après décortiquage permet faire

passer le taux d'humidité des graines de $hsec2 = 8,9 \%$ à $hsec2' = 6\%$. Soit η_{dec} le pourcentage de graines obtenu après décortilage.

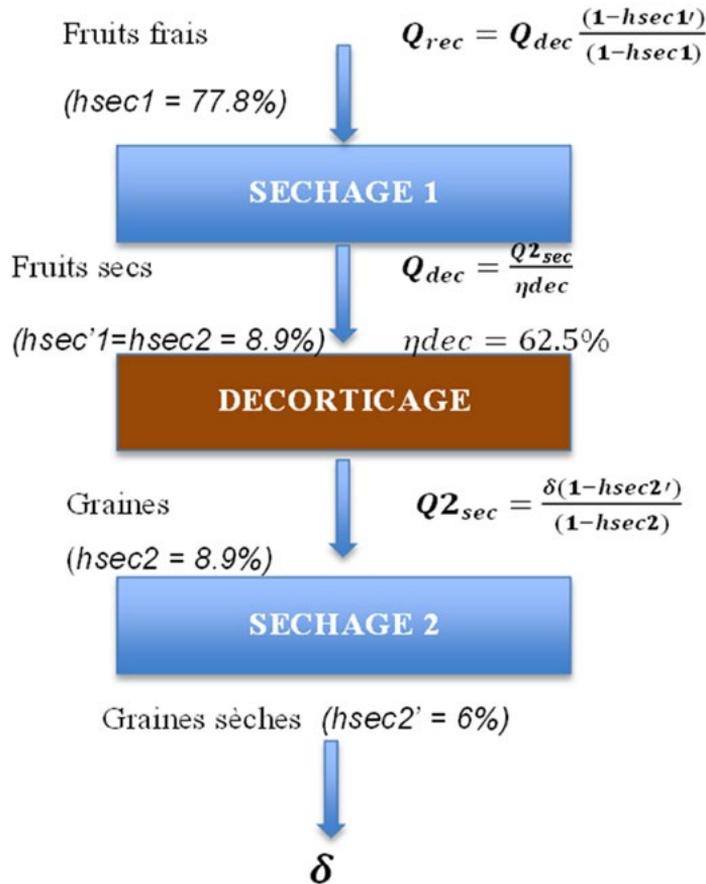


Figure 5. Étapes de calcul des coûts logistiques de filières jatropha

3.2.2 Le coût de récolte

Le coût de récolte peut atteindre 30% des coûts [3] de mobilisation de la ressource. La récolte est réalisée manuellement par des cueilleurs. Son coût correspond donc principalement à la rémunération de la main d'œuvre. La récolte est d'autant plus rapide que la productivité à l'hectare est élevée, du fait d'une plus grande quantité de fruits par arbre. Selon Allard [4], pour un champ de rendement en graine sèches de 1.5 t/ha, la main d'œuvre nécessaire à la récolte est estimée à 83Hj/ha ; nous considérerons ces valeurs pour notre étude. Si cr est le coût de récolte des fruits au kilogramme et Q_{rec} la quantité de fruits récoltés, le coût de récolte est donné C_{rec} par :

$$C_{rec} = cr * Q_{rec}$$

Partant d'une rémunération au SMIC burkinabè, qui est de 170,49 FCFA l'heure pour un ouvrier agricole [17]. Le coût de récolte au kilogramme de graines pour un rendement de 1.5 tonne de graines à l'hectare est de 75.46 FCFA/kg (tableau 4), ce qui correspond à un coût de récolte du fruit de 6.52 fcfa/kg de fruits frais ($cr = 6,52fcfa/kg$).

3.2.3 Le coût de séchage

Le séchage des graines et des fruits se fait à l'air libre. Le coût de séchage correspond au coût de la main d'œuvre nécessaire à cette activité. Le coût de séchage se décompose en un coût de séchage des fruits au niveau des champs C_{sec1} et un coût de séchage des graines après décortilage C_{sec2} .

$$C_{sec} = C_{sec1} + C_{sec2} = Q1_{sec}csec1 + Q2_{sec}csec2$$

$csec1$ est le coût de séchage des fruits au champs en fcfa/kg de fruits frais et $csec2$ sont le coûts unitaire de séchage des graines exprimés en fcfa/kg de graines.

3.2.4 Le coût de décortilage

Le coût de décortilage correspond à la rémunération de la main d'œuvre. Le décortilage manuel demande plus de temps de travail (et donc plus de main d'œuvre), cependant, en tenant compte de l'investissement pour la presse mécanique, des économies d'échelles devraient être réalisables dans le cas de la décortiqueuse mécanique.

$$C_{dec} = cdec * Q_{dec}$$

$cdec$ est le coût unitaire de décortilage (fcfa/kg de fruits secs).

3.2.5 Le coût de stockage

Les producteurs investissent dans l'achat de sacs pour le stockage; cela représente un coût qui est souvent faible, mais nous en tenons compte dans notre calcul. Le coût de stockage se décompose en coût de stockage des fruits au champ C_S1 , coût de stockage au point de collecte C_S2 , coût de stockage des graines C_S3 après décortilage.

$$C_S = C_S1 + C_S2 + C_S3$$

$$C_S = cs1 * Q_{dec} + cs2 * \delta + cs3 * Q2_{sec}$$

Avec $cs1$, $cs2$ et $cs3$ respectivement les coûts unitaire de stockage des fruits au champ, au point de collecte et de stockage des graines après décortilage.

3.2.6 Le coût de transport

Le coût de transport se décompose en coût de transport vers le point de collecte, en coût de transport du champ vers l'huilerie et en coût de transport vers les points de décortilage.

Le point de collecte peut être soit un point de mutualisation c'est-à-dire point de collecte pour plusieurs producteurs, ou dans le cas du scénario mono-opérateur un point de

collecte de graines venant des différentes plantations. Les coûts de manutention (chargement/déchargement) ne sont pas pris en compte bien que ces coûts puissent être importants si le nombre de rupture de charges augmente.

Soit d_i la distance de transport (distance parcourue en *km*) à l'étape i de la chaîne logistique. Le coût total de de transport CT est donné par :

$$CT = \sum_{i=1}^n CT_i$$

Avec $CT_i = Q_i * d_i * ct + c_{fix} * Nv$

Dans notre cas, les coûts correspondant aux étapes de transport sont donnés par :

- *Transport de fruits secs du champ vers l'huilerie*

$$CT_1 = d_1 * Q_{dec} * ct + c_{fix_v} * Nv$$

- *Transport de graines du champ vers l'huilerie*

$$CT_2 = d_2 * \delta * ct + c_{fix_v} * Nv$$

- *Transport de fruits secs des champs au point de collecte*

$$CT_3 = \frac{2}{3} R * Q_{dec} * ct + c_{fix_v} * Nv$$

- *Transport de graines des champs au point de collecte*

$$CT_4 = \frac{2}{3} R * \delta * ct + c_{fix_v} * Nv$$

- *Transport du point de collecte à l'huilerie*

$$CT_5 = d_5 * \delta * ct + c_{fix_v} * Nv$$

- *Transport des champs au point de décorticage/séchage (distance des champs au village où à l'ONG possédant une décortiqueuse)*

$$CT_6 = d_6 * Q_{dec} * ct + c_{fix_v} * Nv$$

Avec ct le coût de transport à la tonne. kilométrique, c_{fix_v} le coût fixe de transport associé au mode de transport v , R le rayon de collecte, Q_i la quantité transportée,

Nv le nombre de moyens de transport de type utilisé (camion, charrette...).

Lorsque le point de collecte de la biomasse ou l'unité de transformation se situe au centre de la zone de production, la distance moyenne entre les champs et le point de collecte (ou l'unité de transformation de la biomasse) est équivalente à $\frac{2}{3}$ du rayon de collecte [11]. Nous appliquerons cette règle pour les scénarios avec points de collecte (scénarios 1c, 2b) ainsi que pour le scénario 1b où l'huilerie est supposée localisée au centre du rayon de collecte.

Notons α l'éloignement moyen de l'huilerie par rapport à la zone de production pour les scénarios à transformation délocalisée ; la distance moyenne séparant la zone de production de l'huilerie est donc $R + \alpha$.

Le transport assuré par les producteurs dans le scénario 2 se fait au moyen de charrettes tractées par des animaux (ânes, bœufs). Le coût de transport en charrette est considéré comme étant un coût fixe estimé à environ 25.500 fcfa/an [6] ; il prend en compte l'amortissement de l'achat de la charrette, le coût de maintenance de la charrette et l'alimentation de l'âne. Ce coût est estimé à 25500 fcfa/an, soit 70 fcfa par jour pour une utilisation pendant 365 jours. Cependant, la charrette n'est pas dédiée uniquement au transport du Jatropha ; en supposant un temps de transport dédié au jatropha de 15 jours par an [5] (soit 4% d'utilisation), le coût fixe de transport de jatropha par charrette est d'environ 3 FCFA.

Ainsi si CTC et $CTC1$ sont les coûts de transport en charrette :

$$CTC = c_{fix_v} * Nv$$

Avec CTC le coût de transport des champs vers les points de décortilage et $CTC1$ le coût de transport vers l'huilerie. Le nombre de moyens de transport est donné par :

$$Nv = \frac{Q_i}{Cap_v}$$

Le rayon de collecte est fonction de la capacité et des rendements de culture, d'où :

$$R = \sqrt{\frac{\delta}{100\pi*\eta T}}$$

Tableau 3. Récapitulatif des coûts logistiques et des distances considérées par scénarios

Scénarios	1a	1b	1c	2a	2b	2c
Coûts	$C_S = C_{S1} + C_{S3}$ $C_T = CT_1$	$C_S = C_{S1} + C_{S3}$ $C_T = CT_1$	$C_S = C_{S1} + C_{S2}$ $C_T = CT_3 + CT_5$	$C_S = C_{S1} + C_{S2}$ $C_T = CTC1 + CTC$	$C_S = C_{S1} + C_{S2}$ $+ C_{S3}$ $C_T = CTC1 + CTC + CT_5$	$C_S = C_{S1} + C_{S3}$ $C_T = CTC + CT_5$
Distances	$d_1 = R + \alpha$	$d_1 = \frac{2}{3} * R$	$d_3 = \frac{2}{3} * R$ et $d_5 = R + \alpha$		$d_5 = R + \alpha$	$d_5 = R + \alpha$

Le tableau 3 ci-dessus présente les particularités de chaque sous-scénario en termes de coûts. Pour l'ensemble des scénarios, les différences importantes de coûts se situent au niveau du stockage et du transport. Ainsi, pour le scénario 1a par exemple, sont considérés les coûts de stockage au champ C_{S1} , le coût de stockage à l'huilerie C_{S3} et un coût de transport direct des champs à l'huilerie sur une distance $R + \alpha$ ou R correspond au transport sur une distance égale au rayon de collecte et α la distance qui sépare la plantation à l'huilerie. Pour le scénario 1c par contre, il y a un transport des plantations morcelées au point de collecte sur une distance $d_3 = \frac{2}{3} * R$ et un transport vers l'huilerie sur une distance $R + \alpha$.

IV Implémentation et Résultats

L'absence de filières mûres de *Jatropha* au niveau national et l'indisponibilité de données sur les projets en cours nous amènent à faire des hypothèses sur les distances de transport considérées et les différents paramètres présentés dans le modèle.

4.1 Hypothèses et données

La zone géographique considérée pour l'étude se situe dans le sud du Burkina Faso, isohyète 900-1100 mm. Concernant la zone d'étude, les rendements en graines sèches les plus couramment avancés par les entrepreneurs agro-industriels sont compris entre 1.2 et 1.5 t/ha ; un rendement de 1.5t de graines/ha/an est considéré. La figure 6 extraite des travaux de Duba [12], présente la répartition géographique des terres disponibles pour la culture de *Jatropha* (en vert) au Burkina Faso. Cette figure montre la zone de localisation potentielle de l'huilerie étudiée et la localisation potentielle des champs de *Jatropha* alimentant cette huilerie.

Ainsi, en prenant comme hypothèse principale une huilerie industrielle située dans la zone de Banfora, la distance séparant l'ensemble des champs de l'huilerie peut atteindre 150 voire 200 km (Gaoua-Banfora 200 km par exemple) en moyenne.



Figure 6. Zone d'étude considérées avec en vert les terres disponibles à la culture de jatropha

Les tableaux 4 et 5 présentent les valeurs des paramètres de notre modèle pour un rendement en graine de 1.5t/ha. En effet, partant de données sur la littérature et d'études réalisées, nous avons affectés des valeurs aux paramètres de notre modèle. En considérant une rémunération horaire au smic Burkinabè de 170.49 FCFA pour les ouvriers agricoles, soit 1363,91 FCFA/jour [17] et suivant les résultats de l'étude B. Allard sur Teriya Bugu [5], nous obtenons les coûts de récolte, de séchage, de stockage et de décortiquage du jatropha (tableau 4).

Tableau 4. Données de récolte, séchage, stockage et décortiquage du Jatropha

Activité (rendement 1.5t graines/ha)	Nb jours de travail (Hj)	Coût horaire	Coût (FCFA/ha)	Coût (fcfa/kg graines)	
Récolte	83	170,49	113 204,5	75.47	
Décortiquage	Mécanique	45	170,49	31 376	40.9
	Manuel	90	170,49	122752	81.8
Séchage	1,5	170,49	2045.9	1.36	
Stockage (coût des sacs)			2083	1.4	
Total				DM	119.1
				DMA	160

DM=décortiquage mécanique et DMA= décortiquage manuel.

Tableau 5. Données sur les paramètres du modèle

	Unités	Valeurs	Référence
Rendements			
• Culture			
- Graines	t/ha	1.5	
• Séchage des fruits	%	77.8 à 8.9	[18]
• Séchage des graines	%	8.9 à 6	[18]
• Décorticage			
- Manuel	%	62.5-65	[8]
- Mécanique	%	62.5-65	[8]
• Pressage	%	27	[13]
Capacité en graine de l'huilerie			
• Moyenne unités	t/an	2 000-4 000	
• Grande unités	t/an	10 000-30 000	
Distances du point de collecte	km	$2/3R$	[1]
Distance de l'unité	km	$R + \alpha / \alpha \in [20 - 200]$	
Distance de tournées de collecte	km	$2\pi R$	
Coût variable de transport			
• Camion	Fcfa/t.km	50	[14]
• Charrette	Fcfa/t.km	-	
Coût fixe de transport			
• Camion	Fcfa/km	18.73	[6]
• Charrette	Fcfa/voyage	3	
Capacité moyens de transport			
• Camion	t	10	[15]
• Charrette	t	0,4	[15]

V Résultats et discussions

La figure 7 présente les rayons de collecte obtenus pour divers rendements de culture. Pour un rendement en graines à l'hectare donné, l'accroissement de la capacité de l'huilerie entraîne une augmentation du rayon de collecte. Il en résulte une augmentation des distances de transport et donc des coûts logistiques. A l'inverse, l'augmentation du rendement de culture, entraîne une diminution du rayon de collecte; en effet, si le rendement en graines à l'hectare est élevé, la quantité de graines disponible sur une superficie réduite permet de satisfaire la demande de l'huilerie.

Pour un rendement à l'hectare de 1.5 t/ha, le rayon de collecte minimum est de l'ordre de 2.06 km en considérant une unité de production moyenne de 2 000 t de graines/an (figure 7). Pour une capacité de 30 000 t/an, le rayon d'approvisionnement est d'environ 8 km, le rayon de collecte est donc multiplié par 4 lorsque la capacité de l'huilerie est multipliée par 15.

Pour une grosse unité de transformation [10 000-30 000] t/an et un rendement d'1.5t/ha, la superficie nécessaire varie de 6 700 à 20 106 ha ; cependant, une zone géographique adaptées et d'un seul tenant peut être difficile à trouver en Afrique de l'Ouest [12].

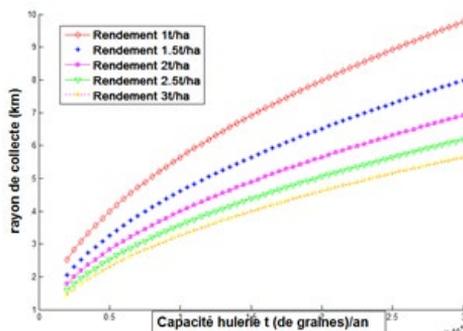


Figure 7. Évolution du rayon de collecte en fonction de la capacité de l'huilerie

4.2.1 Scénario 1

La figure 8 présente le coût logistique total pour les trois sous-scénarios découlant du scénario 1. Logiquement, ce coût augmente avec la capacité de l'huilerie.

À capacité égale, les coûts logistiques associés au sous-scénario 1a (courbe bleue) sont plus élevés que ceux des autres sous-scénarios : ces coûts varient entre 267-535 M de FCFA pour des unités moyennes et 1339-4026 M de FCFA pour de grosses unités. Cela s'explique par la transformation délocalisée (scénario 1a) qui entraîne une distance de transport importante (150 km de plus que le scénario 2a par exemple). De plus, pour ce scénario les fruits secs sont transportés de la plantation à l'huilerie ; ce qui conduit au transport d'une charge plus importante que lorsque les graines sont décortiquées à la plantation et transportées vers l'unité ; c'est plus de camions à utiliser sur une longue distance. Le scénario correspondant à la transformation locale des graines en huile (sous scénario 1b en vert) est le plus économique, il n'y a pas de transport supplémentaire.

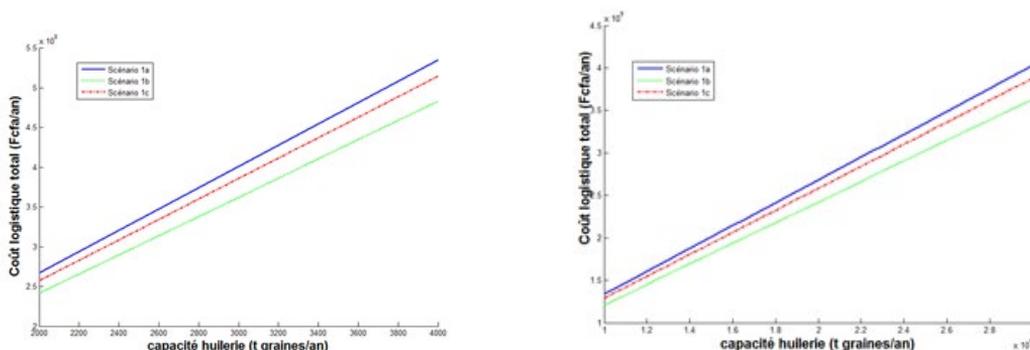


Figure 8. Scénario 1 : A gauche coût logistique total pour une unité de moyenne capacité (200-4000 t de graines/an) et à droite les résultats pour une unité de grande capacité (10 000-30 000 t/an)

Pour le sous scénario 1a, si les fruits sont décortiqués au niveau de la plantation et que les graines sont ensuite transportées vers l'huilerie, le coût logistique total est présenté dans la figure 9. Une réduction des coûts logistiques de 5% en moyenne et une réduction du nombre de camions de 40% est constatée. Le transport de graines plutôt que les fruits permet ainsi d'optimiser les chargements et de réduire le nombre de camions ; le nombre de camions pour une huilerie de 2000 t/an passe alors de 331 à 131 camions. Les coûts logistiques au kilo de graines varient de 133.6 à 128.4 FCFA/kg de graines. Cependant, lorsque les fruits ne sont pas décortiqués au champ, les coques sont valorisées au niveau de l'unité pour produire de l'énergie, ce qui apporte un gain non négligeable en termes de dépense énergétique.

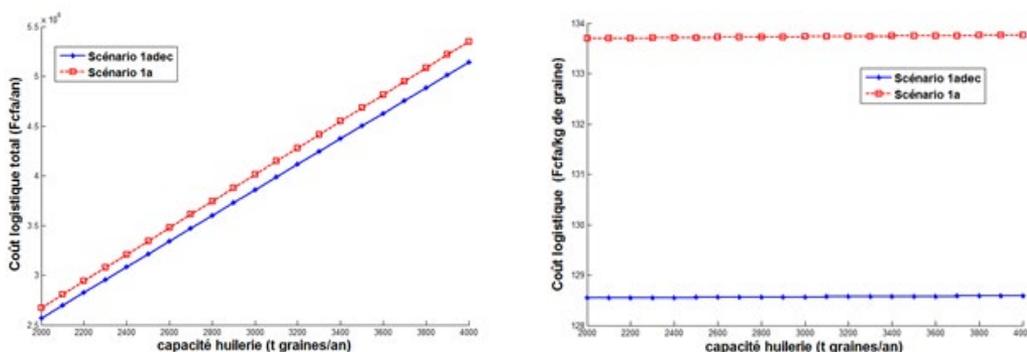


Figure 9. Comparaison du coût logistique total scénario 1a avec décortiquage au champ (Scénario 1adec) et décortiquage à l'unité (Scénario 1a)

4.2.2 Scénario 2

Pour le scénario 2 (figure 10), le sous-scénario ayant le coût logistique total le plus faible est le sous scénario 2a pour lequel les graines sont transportées par les producteurs jusqu'à l'huilerie. La logistique d'entrée usine est à la charge du producteur ; le transport assuré par les producteurs se fait par charrette ; d'où un coût de transport faible. En effet, les coûts de transport en charrettes sont des coûts fixes ne dépendant pas des distances de transport. Les coûts de transport annuel en charrette pour une capacité de 2000 t/an sont de 15 000 FCFA contre 15. 8 M de FCFA pour l'utilisation du camion.

Cependant, le rayon de collecte pour une unité de transformation de grande capacité (10 000- 30 000 t/an) est très grand et les distances de transport entre les villages et les unités de triturations sont souvent importantes (dans notre cas 150 km). Ces distances sont difficilement réalisables en charrettes ; en effet, selon plusieurs études concordantes, la distance optimale de transport en charrette est de 20 km maximum [6], et de 15 km selon [15].

Ainsi pour un rendement de 1.5t/ha, au-delà d'une capacité de 2000 t/an, si l'huilerie est décentralisée (plus de 20 km), le transport direct par charrettes n'est plus faisable. Il faudrait donc soit créer des bassins de collecte ayant chacun un rayon de 20 km maximum ou plutôt privilégier le sous scénario 2c (les industriels s'occupent de collecter et transporter les graines). Cependant, les coûts logistiques correspondant à ce scénario sont les plus élevés.

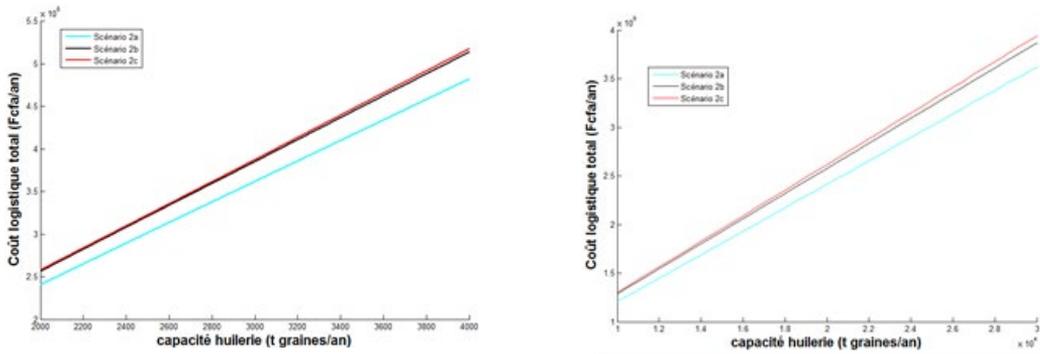


Figure 10. Scénario 2 : A gauche coût logistique total pour une unité de moyenne capacité (2000-4000 t/an) et à droite les résultats pour une unité de grande capacité (10 000-30 000 t/an)

4.2.3 Comparaison des scénarios

La figure 11 présente les résultats comparés des six sous scénarios étudiés. Il apparaît clairement que le scénario 2 est plus économique que le scénario 1. Cela s'explique par le fait qu'une part importante des activités logistiques est à la charge du producteur. Le transport est également réalisé par des moyens non-motorisés (charrettes).

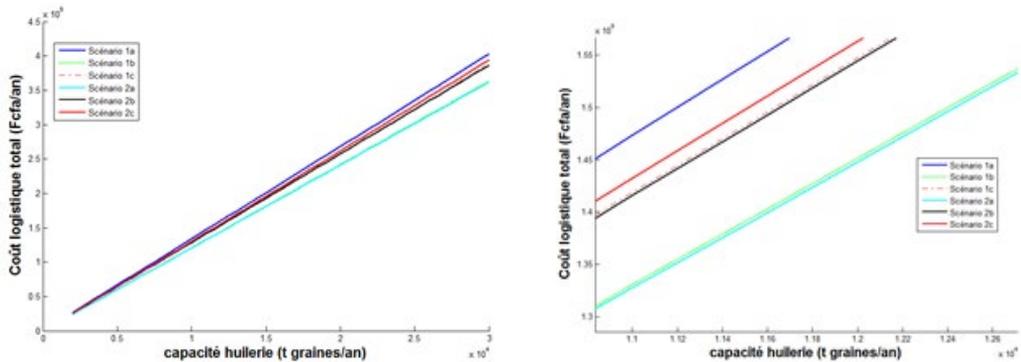


Figure 11. Courbes comparatives de coût logistique total pour une unité de moyenne capacité (2000-4000 t/an) et à droite les résultats pour une unité de grande capacité (10 000-40 000 t/an)

Cependant pour de très faibles capacités (< 2100 t/an) le scénario 1b (plantation continue avec transformation locale) présente un coût logistique sensiblement égal à celui du scénario 2a. Le scénario 1b deviendrait plus économique si le rendement à l'hectare de la plantation augmentait.

4.2.4 Discussion des résultats

Le coût logistique du kilo de graines pour les différents scénarios est présenté dans les figures 12 et 13. L'achat de graines à des producteurs qui s'occuperaient de les livrer revient beaucoup moins cher (120.7 FCFA/kg de graines en moyenne) que le scénario qui consiste à collecter les graines chez les producteurs (130.5 FCFA/kg de graines en moyenne) ou de produire ses propres graines (jusqu'à 134 FCFA/kg de graines en moyenne). Cependant pour que ce scénario soit réalisable, il faudrait que les producteurs soient situés dans de 20 km autour de l'huilerie, ce qui n'est pas toujours le cas. Il faut donc créer plusieurs bassins de collecte avec un point de collecte central pour chacun d'entre eux. Les industriels pourraient alors se charger de collecter les graines au niveau de ces points de collecte et de les transporter vers l'huilerie (scénario 2b) ; ce scénario est le plus rentable économiquement après le scénario 2a. Les scénarios intermédiaires avec création de points de collectes représentent donc le meilleur compromis pour les 2 scénarios.

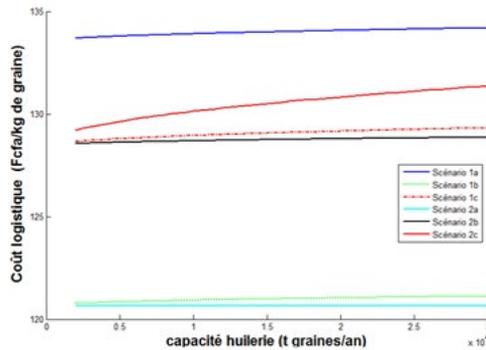


Figure 12. Courbes comparatives des coûts logistiques en FCFA/Kg de graines pour les différents scénarios

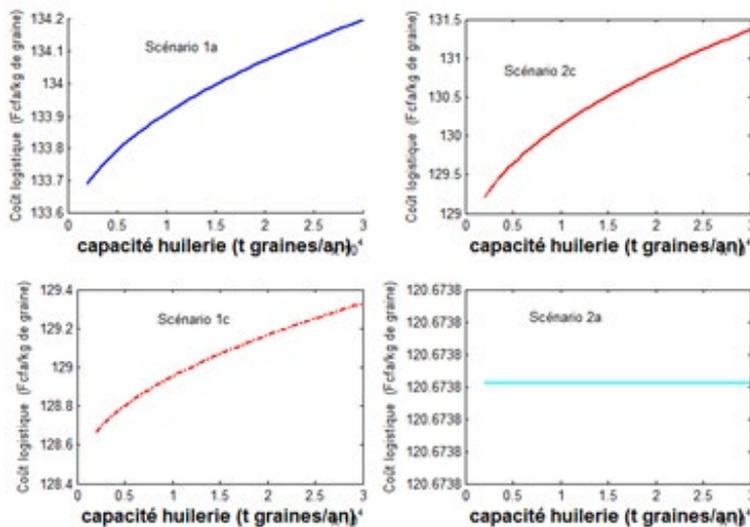


Figure 13. Courbes présentant l'évolution des coûts logistiques en FCFA/kg de graines pour 4 scénarios

VI Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons présenté un modèle mathématique permettant d'évaluer les performances économiques de chaînes logistiques d'approvisionnement d'unités de trituration de graines de *Jatropha curcas*. Plusieurs scénarios d'approvisionnement d'une huilerie en fonction des acteurs impliqués ont été présentés.

Les résultats préliminaires montrent que pour un rendement moyen d'1.5t/ha de graines, pour des huileries de moyenne et grande capacité, les meilleures alternatives demeurent les filières courtes. Dans notre cas, ces filières courtes correspondent à une plantation continue avec transformation locale et une huilerie localisée au centre du rayon de collecte d'une part (scénario 1a), et d'autre part à un scénario où les graines seraient livrées par les producteurs (scénario 2a). Les coûts logistiques pour ces filières sont faibles ; de l'ordre de 120.7 fcfa/kg de graines et 121 fcfa/kg de graines, contrairement aux autres scénarios pour lesquels les coûts logistiques varient entre 129 et 134 fcfa/kg de graines. Cependant les coûts logistiques de cette filière pourraient être réduits que si le rendement en graine des champs augmente.

Pour un scénario où les huileries achètent les graines chez des producteurs, les coûts logistiques sont faibles lorsque le transport est assuré par les producteurs eux-mêmes ou lorsque des points de collecte sont créés. Ce type d'organisation n'est réalisable que si le rayon de collecte n'excède pas 20 km.

Nos futures recherches porteront sur l'enrichissement du modèle en intégrant la prise en compte des coûts de transformation et d'achat afin d'évaluer coût de revient de l'huile végétale à base de *Jatropha* pour les différents scénarios. Nous envisageons également d'analyser l'influence de la zone géographique sur le rayon d'approvisionnement et les coûts logistiques. Nous évalueront également l'impact de diverses localisations d'unités de trituration. Par la suite une analyse de l'impact environnemental et social des filières étudiées sera réalisée.

Bibliographie

1. Kang-Qi Fan, Peng-Fei Zhang, Z.J. Pei, An assessment model for collecting and transporting cellulosic biomass, *Renewable Energy* 50 (2013) pp. 786-794.
2. Beamon M. Designing the Green Supply Chain, *Logistics Information Management* (1999) Vol. 12, No. 4, pp. 332-342
3. FACT., 2010. The *Jatropha* handbook. From cultivation to application. Eindhoven, The Netherlands: FACT Foundation.
4. Pallière G, Fauveaud S, Enjeux *Jatropha* paysans maliens. GERES, 2009
5. Allard B., Évaluation de la rentabilité économique de la filière *Jatropha* dans la région de Teriya Bugu (Mali), Mémoire de fin d'étude.

6. Sirpé G., Les services de transports ruraux au Burkina Faso: le cas de la région de la boucle du Mouhoun, Octobre 2007.
7. International energy agency, Bioenergy Project Development & Biomass Supply: GOOD PRACTICE GUIDELINES, OECD/IEA, 2007.
8. <http://www.jatrofuels.com/174-0-Energetic+Value+of+Jatropha.html>
9. Vin Lava, Towards Making *Jatropha* "Tubang Bakod" a Viable Source of Biodiesel in the Philippines, 2007.
10. Da Silva, dos Santos Dias D.C.F, Milagres C., dos Santos Dias L.A., Relationship between fruit maturation stage and physiological quality of physic nut (*Jatropha curcas* L.) seeds, v. 36, n. 1, p. 39-44, jan./fev., 2012.
11. Morey RV, Kaliyan N, Tiffany DG, Schmidt DR. A corn stover supply logistics system. *Appl Eng Agric* 2010;26:pp.455-61.
12. Gaëlle DUBA, Mémoire de Stage Master 2, Modélisation spatiale du potentiel de production de *Jatropha Curcas* L. au Mali, Burkina Faso et Bénin, 2013.
13. Achten WMJ, Verchot L, Franken YJ, Mathijs E, Singh VP, Aerts R, et al. *Jatropha* bio-diesel production and use. *Biomass and Bioenergy*, 2008.
14. Rizet C., Gwét H., Une comparaison internationale des prix du comionnage : Afrique, Asie du sud-est, Amérique centrale, Recherche transport et sécurité n°60, juillet-septembre 1998.
15. Paul Starkey, Solutions pour le transport local Acteurs, exemples et contre exemples : Enseignements tirés du développement des moyens intermédiaires de transport, Document de travail SSATP No. 56F, Mai 2011.
16. Mahmood Ebadian, Taraneh Sowlati, Shahab Sokhansanj, Mark Stumborg, Lawrence Townley-Smith, A new simulation model for multi-agricultural biomass logistics system in bioenergy production, *biosystems engineering* 110 (2011) 280-290.
17. Décret N°2007-...../PRES/PM/MTSS/MFB fixant les salaires minima interprofessionnels garantis (SMIG) <http://www.burkinapmepmi.com/spip.php?article736>
18. V. Nallathambi Gunaseelan, Biomass estimates, characteristics, biochemical methane potential, kinetics and energy flow from *Jatropha curcus* on dry lands, *biomass and bioenergy* 33 (2009) 589–596.

DES BIOCARBURANTS AU DEVELOPPEMENT RURAL : LES CONDITIONS DE DEVELOPPEMENT DES FILIERES JATROPHA EN AFRIQUE DE L'OUEST

F. GIRAUDY

Éco-Carbone
15 avenue de Ségur
75008, Paris

Contact e-mail : f.giraudy@eco-carbone.com

Mots clés : jatropha, filières agricoles, agriculture familiale, biocarburants, Afrique subsaharienne

I Introduction : *Au départ était la crise pétrolière...*

Au départ était la crise pétrolière, la fin du tout-pétrole...

Tout le monde se mit alors à chercher des alternatives. Aucune n'était simple, aucune n'était évidente à développer et il apparut très vite qu'aucune ne remplacerait à elle seule les énergies fossiles.

Et puis, le solaire, l'éolien et les autres renouvelables avaient le gros inconvénient qu'ils ne pouvaient être utilisés dans les moteurs actuels.

C'est alors que les biocarburants refirent surface, qu'il fut rappelé qu'entre autres M. Diesel avait conçu son moteur pour qu'il marchât à l'huile végétale. De son côté, le Brésil avait pris de l'avance avec sa production d'éthanol à partir de canne à sucre.

Tout le monde eut alors une vision simpliste : si tout le pétrole ne pouvait être remplacé par des biocarburants, une grande partie pouvait l'être. De plus les pays tropicaux, Afrique en tête ne regorgeaient-ils pas de terres « vierges » ou inutilisées ?

Comme dans toute bonne idée, ses premiers défenseurs en firent beaucoup trop et manquèrent singulièrement de modestie.

Il apparut rapidement que nombreux parmi les modèles proposés posaient des problèmes éthiques réels et sérieux d'une part et qu'ils avaient été construits de façon un peu légère de l'autre. La réalité agronomique n'est pas celle de la finance, ni même de l'industrie manufacturière...

Une plante en particulier fit l'objet d'une ruée aussi irréaliste que dangereuse et des millions furent investis en pure perte. À l'idée que le jatropha était le palmier à huile des zones sèches, des milliers d'ha furent achetés ou loués pour faire pousser une plante

sur laquelle la recherche agronomique s'était à peine penchée. Des semences issues de graines de cueillette, pas de maîtrise de l'agronomie de la plante, aucune possibilité pour l'heure de mécanisation, ces projets étaient voués à l'échec. L'agronomie est la science de l'humilité et de la patience...

Pourtant de mirifiques plans d'affaires furent élaborés, (profitant aussi des injonctions de l'Union européenne) transformant virtuellement les pays sahéliens ou Madagascar en exportateurs d'énergie. C'était facile, il suffisait de planter des milliers d'ha de jatropha et cette plante rustique, résistante à la sécheresse allait produire plus de 5 tonnes de graines à l'hectare. Certains se sont vantés de faire des milliers d'ha sur « les savanes stériles » de Madagascar, d'autres présenter des contrats d'exportation de plusieurs milliers de tonnes d'huile par mois avant même d'avoir planté le premier arbre.

Les détracteurs des biocarburants en firent un exemple mélangeant notamment l'espèce plantée et le mode de production, le jatropha et l'accaparement des terres (qui fut finalement assez modeste du fait des nombreux échecs), sans se poser la question du comment, ni même celle de savoir si l'agriculture doit être uniquement tournée vers l'alimentation ou non (et le coton, le lin, l'hévéa ?).

La grande ruée vers le jatropha semble maintenant bel et bien terminée et beaucoup de gens considèrent la plante comme un échec, généralement aussi important que les espoirs qu'ils y avaient placé.

Un peu de discernement et de nuance sont maintenant nécessaires. Certes les grandes plantations dans le contexte africain ne sont pas forcément la bonne approche. Et la culture du jatropha n'est pas encore assez maîtrisée pour ce mode de valorisation. Par ailleurs, produire du biodiesel pour l'exportation n'est pas non plus forcément une priorité pour les pays africains.

Le jatropha (qui était il n'y a pas si longtemps vulgarisé dans le cadre de projets de gestion de terroirs ou de lutte antiérosive) peut avoir d'autres rôles. Il peut aider à stabiliser les sols africains, à amener un revenu complémentaire aux paysans. Et il peut jouer un rôle important dans l'économie locale, qui sera reconnu lorsqu'il ne sera plus considéré comme une panacée ou une solution miracle d'une part et que son rôle ne se limite pas à être un substitut du diesel de l'autre.

Ce document examine les marchés des produits du jatropha et les conditions de durabilité de telles filières dans un cadre d'agriculture contractuelle.

II Biocarburant ou plante à usages multiples ?

La plupart des projets jatropha ont été initiés à partir de la composante biocarburant, mais l'expérience prouve que la rentabilité ne peut être atteinte que grâce à des marchés diversifiés.

2.1 Quels types de marché et d'utilisation pour l'huile ?

2.1.1 Le biodiesel, rêvé, mais difficilement rentable

L'objectif de la plupart des grands projets initiés pendant le « boum » du jatropha était de produire du biodiesel à partir de l'huile de jatropha.

Le biodiesel a l'avantage de pouvoir être consommé dans la plupart des moteurs diesel avec pas ou peu de modifications. D'autre part il se conserve mieux et le marché international est plus clair.

En revanche Jean-Paul Laude [1], puis d'autres ont montré que, dans les conditions Ouest-Africaines, la rentabilité est plus difficile à atteindre, notamment du fait des surcoûts et des produits nécessaires à l'estérification de l'huile. Cela est évidemment encore plus difficile pour des projets qui n'ont pas encore atteint une production de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de graines.

2.1.2 L'huile brute comme carburant, prometteur, mais demande quelques précautions

La deuxième approche consiste à utiliser l'huile directement sans transformation dans les moteurs diesel. Mais là encore, les choses ne sont pas si simples. C'est possible, mais dans certaines conditions uniquement (moteur fixes, avec un niveau de charge constant et relativement élevé) et pour des qualités d'huiles déterminées. Compte-tenu du nombre important de moteurs fixes existant en Afrique, c'est un marché qui ne manquera pas de se développer, mais qui n'est pas encore forcément très mur.

Le travail de nombreux opérateurs, de centres de recherches et d'écoles (notamment 2IE et Cirad) permet cependant d'avancer à grand pas vers une meilleure compréhension des conditions d'utilisation de l'huile et la rend plus facile.

Néanmoins, il sera difficile de n'avoir que des huiles aux normes requises et une partie de la production ne pourra être utilisée telle quelle.

2.1.3 L'huile de jatropha comme combustible en remplacement du fuel lourd

Dans certains cas, comme en dans la filiale d'Éco-Carbone en Tanzanie, l'huile de jatropha est utilisée pour remplacer le fuel lourd dans des brûleurs pour chauffer et stériliser des serres. D'autres utilisations en combustible sont envisageables très facilement, la viscosité et la propreté de l'huile de jatropha étant bien meilleures que celles du fuel lourd.

La limite de cette approche est que les prix du fuel lourd, beaucoup plus bas que ceux du diesel obligent souvent à vendre l'huile de jatropha en-dessous du seuil de rentabilité.

Pourtant, pour certains industriels situés dans des lieux enclavés la différence de prix n'est plus si élevée d'une part et d'autre part la diminution de l'encrassage des brûleurs en utilisant de l'huile leur permettent de compenser le surcoût de l'huile par rapport au fuel lourd.

2.1.4 Le savon un débouché important

Les qualités saponifères de l'huile de jatropha sont connues depuis longtemps, elle entraine d'ailleurs dans la composition des premiers savons de Marseille. En brousse, les femmes fabriquent traditionnellement au Mali du savon à partir des graines, un travail assez long.

L'utilisation de l'huile et des déchets de presse pour faire du savon « traditionnel » se développe très rapidement autour de JMI au Mali. Cela présente de nombreux avantages :

- Cela crée une activité et des revenus autour de la filière, notamment pour les femmes ;
- Cela encourage les gens à vendre les graines plutôt que de les utiliser pour du savon. En effet, le savon fait avec l'huile demande beaucoup moins de travail aux femmes et est de meilleure qualité.

Le savon présente aussi un autre intérêt qui est de tolérer les huiles dont l'acidité ou d'autres caractéristiques les rendent impropre à la consommation dans les moteurs.

À l'avenir il est donc très probable que ce marché va croître en parallèle avec celui de l'utilisation de l'huile comme énergie et ce d'autant plus que les fabricants de savon industriel trouvent que l'équilibre des acides gras dans l'huile de jatropha est meilleur que celui de l'huile de palme et pourraient être intéressés à en acheter de grandes quantités [2]

2.1.5 L'huile de jatropha comme composant de pesticides biologiques

Les propriétés insecticides de l'huile de jatropha ont déjà fait l'objet de publications scientifiques [3]. À l'avenir cela pourrait représenter un marché important.

2.2 Le tourteau, un véritable co-produit

Même si le prix au kg est moins élevé que celui de l'huile, le tourteau représentant entre $\frac{3}{4}$ et $\frac{1}{3}$ la masse des graines¹, sa part dans le chiffre d'affaires est très importante. Il peut avoir les utilisations suivantes :

¹ Après extraction et selon la qualité des presses

2.2.1 Un très bon engrais organique

Une fois granulé, le tourteau peut être utilisé comme un très bon engrais organique. Non seulement par son contenu en éléments minéraux (NPK :4-2-2²), mais aussi par son apport en matière organique, très déficitaire sur la majorité des sols en Afrique de l'Ouest, par l'amélioration de la rétention d'eau dans le sol et sans doute aussi par ses propriétés répulsives.

À travers cette utilisation il participe à l'amélioration de la durabilité des systèmes de production.

2.2.2 Un combustible sous forme de briquettes

En Afrique de l'Est, où la promotion des foyers améliorés et des alternatives au bois de feu semble plus avancée qu'en Afrique de l'Ouest, l'utilisation du tourteau comme combustible sous forme de briquettes se développe très bien (même s'il faut parfois mélanger un peu le tourteau avec d'autres produits pour éviter des dégagements importants de fumée).

À travers cette utilisation, il participe à la lutte contre la déforestation

2.2.3 Vers une détoxification du tourteau pour utilisation en alimentation animale ?

L'alimentation animale est un enjeu important dans tous les pays africains qui va devenir de plus en plus crucial à l'avenir ne serait-ce qu'avec l'augmentation de la population et du niveau de vie. Un tourteau de jatropha comestible pour les animaux pourrait permettre de répondre à ce besoin, tout en étant mieux valorisé qu'en engrais ou en combustible.

De nombreuses entreprises ou université travaillent sur ce problème avec deux approches, soit en cherchant à avoir des variétés non toxiques, soit en détoxifiant le tourteau lui-même [4] & [5]. Certaines disent avoir des solutions, mais quoiqu'il en soit la mise en œuvre de ces processus au niveau industriel n'est pas encore envisageable et ne pourra de toutes les façons se faire qu'avec un niveau de production de plusieurs dizaines de milliers de tonnes.

2.2.4 D'autres utilisations possibles ?

Il existe, à notre connaissance, à l'heure actuelle, peu d'autres utilisations possibles. Certains opérateurs auraient tenté de produire du biogaz avec. Les recherches en cours menées par l'industrie au niveau mondial pour diversifier ses sources d'approvisionnement et en rechercher de plus durables pourraient faire apparaître d'autres opportunités à l'avenir.

2 Analyses commandées par Éco-Carbone à partir de tourteau malien

III Un chiffre d'affaire construit autour de multiples marchés

Sur la campagne 2012/13 JMI a vendu 88% de l'huile produite pour du savon et seulement 12% pour les moteurs.

Le marché pour l'huile moteur existe, mais le marché du savon est pour le moment tellement demandeur que les femmes et autres utilisateurs de savon sont même prêts à faire des commandes à l'avance. Compte-tenu aussi de son importance dans le développement local, nous avons choisi de le favoriser.

Par ailleurs, s'est développé en même temps un marché important des déchets de presse, qui donnent un savon moins blanc, mais au prix de revient inférieur.

Avec les chiffres de 2012, le chiffre d'affaire de JMI, pour une tonne de graines, se décompose de la façon suivante :

Tableau 1 : Répartition du chiffre d'affaires pour une tonne de graines de jatropha

	<i>Rendements</i>	<i>Quantités (kg)</i>	<i>Prix de vente (FCFA / ht)</i>	<i>Valeur (FCFA)</i>	<i>% du chiffre d'affaires</i>
Huile	25%	250		104 924	59%
dont savon	88%	220	380	91 068	51%
dont carburant	12%	30	424	13 856	8%
Tourteau	68%	680	100	68 000	38%
Déchets	7%	70	85	5 950	3%
Total		1 000		178 874	100%

NB : les prix de vente sont en kg pour le tourteau et les déchets, mais en L pour l'huile. Il est tenu compte de la densité de l'huile dans le calcul du chiffre d'affaires.

En conclusion, il apparaît que :

- L'huile ne représente que les 3/5 du chiffres d'affaires ;
- Et que sur ces 3/5 la part utilisée pour l'énergie est encore très faible (même si elle va forcément augmenter à l'avenir).
- L'importance d'une bonne valorisation du tourteau est confirmée.

Il est donc difficile de parler uniquement de projet « biocarburant ».

IV. Comment alimenter ces marchés et approvisionner une unité industrielle ?

De l'agri-business à la contractualisation avec des paysans en agriculture familiale, il existe plusieurs façons de concevoir l'activité agro-industrielle. Cette partie examine différentes possibilités et leur faisabilité dans le contexte Ouest Africain et celui du jatropha.

4.1 Planter des arbres directement : le modèle hévéa ou palmier à huile

Dans ce modèle, l'industriel gère lui-même son approvisionnement en plantant des centaines, voir des milliers d'ha. L'avantage est de pouvoir théoriquement maîtriser l'ensemble du système de production, de ne pas dépendre de l'extérieur. Il demande plus d'investissement matériel, ce qui est un risque mais aussi un avantage face aux financiers, qui préfèrent avoir des actifs en face de ce qu'ils prêtent.

Ce système permet de travailler de façon plus intensive sur la productivité, mais avec les risques inhérents d'avoir des grandes superficies d'un seul tenant, alors plus facilement attaquées par d'éventuels parasites ou maladies.

Dans certains contextes, ces grandes plantations peuvent poser de sérieux problèmes éthiques d'accaparement des terres ou de sécurité alimentaire. Un exposé du Cirad au séminaire 2IE de 2011 montrait d'ailleurs qu'il n'y avait pas tant de terres libres que ça au Mali, du moins non utilisées... [6]

Enfin, l'impact sur le développement interne du pays de tels modèles est limité aux produits et aux quelques employés de la compagnie. Il n'a généralement que très peu d'impact sur l'agriculture familiale (voir un impact négatif).

En ce qui concerne le jatropha, la plante n'est pas encore assez « mûre » pour être cultivée dans de telles conditions : croissance indéfinie³, très peu de mécanisation possible, variétés et ports plus adaptés à une agriculture paysanne.

4.2 Acheter une production produite par des paysans locaux, le modèle cacao

Le modèle cacao, est d'acheter la production de milliers d'agriculteurs locaux. L'avantage est de limiter les investissements lourds en matériel, de répartir les risques entre des milliers de producteurs (et donc de les diminuer significativement).

L'impact sur le développement local est beaucoup plus important, l'argent étant réparti entre des milliers de familles et probablement plus durable car si un producteur arrête, les autres peuvent continuer.

Les inconvénients de ce système sont une logistique plus complexe à mettre en œuvre et le risque d'abandon de la culture par les paysans (ou de vente à la concurrence).

³ c'est-à-dire que les fruits ne mûrissent pas tous au même moment

Un banquier pourtant aura plus de mal à prêter de l'argent pour démarrer une telle activité car il y a moins d'actifs « lourds » en face, mais de la formation, de la recherche, du relationnel...

Pour garantir l'activité, il convient de rémunérer convenablement les producteurs et de leur proposer des techniques ou approches compatibles avec les systèmes de production qu'ils mettent en œuvre.

Dans le cas du jatropha, en l'état actuel des connaissances, ce modèle, malgré ses limites apparaît comme beaucoup mieux adapté à un développement durable de la production, sans parler de son impact beaucoup plus positif sur le développement des zones concernées. C'est d'ailleurs cette approche qui est privilégiée dans les projets mis en œuvre par Éco-Carbone en Afrique.

Cependant, selon le contexte, les systèmes d'agriculture contractuelle peuvent prendre des visages forts différents, objet du chapitre suivant (*voir aussi les travaux du Cerdi sur les filières, notamment [7]*).

4.3. Quelques exemples de système d'agriculture contractuelle (« outgrowers »)

4.3.1 Les systèmes privilégiant la concurrence et le marché

Un exemple d'un tel système peut être pris avec le tournesol en Tanzanie. Le marché est très concurrentiel, donc les paysans vendent vite leur production et, peut-être, à des prix corrects, mais nous manquons d'éléments là-dessus.

En revanche, la concurrence étant rude, aucun industriel n'investit sur l'amont et le relationnel avec les agriculteurs. La productivité reste très faible et finalement, malgré un marché efficace, les revenus paysans n'ont rien d'extraordinaire.

D'autre part il est difficile dans ces conditions de travailler sur la qualité des produits, ce qui a des conséquences importantes sur la rentabilité globale de la filière.

En Côte d'Ivoire, sur le cacao, certains industriels ont compris le risque à la fois d'approvisionnement et de qualité et essayent de « remonter » leur action dans la filière et d'investir dans la formation agricole, la structuration de coopératives ou la qualité des produits.

4.3.2 Les systèmes qui insistent plus sur la productivité des agriculteurs

L'exemple type est celui du coton dans la plupart des pays d'Afrique francophone.

Dans ce contexte l'industriel (la plupart du temps des sociétés para-étatiques, mais pas seulement) bénéficie d'une protection de l'État qui lui garantit un monopole d'achat sur certaines zones d'intervention, en échange généralement d'une obligation d'achat et d'un système de prix garantis.

Les prix, discutés de façon interprofessionnelle sont annoncés avant la campagne ce qui permet aux producteurs de se prononcer. La garantie à l'industriel permet à ce dernier

d'investir dans la recherche-développement, le conseil agricole et la structuration du monde rural.

En conséquence, en pluvial, l'Afrique francophone prise dans son ensemble a des rendements qui sont parmi les meilleurs du monde (à l'exception du Brésil), produit un coton qui utilise des quantités raisonnables d'intrants, et est le deuxième exportateur mondial d'une fibre de qualité.

Un monopole ou une protection d'un industriel travaillant en agriculture contractuel peut donc clairement être un facteur de développement.

L'idée de base est de mettre en place un système qui favorise et même protège une relation à long terme entre le producteur et l'industriel, ce qui permet en retour à ce dernier de travailler sur la productivité. Dans un tel schéma, le producteur et l'industriel ont tout intérêt à ce que l'autre soit en bonne santé pour consolider leur relation. En fin de compte, tout le monde y gagne. D'une manière générale, les produits demandant une transformation industrielle (coton, oléagineux) favorisent l'établissement de relations plus durables entre l'amont et l'aval à l'inverse de ceux qui ne sont qu'exportés (cacao par exemple).

V Conclusion : toujours de belles perspectives pour le développement du jatropha ou d'autres biocarburants en Afrique de l'Ouest

5.1 Au niveau de la production agricole, un nouveau départ sur des bases saines

Le démarrage du jatropha s'est donc fait sans le recul nécessaire de l'expérience et de la contextualisation et tout le monde a fait des erreurs stratégiques et est arrivé à des impasses.

Néanmoins, la situation à la fin de 2013 a considérablement évolué et l'ensemble de la profession commence à avoir des réponses à trois questions fondamentales pour la réussite de ces filières :

- *Une meilleure compréhension de l'agronomie de la plante* : contrairement au mythe, le jatropha est une culture qui, sans être très compliquée, a ses exigences, notamment si l'objectif est la production. Grâce... aux échecs, aux échanges nombreux entre opérateurs (favorisés par les réseaux d'échange financés par le FFEM et des instances comme cette conférence), ainsi qu'aux avancées du secteur privé dans d'autres parties du monde, la plante et sa physiologie sont maintenant mieux comprises, du moins dans les techniques de base.
- *Une meilleure insertion dans les systèmes de production paysan* : au départ, les agriculteurs se voyaient proposer de faire des plantations sur leur exploitation. Cela n'était pas du tout adapté à des systèmes de polyculture-élevage avec une courte saison des pluies, où les meilleures terres sont réservées aux cultures vivrières ou de rente qui ont fait leurs preuves. Depuis la plupart des opérateurs et des paysans

ont prouvé que ce sont les systèmes agro-forestiers qui, dans ce contexte sont les plus adaptés, permettant aux paysans de considérer le jatropha comme une culture complémentaire, ne nécessitant que très peu de travaux spécifiques dans un calendrier cultural déjà bien rempli.

- *Des variétés performantes apparaissent sur le marché* : les premières productions ont été faites en Afrique avec des graines locales, qui non seulement n'avaient pas été sélectionnées, mais qui en plus avaient subi une forte érosion génétique depuis leur introduction par les navigateurs portugais⁴

Ces trois éléments combinés laissent espérer des productions à des niveaux de rendement correct dès les prochaines années.

5.2 Une organisation des filières à préciser en lien avec les états et les organisations de producteurs

En Afrique de l'Ouest le développement des filières autour du jatropha sont à un nouveau moment charnière :

- Il est démontré que l'approche biocarburant n'est qu'un élément parmi les autres avantages de la plante qui peut jouer un rôle significatif dans le développement local ;
- La « ruée » vers le jatropha est terminée et les opérateurs opportunistes ont maintenant quasiment disparu. Ceux qui restent se concentrent pour la plupart sur l'agriculture contractuelle et essayent de travailler de façon durable avec leurs fournisseurs. Les systèmes agroforestiers sont privilégiés.
- De même, les grands programmes d'exportation semblent pour la plupart abandonnés et les marchés locaux (d'ailleurs déficitaires) sont privilégiés

Dans ce contexte, le rôle des États est capital : dans la mesure où il est peu probable qu'ils aient les moyens d'améliorer eux-mêmes la production et où des opérateurs de bonne volonté existent sur le terrain, les modes de collaboration doivent être définis.

Un opérateur ne pourra investir sur l'amont que s'il est sécurisé dans son intervention

L'État doit donc jouer un rôle de régulateur en fonction de la politique qu'il décide : s'il veut un développement harmonieux, par les agriculteurs, il doit protéger les opérateurs qui investissent sur l'amont de la production

En contrepartie l'opérateur peut s'engager sur un certain nombre d'actions prédéfinies sur ses actions en amont. En quelque sorte, sa protection le rend redevable de comptes à l'État et aux organisations faitières de producteurs

⁴ Notamment par le mode de diffusion par boutures

Dans ce schéma, l'État n'agit pas directement, il vérifie que les opérateurs et les producteurs développent harmonieusement une filière performante. Il peut, le cas échéant, retirer sa licence à un opérateur.

Il est possible d'imaginer dans ce cadre une instance de régulation tri-partite où siègent l'État, les organisations professionnelles agricoles et les opérateurs privés.

À l'inverse, une dérégulation totale aboutirait probablement à la mort de ces filières et ce, avant tout parce que la productivité chez les agriculteurs ne serait pas assurée et que ces derniers se tourneraient alors vers d'autres spéculations plus lucratives.

Éco-Carbone promeut des modèles de production durables, où le partenariat avec les agriculteur et la productivité au champ sont deux éléments essentiels. Nous pensons que c'est l'approche qui permettra d'avoir le plus d'impact dans les pays concernés, tout en sauvegardant les intérêts de tous les maillons de la filière.

Références bibliographiques

1. Laude JP. *La fiscalité des biocarburants*. In *3e conférence internationale sur les biocarburants en Afrique*. Novembre 2011, Ouagadougou, Burkina-Faso
2. Warra A.A., Cosmetic potentials of physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) seed oil: A review. *American Journal of Scientific and Industrial Research* 2012, 3(6): 358-366
3. Ratnassas A. ; Wink M. *The Phorbol Ester Fraction from Jatropha curcas Seed Oil: Potential and Limits for Crop Protection against Insect Pests*. *International Journal of Molecular Science* 2012 (13) pp 16157-16171
4. Francis G. ; Oliver J. ; Sujatha M. *Non-toxic jatropha plants as a potential multipurpose multi-use oilseed crop*. *Industrial Crops and Products* Volume 42, March 2013, Pages 397–401
5. Azzaz, Nabil A. E.; El-Nisr, Neveen A.; Elsharkawy, Eman E.; Elmotleb, Eman A. *Chemical and Pathological Evaluation of Jatropha Curcas Seed Meal Toxicity With or Without Heat and Chemical Treatment*. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*; 2011, Vol. 5 Issue 12, p49
6. Gazull L. ; Fallot A. ; Burnod P. *L'évaluation des terres disponibles pour des productions bio-énergétiques, du potentiel théorique au potentiel socio-technique. Illustrations au Mali et à Madagascar*. In *3e conférence internationale sur les biocarburants en Afrique*. Novembre 2011, Ouagadougou, Burkina-Faso
7. Araujo-Bonjean C. ; Combes JL. . *Impact des modes d'organisation des filières agro-alimentaire dans la lutte contre la pauvreté; les filières cacao et coton*. Rapport CERDI, octobre 2001

THÈME 2

**Diversité des débouchés :
Clé du succès des filières Biocarburants / Bioénergies ?**

PERFORMANCES TECHNICO-ÉCONOMIQUES DES PROCÉDÉS DE PRODUCTION DE BIOCARBURANTS À PARTIR DE JATROPHA

A.CHAPUIS^(1,2,3), J.BLIN^(1,3), V.CODINA⁽⁴⁾, A.ENSINAS⁽⁴⁾, D.LECOMTE⁽²⁾

(1) Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE), CCREHD / LBEB
Rue de la Science 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso.
contact auteur : arnaud.chapuis@mines-albi.fr

(2) Université de Toulouse, Mines Albi, CNRS UMR 5302, Centre RAPSODEE,
Campus Jarlard, F-81013 Albi Cedex 09, France

(3) Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
UPR Biomasse Energie TA B-42/16,
73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

(4) Laboratoire d'Energétique Industrielle, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne,
CH-1015 Lausanne, Switzerland

Mots clés: Jatropha, huile végétale carburant, biodiesel, performances technico-économiques

I Introduction

Aujourd'hui de nombreux efforts de recherche et développement sont focalisés sur le Jatropha en tant que matière première pour la production de biocarburants dans les pays du Sud. C'est un arbuste qui produit des graines oléagineuses contenant jusqu'à 40% d'huile végétale [1]. Dans la plupart des cas, cette huile est extraite au moyen de presses à vis ou plus rarement dans le cas de très grosses productions, par extraction chimique au solvant. Après extraction mécanique, l'huile est filtrée et peut être utilisée directement comme carburant, à condition qu'elle remplisse un certain nombre de critères de qualité. L'utilisation d'huile végétale comme carburant (HVC) est possible dans la plupart des moteurs Diesel en mélange avec du gasoil à hauteur de 30%(vol) maximum. Elle peut également être utilisée pure dans des moteurs stationnaires fonctionnant à des taux de charges élevés en utilisant un système de bicarburant [2]. Pour obtenir un carburant ayant des caractéristiques comme combustible similaires à celles du gasoil et donc utilisables sans contraintes techniques pour des usages comme le transport, l'huile doit être transformée en biodiesel (mélange d'esters alcooliques) grâce à un procédé chimique, nommé transestérification. Pour être rentable ce procédé est en général mis en œuvre pour de grandes capacités, de l'ordre de 20 000 tonnes/an, ce qui nécessite des investissements élevés et une logistique d'approvisionnement de grande envergure.

Nous proposons dans cet article une analyse technico-économique des différents procédés utilisés dans ces filières biocarburants à base d'huile végétales, dont l'objectif est d'identifier les principaux facteurs influents sur leur rentabilité. Nous nous intéresserons notamment aux capacités de traitement des usines, aux technologies utilisées pour la fourniture des besoins en énergie et la valorisation des coproduits. Cette analyse se base sur une modélisation technique et économique des procédés dans le contexte du Burkina Faso. Le

modèle d'extraction d'huile par presse à vis est issu d'expérience à échelle pilote alors que les procédés chimiques permettant la production de biodiesel ont été modélisés à l'aide du logiciel AspenPlus sur la base de données de la littérature. L'ensemble des analyses de sensibilité ont été réalisées à l'aide un logiciel d'analyse des systèmes énergétiques nommé OSMOSE [3] développé par le laboratoire d'énergie industrielle (LENI, EPFL).

II Modélisation technique des procédés

Cette partie décrit brièvement la méthode et les modèles utilisés pour la modélisation technico-économique. Pour des raisons de concision les différentes équations du modèle ne seront pas détaillées ici.

2.1 Production d'HVC par pression à froid

Le modèle utilisé pour la simulation du procédé de pressage a été établi à partir d'une analyse expérimentale réalisée à l'échelle pilote. Les détails des expériences et la modélisation sont présentés dans Chapuis et al.[4] . Le modèle comprend deux relations principales; la première donne le rendement en huile en fonction du débit de graines traité; la seconde est une corrélation empirique donnant la consommation spécifique d'énergie mécanique en fonction du rendement en huile. Le rendement en huile est défini ici comme le ratio de la quantité d'huile extraite (à l'exclusion des sédiments) par rapport à la quantité d'huile présente dans les graines.

Dans cette étude, les entrées du modèle sont le débit de graines à traiter et le rendement en huile. Le rendement en huile standard d'une presse à vis est d'environ 80% mais celle-ci peut être réglée pour obtenir des rendements en huile inférieurs de manière à atteindre des capacités de traitement supérieures [5]. Le débit nominal de la presse est calculé en fonction du rendement en huile choisi et du débit de graines à traiter. Le débit nominal de graines est utilisé pour évaluer les coûts d'investissement.

La consommation d'énergie mécanique, exprimée en Wh.kg⁻¹ de graines, est déterminée à partir du rendement en huile et de la teneur en huile des graines, suivant une corrélation empirique. Pour un rendement en huile de 80% et des graines ayant une teneur en huile de 35%, la consommation d'énergie mécanique est de 38 Wh.kg⁻¹ de graines. Le modèle reflète le comportement général d'une presse à vis : si le débit de graines augmente, le temps de séjour dans la cage diminue et l'huile a moins de temps pour s'écouler ce qui se traduit par un rendement en huile plus faible. La consommation spécifique d'énergie augmente de façon exponentielle avec le rendement en huile et décroît lorsque la teneur en huile des graines augmente. Ainsi, un faible rendement en huile implique un haut débit de graines et de faibles besoins énergétiques, et inversement [4].

Après extraction, l'huile qui contient des particules solides est directement filtrée à l'aide d'un filtre presse. Sur la base de résultats expérimentaux et de données bibliographiques, nous estimons que l'huile non filtrée contient 6% de particules solides qui sont totalement éliminées lors de la filtration. Le gâteau de filtration a une teneur en huile qui peut varier en fonction de la technologie de filtration (séchage du gâteau à l'air comprimé ou non). Il est généralement admis qu'un simple filtre presse permet d'obtenir un gâteau de filtration avec environ 50% d'huile et un filtre-pressé équipé d'un système d'air comprimé pour sécher le

gâteau permet d'atteindre une teneur en huile du gâteau de filtration de 30% [6]. Pour une teneur totale en solides dans l'huile brute de 6% et pour des teneurs en huile du gâteau de filtration de 60% et 30%, la perte d'huile est de 9,5% et 2,7% respectivement. Ceci souligne l'importance d'un bon équipement de filtration. Dans la présente étude, nous avons considéré un filtre-pressé avec une teneur en huile du gâteau de 40%, soit 4.2% de pertes.

La principale consommation d'énergie d'une huilerie est l'entraînement de la presse : nous considérons que le moteur électrique de la presse a une efficacité de 85%. Une valeur constante de 5 Wh.kg⁻¹ de graines est ajoutée pour tenir compte des autres équipements du procédé, tels que les pompes, les convoyeurs et le compresseur d'air utilisé pour le soufflage du gâteau de filtration. Cette hypothèse est basée sur des études économiques d'huilerie effectuées par CREOL [7]. Trois options sont envisagées pour la fourniture d'électricité, à savoir le raccordement au réseau SONABEL, l'autoproduction avec un groupe électrogène alimenté par de l'HVC ou par du biogaz produit à partir des tourteaux.

2.2 La production de biogaz à partir des tourteaux

Dans les conditions standard de pressage, les tourteaux auxquels sont mélangés le gâteau de filtration contiennent 11% d'huile et environ 7% d'eau. Dans ces conditions, le potentiel méthanogène, qui varie fortement avec la teneur en huile est de 0.290 m³ CH₄/kg tourteaux [8]. A défaut de modèle détaillé pour le bilan matière de la méthanisation, il est considéré que le réacteur permet de convertir 65% du potentiel méthanogène en biogaz. La méthanisation se réalise en voie humide et la teneur en matières sèches dans le réacteur doit être de l'ordre de 10%, ce qui implique de considérablement diluer les tourteaux. A la sortie du réacteur, l'effluent de méthanisation contient encore tous les nutriments N,P,K qui étaient présents dans les tourteaux et a donc une forte valeur fertilisante, même s'il est dilué [9]. Du fait de sa forte teneur en eau, nous supposons que sa valeur économique est moindre : le montant dégagé par la vente des effluents de digestion est deux fois inférieur à celui qu'aurait dégagé la vente des tourteaux.

Enfin, le modèle économique utilisé pour la production de biogaz est décrit par R. Moletta dans [10]. Il est basé sur les technologies utilisées dans les exploitations agricoles en Europe pour la digestion des déjections animales et des résidus de culture. Le modèle inclut une fonction d'investissement qui dépend de la capacité de l'équipement installé, y compris le générateur électrique, et une fonction pour les coûts opératoires liés à la production électrique. Ce type de technologie est disponible à partir de 50 kW électrique environ, ce qui correspond à 340 tonnes de tourteaux par an à raison de 4 000 heures de fonctionnement.

2.3 La production de biodiesel

La production de biodiesel par transestérification méthanolique des huiles végétales, requiert une huile particulièrement pure. Même s'il est possible d'obtenir une huile de bonne qualité avec une pression à froid, il sera souvent nécessaire de raffiner l'huile avant la transestérification afin d'ajuster et d'homogénéiser ses propriétés physico-chimiques et ainsi faciliter le contrôle des conditions opératoires.

Le procédé de raffinage des huiles végétales provient de l'industrie agro-alimentaire. Pour la consommation humaine, le raffinage de l'huile comprend le dégomme (élimination des

phospholipides), la neutralisation (élimination des acides gras libres), la décoloration et la désodorisation. Les deux dernières opérations ne sont pas nécessaires pour des applications carburants et n'ont pas été prises en compte [11]. Dans ce cas, le raffinage de l'huile consistera à dégommer, neutraliser et sécher. Il existe plusieurs technologies de raffinage et nous avons choisis dans cette étude de considérer la technologie commerciale la plus répandue, à savoir le raffinage chimique. Sur la base de plusieurs articles de synthèse [11]–[13] et des données fournies par les fabricants, un procédé générique de raffinage a été construit et simulé en utilisant le logiciel AspenPlus. Cette modélisation offre de bonnes estimations des besoins énergétiques et des performances des étapes de séchage. Cependant, le modèle conçu ne permet pas de simuler correctement les opérations de séparation solide-liquide. Le bilan de matière détaillé est donc calculé séparément sur la base de valeurs moyennes issues de la littérature et programmé en Matlab.

Afin de choisir un design de procédé approprié, nous avons émis des hypothèses sur la composition chimique moyenne de l'huile de Jatropha à traiter. Selon plusieurs résultats expérimentaux, l'huile de Jatropha extraite dans de bonnes conditions présente une teneur en acides gras libres entre 0,5 % à 2,5 % [14]–[16]. Des valeurs plus élevées traduisent un niveau élevé de dégradation de l'huile qui peut être due à de mauvaises conditions de stockage ou de manutention des graines et de l'huile. La teneur en phosphore de l'huile de Jatropha est rarement rapportée dans la littérature scientifique. Liu et al. (2012) [17] mentionne des teneurs en phosphore de l'ordre de 60-300 ppm dans l'huile brute de Jatropha. Nous supposons un niveau moyen de 100 ppm de phosphore (= 3000 ppm de phospholipides) et 2% d'acides gras libres.

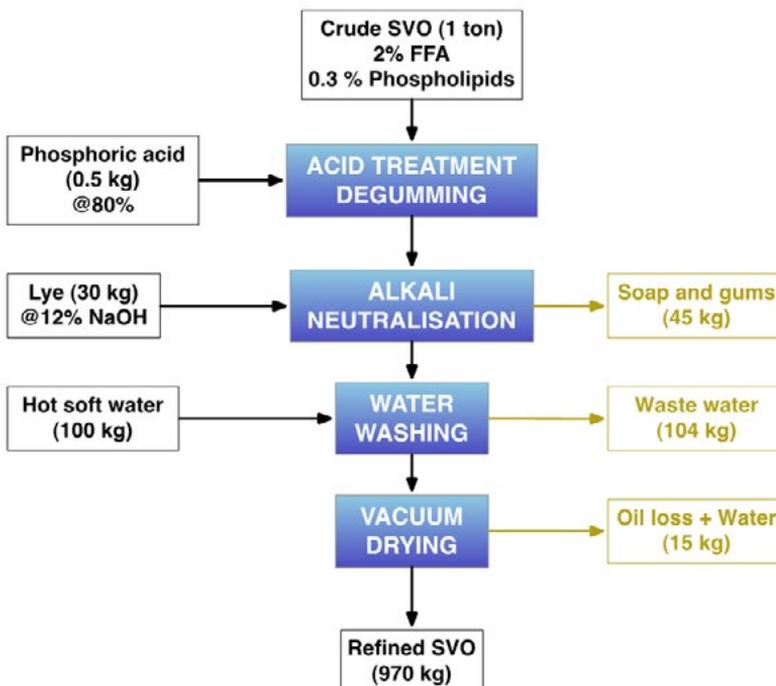


Figure 1. Procédé de raffinage de l'huile végétale. FFA=AGL

Le procédé de raffinage considéré est décrit sur la figure 1. L'huile brute subit d'abord un dégommeage qui vise à éliminer les phospholipides. Les phospholipides sont de longues molécules constituant les membranes cellulaires, connus pour provoquer l'encrassement des filtres et des injecteurs et des dépôts de carbone sur les têtes de piston lorsqu'ils sont présents dans les carburants, soit HVC ou biodiesel [2]. Les phospholipides peuvent aussi neutraliser les catalyseurs basiques utilisés lors de la transestérification et réduire le rendement en biodiesel [18]. La deuxième opération est l'élimination des acides gras libres par neutralisation avec de la soude et enfin, l'huile est lavée pour éliminer les savons formés et les traces de sodes résiduelles, elle est ensuite séchée.

La technique de base pour éliminer les phospholipides est de les hydrater par lavage à l'eau, pour qu'ils précipitent sous forme de particules solides et puissent être éliminés par décantation. Cependant, différentes formes de phospholipides sont présents dans les huiles végétales et ne sont pas tous facilement hydratables. Afin de les rendre hydratables, l'huile est préalablement traitée avec un acide minéral fort, le plus souvent de l'acide phosphorique, ce qui permet d'obtenir après le lavage à l'eau, une teneur en phosphore suffisamment faible pour la production de biodiesel, soit 10 ppm [12]. Le prétraitement acide est réalisé à 90°C par une addition de 0.05% d'acide phosphorique à 75% de concentration et le lavage est réalisé uniquement à la fin du processus de raffinage, après la neutralisation [12].

La neutralisation est réalisée par addition d'une solution diluée de soude (12%*m* de NaOH) [12], de sorte que les acides gras libres réagissent avec de l'hydroxyde de sodium pour former des savons. La réaction de neutralisation est la suivante: $\text{FFA} + \text{NaOH} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SAVON}$. Les savons sont ensuite séparés par une première centrifugation puis dilués et éliminés lors d'un lavage à l'eau.

La quantité nécessaire de NaOH est calculée à partir de la teneur en acides gras libres sur la base de la stœchiométrie de la réaction. Le dosage (en excès de 10%) doit aussi permettre de neutraliser l'acide phosphorique utilisé pour le conditionnement des phospholipides. La réaction de saponification dure 5-10 min. Pour éviter les problèmes d'émulsion, il est recommandé d'effectuer la réaction à une température de 30-50°C, puis chauffer jusqu'à environ 75°C pour briser l'émulsion et permettre la séparation du savon.

Après le traitement à l'acide phosphorique et la neutralisation alcaline, les savons et les gommages sont séparés par centrifugation. Les centrifugeuses à assiettes sont couramment utilisées dans les huileries de grande capacité car elles permettent d'effectuer la séparation des trois phases en continu et avec une grande efficacité. La phase solide a une teneur en huile de l'ordre de 35 à 40 % [19]. Cependant, ce type d'équipement nécessite des investissements élevés. Après cette première séparation, l'huile est lavée avec de l'eau douce (10%) à 90°C et à nouveau centrifugée [12] (Alfalaval). L'huile dégommee et neutralisée est séchée dans un flash à une pression 0.15 bar et à une température d'environ 115°C avant d'être utilisée comme carburant ou transformée en biodiesel. La teneur en eau atteinte est de 0,1%. La modélisation du procédé avec AspenPlus permet d'obtenir une estimation des besoins en énergie thermique du procédé, cependant les opérations de séparation solide-liquide sont calculées indépendamment pour plus de simplicité. Dans les conditions décrites ici, 1000 kg d'huile brute permettent d'obtenir 970 kg d'huile raffinée.

Une fois raffinée, l'huile peut être transformée en biodiesel par transestérification. Cette opération consiste à faire réagir les triglycérides de l'huile végétale avec un alcool (ici le méthanol) pour former des esters et un coproduit qui est la glycérine. Il existe plusieurs technologies pour transestérifier les huiles végétales et obtenir du biodiesel mais la plus répandue et la seule qui soit réellement commerciale aujourd'hui est la catalyse homogène basique [11]. Le procédé de transestérification est décrit par le schéma en figure 2.

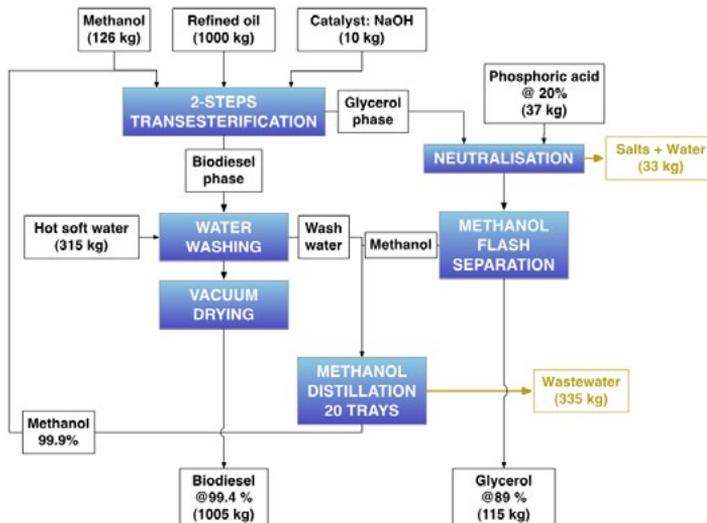


Figure 2. Procédé de production de biodiesel en catalyse homogène basique.

L'huile végétale est d'abord chauffée à 90°C et introduite dans un premier réacteur agité avec le méthanol et de la soude (NaOH) qui sert de catalyseur. La proportion de soude est de 0.1% de la masse d'huile et le méthanol est introduit en large excès à hauteur de 6 moles pour 1 mole de triglycéride. Le temps de séjour est de l'ordre de 10 min, ce qui permet de d'atteindre un taux de conversion des triglycérides de 85%. Le mélange réactionnel est ensuite envoyé dans un deuxième réacteur après séparation de la phase lourde contenant le glycérol. Du méthanol est alors ajouté pour atteindre un excès molaire de 20:1 par rapport aux triglycérides restant, ce qui permet d'obtenir un taux de conversion global de 99% [11], [20]. A la sortie de l'étape de réaction, la phase biodiesel est envoyée vers des opérations de lavage puis de séchage, le glycérol subit une neutralisation et est séparé du méthanol qui est recyclé via une distillation. Le séchage du biodiesel et la distillation du méthanol sont les deux étapes les plus énergivores du procédé.

Les besoins énergétiques du procédé de raffinage + transestérification en terme de chaleur et d'électricité sont donnés tableau 1. La possibilité de réaliser une intégration du réseau de chaleur afin de minimiser les besoins de vapeur a également été considérée. Ce calcul est basé sur la méthode de « pincement » qui consiste à optimiser les échanges thermiques entre flux chauds et flux froids du procédé, et sa mise en œuvre est détaillée dans les travaux de Gassner et Maréchal (2009) [21].

	Unité	Sans intégration énergétique	Avec intégration énergétique
Chaleur (150°C)	kWh/t	320	160
Electricité	kWh/t	45	45

Tableau 1. Besoins énergétiques de procédé de production de biodiesel relativement à la quantité d'huile transformée

Enfin, plusieurs options sont envisagées pour la fourniture de ces besoins énergétiques.

La première consiste à fournir les besoins de vapeur au moyen d'une chaudière classique alimentée soit par de l'huile végétale brute (rendement 88%), soit par de la biomasse ligneuse (bois ou autres résidus, rendement 78%). Dans ce cas, les besoins en électricité sont assurés par une connexion au réseau national. La deuxième option consiste à utiliser un équipement de cogénération, beaucoup plus efficace sur le plan énergétique. La cogénération peut être réalisée avec un moteur à combustion interne alimenté par de l'huile végétale ou bien par l'ajout d'une turbine à vapeur sur le réseau de chaleur dans le cas de l'utilisation de biomasse comme combustible. Pour permettre la production d'électricité grâce à un cycle à vapeur, la chaudière doit être légèrement surdimensionnée par rapport au cas standard. Dans le cas d'un moteur à combustion interne, les rendements de conversion sont de 25% en électricité et 35% en chaleur. Dans le cas d'une chaudière + cycle à vapeur, ils sont de 10% d'électricité et 75% de chaleur avec un combustible liquide (HVC) et 9% d'électricité et 67% de chaleur avec de la biomasse.

III Modèles économiques

Cette partie présente les méthodes utilisées pour calculer les investissements et les coûts opératoires des deux procédés, ainsi que les hypothèses considérées.

3.1 Huilerie

Un modèle de coût d'investissement pour les huileries a été construit à partir de données de tarifs d'achat de presses à vis (30 modèles de 40 à 2500 kg.h⁻¹) publiés par Ferchau (2000) et d'études technico-économiques du CETIOM (2005). Les prix ont été actualisés en utilisant l'indice de coût d'équipements industriels publié par Chemical Engineering (CEPCI : Chemical engineering plant cost index). La presse à vis est l'équipement principal et le plus cher dans une huilerie. Ainsi, l'investissement global est extrapolé à partir du prix de l'équipement de pressage. La fonction de coût des presses a été établie par une régression linéaire polynomiale d'ordre 2 entre les logarithmes des capacités de traitement et des prix, comme illustré par l'équation ($R^2 = 0.91$). Ce type de fonction de coût est couramment utilisé dans le domaine du génie chimique pour tous les types d'équipement.

Le coût global d'investissement pour une huilerie utilisant un procédé de pression à froid est extrapolé à partir du prix de la presse. A partir de plusieurs devis issus du CETIOM et de Folkecenter, il apparaît que le ratio de l'investissement total par rapport au prix de la presse diminue lorsque la capacité augmente. Ici encore, une équation donne la valeur du ratio coût total/coût de la presse en fonction de la capacité de l'usine qui varie entre 40 et 1000 kg/h. Ce ratio varie de 6 pour les plus petites capacités à 2 pour les plus grandes. Cela reflète l'existence d'une importante économie réalisée sur les équipements secondaires.

Les coûts opératoires incluent principalement l'achat des matières premières, du carburant pour la fourniture d'énergie, le coût de la main d'œuvre, et de la maintenance des équipements. Les frais de maintenance annuels représentent 2% de l'investissement initial (Carré 2010). Indépendamment de la capacité, la main-d'œuvre est constante, et compte 4 personnes. Les frais financiers et l'amortissement sont calculés sur 15 ans avec un taux d'intérêt de 5%. Le coût de financement du cycle d'exploitation, c'est à dire le coût de l'achat des matières premières, est également pris en considération en supposant deux mois de latence entre l'achat des matières premières et les premières recettes, avec un taux d'intérêt de 5 %.

3.2.Raffinage et production de biodiesel

La méthode pour l'évaluation des coûts d'investissement et de fonctionnement des usines de raffinage et de biodiesel est basé sur une méthode couramment utilisée en génie chimique et détaillée par plusieurs auteurs [22], [23]. Le principe consiste à identifier les principaux équipements ainsi que les données nécessaires à leur dimensionnement, ce qui est possible grâce à la modélisation sous AspenPlus. Ensuite, les deux références citées proposent des fonctions de coût pour chaque équipement basées sur des données statistiques issues de l'industrie chimique. Les équipements de fourniture d'énergie (chaudières, turbines et moteur à combustion interne) sont également pris en compte dans ce calcul. Comme les données de coût utilisées sont nord-américaines, un facteur de majoration de 30% a été considéré pour une implantation au Burkina Faso pour tenir compte des coûts transport supplémentaires et des infrastructures moins développées. Dans le cas des usines chimiques, la durée d'amortissement considérée est de 20 ans, avec un taux d'intérêt de 5%.

Le tableau 2 résume les prix des différents produits et matières premières utilisés pour le calcul des coûts de production de l'HVC et du biodiesel. Les prix de vente des produits principaux (biodiesel et HVC) ne sont pas mentionnés car ils ne sont pas utilisés dans le calcul des coûts de production. Les prix des produits chimiques sont les prix moyens FOB majorés de 40%.

Tableau 2. Prix des différents produits pour les deux procédés

	<i>Prix (FCFA)</i>	<i>Unité</i>	<i>Caractéristiques</i>
Graines	70	kg	35% d'huile
HVC (pour raffinage + bio-diesel)	460	L	PCI = 39 MJ/kg, AGL = 2%, P = 100 ppm**
Méthanol	325	kg	Pur à 99.9%
NaOH (pur)	300	kg	
H3PO4	600	kg	Solution à 75%
Glycérol	250	kg	Pureté : 89%
Biomasse	10	kWh	
Electricité (réseau)*	170	kWh	
Diesel (indicatif)	650	L	

* L'électricité est vendue au prix d'achat réseau. ** AGL : acide gras libres, P : teneur en phosphore

IV Résultats et discussion

4.1. Production d'HVC

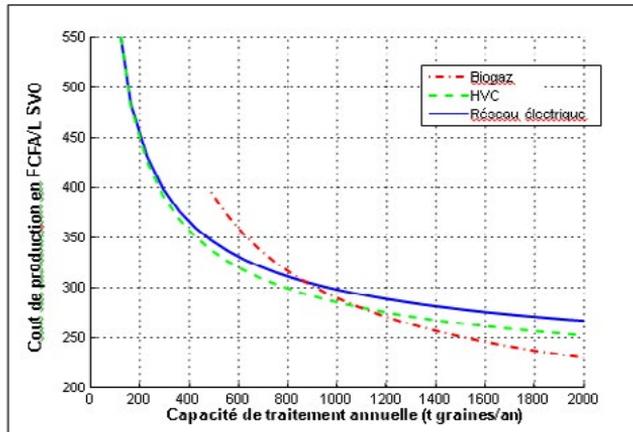


Figure 3. Coût de production de l'HVC en fonction de la capacité de production et de différentes options de fourniture énergétique d'énergie

(Raccordement au réseau électrique national, groupe électrogène alimenté par de l'HVC ou du biogaz).

La figure 3 représente les évolutions du coût de production de l'HVC en fonction de la capacité de production annuelle de l'huilerie, pour les différentes options de fourniture d'énergie (raccordement au réseau électrique national type SONABEL, groupe électrogène alimenté par de l'HVC ou du biogaz). Le coût de production correspond au coût à la sortie d'usine hors taxes et il faut éventuellement prévoir un coût supplémentaire de distribution. Le coût de production atteint donc un niveau acceptable (450 FCFA/L) à partir d'une capacité de trituration de 200 tonnes de graines par an environ et baisse ensuite de façon très significative lorsque la capacité de production augmente. Il est important de noter que le niveau de compétitivité requis peut varier selon l'utilisation visée étant donné que plusieurs types de carburant diesel sont distribués avec des prix et des réglementations fiscales différents. Le diesel (660 FCFA/L) est utilisé pour les transports et les petites applications stationnaires privées (groupe électrogènes, pompes d'irrigation, plateformes agricoles etc.). Deux autres carburants diesel plus lourds, le DDO et le Fuel Oil, sont couramment utilisés pour la production publique d'électricité et bénéficient, dans ce cadre, de subventions : les prix payés par la société nationale d'électricité sont de l'ordre de 400 FCFA/L et 300 FCFA/L respectivement. Il faut également tenir compte du pouvoir calorifique plus faible de l'huile végétale.

L'évolution des courbes reflète les économies d'échelles réalisées en augmentant la capacité de production. En dessous d'une capacité de traitement de 400 tonnes/an, ce qui correspond à 100 kg/h, les installations sont de très petite capacité, pour lesquelles les équipements annexes à la presse représentent une large part de l'investissement. En réalité, les presses de moins de 100 kg/h sont rarement destinées à un usage industriel, mais

plutôt à de l'autoproduction pour les agriculteurs. Les presses industrielles, même de faible capacité, bénéficient d'une construction plus robuste adaptée à une utilisation intensive et sont donc plus chères. Lorsque la capacité augmente, la part de l'investissement représenté par l'achat des équipements annexes (filtres, pompes, stockages, alimentation) diminue, si bien que ces équipements sont « mieux rentabilisés ». Une installation de pressage de 400 t/an nécessite un investissement de l'ordre de 120 000 000 FCFA. Dans ce cas, le surcoût lié à l'achat d'un groupe électrogène pour la production d'électricité à partir de l'HVC est relativement faible et d'autant plus rentable que le coût de production de l'HVC est faible.

Ces résultats montrent qu'une production rentable d'HVC est envisageable même pour de petites installations, à condition que le fonctionnement soit intensif : 6 mois par an en fonctionnant 24h/24. Le fonctionnement en continu est particulièrement important car il permet non seulement de rentabiliser les équipements mais aussi de bénéficier d'un régime de fonctionnement stable, d'éviter les pertes liées importantes liées à l'arrêt et au démarrage de la presse et d'assurer une production homogène et de bonne qualité. Il nécessite cependant d'investir dans des équipements industriels fiables et impose de travailler avec de la main d'œuvre qualifiée, qui maîtrise bien l'outil de production pour garantir une durée de vie des équipements et assurer une bonne qualité d'huile produite. Pour les scénarios sans production de biogaz, la majeure partie des économies d'échelle sont réalisées jusqu'à 1 000 tonnes/an ; au-delà le coût de production global tend à se stabiliser entre 250 et 300 FCFA/L.

L'autoproduction et la coproduction d'électricité présentent des avantages économiques considérables. Le scénario le plus simple qui consiste à utiliser l'électricité du réseau pour assurer les besoins en énergie est acceptable pour de faibles capacités de production. L'autoconsommation d'HVC pour la production d'électricité est plus compétitive, d'autant plus pour de grandes capacités où son coût de production devient plus faible. Dans ce cas, au moins 5.5% de la production totale d'HVC est nécessaire pour assurer les besoins de l'usine, cette valeur étant cependant variable selon les performances énergétiques des équipements (pompes, convoyeurs, climatisation des bureaux, etc.). Enfin, au-delà de 1 000 tonnes/an la valorisation des tourteaux en biogaz puis en électricité permet de considérablement abaisser le coût de production grâce à la vente de l'électricité et des effluents comme fertilisants agricoles. L'électricité produite à partir du biogaz permet de couvrir les besoins de l'usine et de revendre le surplus sur le réseau. Ce scénario nécessite des investissements plus élevés : pour une usine d'une capacité de 2 000 t de graines par an, il faut compter environ 250 000 000 FCFA pour l'huilerie et près de 600 000 000 FCFA supplémentaires pour l'installation de production de biogaz et d'électricité. Celle-ci permet de produire environ 220 kW d'électricité en continu, dont 25 à 30 kW sont utilisées pour les besoins de l'usine.

4.2 Raffinage et production de biodiesel

Le coût de production du biodiesel à partir d'huile végétale est présenté figure 4. Tout comme la production d'HVC, le coût de production du biodiesel est très sensible à la capacité de l'usine de transformation, ce qui traduit d'importantes économies d'échelle. Si l'on vise un prix de vente de 600 FCFA/L, légèrement inférieur au Diesel (650 FCFA/L), une production rentable (sans tenir compte des frais liés à la distribution) peut être envisagée à partir de 10 000 tonnes/an, mais pour une capacité de 20 000 tonnes/an, le coût peut être réduit à environ 560 FCFA/L, soit plus de 6,5% de moins. Huit options différentes ont été comparées pour assurer la fourniture des besoins en chaleur et en électricité, en combinant les différentes

possibilités de faire de la cogénération à partir de biomasse ou d'HVC et de l'intégration énergétique. Les deux scénarios les moins compétitifs peuvent facilement être distingués : l'HVC est utilisée comme carburant dans une chaudière, sans système de cogénération, l'intégration énergétique permettant de réduire en partie le coût de production. Ensuite, les autres options ont des performances similaires. De manière générale, les solutions incluant un système de cogénération sont plus performantes, d'autant plus lorsque l'HVC est utilisée comme combustible. Dans ce cas, le système de cogénération avec un moteur à combustion interne permet de produire plus d'électricité que le système turbine à vapeur et ainsi de compenser le prix élevé de l'HVC. L'effet de l'intégration énergétique est plus mitigé : elle est avantageuse lorsqu'il n'y a pas de système de cogénération car elle permet de réduire les besoins en combustible. Par contre, lorsqu'un système de cogénération est utilisé, l'intégration énergétique a pour effet de limiter la production d'électricité. L'équipement de production d'électricité (moteur ou turbine) est en effet dimensionné sur la base des besoins de chaleur et sera donc plus petit si le réseau de chaleur est intégré. Ces résultats sont très sensibles aux prix des combustibles et aux conditions d'implantation de l'usine. Le coût de l'intégration énergétique est en effet très dépendant l'organisation spatiale du procédé (longueurs de tuyaux, taille des échangeur, etc.) et peut donc sensiblement varier selon les cas.

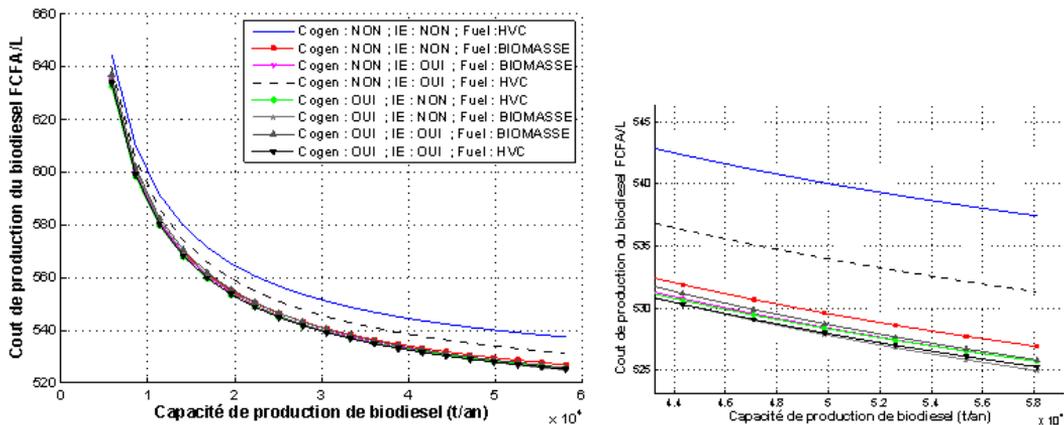


Figure 4 : Coût de production du biodiesel en fonction de la capacité de production (en dizaine de milliers de tonnes/an) et de différentes options de fourniture énergétique. (A gauche: de 6 000 à 60 000 tonnes/an ; Droite : Zoom sur les grandes capacités ; IE : intégration énergétique)

Enfin, le prix d'achat de l'huile est fixé à 460 FCFA/L dans ces calculs. Au vu des résultats du modèle de production d'huile, ce coût est largement supérieur aux coûts de production d'huilerie de grande capacité. Une solution pour abaisser le coût de production du biodiesel serait donc d'intégrer les deux procédés sur un même site. Il faudra cependant tenir compte des coûts d'acheminement de la matière première, d'autant plus élevés que les graines sont transportées au lieu de l'huile.

La production de biodiesel pour un usage dans le secteur des transports à un prix compétitif avec celui du Diesel est donc envisageable moyennant la mise en place d'usine chimique de grande capacité. Ce scénario est d'autant plus attractif qu'il permet de produire de grandes quantités de carburants et de substituer de manière significative le carburant Diesel importé.

Sa mise en place présente cependant de nombreuses contraintes, à commencer par des investissements très élevés. Pour une usine d'une capacité de 20 000 t/an, l'investissement de base s'élève à 5,5 milliards de FCFA (< 10 M\$) pour les équipements du procédé, auxquels il faudra ajouter entre 500 et 750 million FCFA pour les équipement de production de vapeur et d'électricité. Par ailleurs, l'une des contraintes majeures est la logistique d'approvisionnement d'une telle usine : en matières premières, en réactifs chimiques et en eau. Si la production doit être arrêtée faute de matières premières, les pertes économiques peuvent être colossales. 20 000 tonnes d'huile correspondent à environ 60 000 ha de culture de Jatropha qui doivent se trouver dans un rayon suffisamment restreint pour que les coûts de transport restent raisonnables : une zone géographique satisfaisant ces critères peut être difficile à trouver en Afrique de l'Ouest. Enfin, le fonctionnement d'une telle usine requiert un personnel hautement qualifié.

L'utilisation de procédés semi-continus permettrait éventuellement une production rentable avec une capacité de production légèrement plus faible. Cependant, ce type de procédé présente des rendements inférieurs et est plus difficile à contrôler, notamment en terme de qualité et d'homogénéité du produit.

V Conclusion

La production d'huile végétale carburant est viable à partir d'environ 200 tonnes de graines par an et la production de biodiesel à partir de 10 000 tonnes de biodiesel par an. Pour les deux procédés, l'augmentation de la capacité de transformation permet de bénéficier d'importantes économies d'échelles. La production d'HVC étant rentable même à petite échelle, elle paraît être une solution avantageuse pour la production de carburant pour les zones rurales, notamment pour la production d'électricité décentralisée. Les quantités de matière première sont relativement faibles, 200 tonnes de graines correspondant à 200 ha environ, ce qui simplifie la logistique d'approvisionnement, à condition que le site d'implantation soit bien choisi. En revanche, la production de biodiesel réalisée à une échelle largement supérieure, exige une logistique d'approvisionnement de grande envergure pour la matière première ainsi que pour les réactifs chimiques utilisés. Par conséquent, ce scénario ne sera envisageable que si la production de Jatropha est suffisamment concentrée : le rayon d'approvisionnement ne peut pas dépasser 100 km pour que les coûts de transports restent abordables.

Enfin, que ce soit pour la production d'huile ou de biodiesel, l'achat de la matière première représente entre 80% et 85% du coût de production du produit final. Il est difficile d'agir significativement sur ces coûts et par conséquent, la diversification des produits (biocarburants, électricité, fertilisants) est l'option la plus efficace pour maximiser les profits à partir d'une même ressource. Cette idée est à la base du concept de bioraffinerie. En plus d'améliorer les profits, ce concept est souvent écologique car il implique d'optimiser l'utilisation d'une même ressource et d'éviter les déchets. Il nécessite cependant des investissements élevés comparés aux scénarios classiques.

Enfin toutes les simulations économiques qui ont été faites reposent sur le principe que les biocarburants produits sont directement en compétition avec le gasoil (ou DDO), cependant les gouvernements des pays d'Afrique de l'ouest travaillent tous sur des mises en place de stratégie nationale à adopter pour promouvoir les biocarburants. Contrairement aux produits pétroliers, l'achat de biocarburants permet de faire circuler des flux de devises qui restent au sein du pays, participant ainsi à la création de richesse nationale distribuée aux acteurs

de la filière sous formes de revenus d'exploitation et de salaires (plutôt que de faire sortir des devises du pays pour payer de grandes multinationales pétrolières). Conscient de cette plus-value à l'échelle d'un pays, les états pourraient très bien à court terme décider de subventionner la production de biocarburants afin de les rendre plus compétitifs.

Le travail présenté ci-dessus a été réalisé avec le soutien de l'Union Européenne. Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité des auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant l'avis de l'Union Européenne.

Références bibliographiques

1. W. M. J. Achten, L. Verchot, Y. J. Franken, E. Mathijs, V. P. Singh, R. Aerts, and B. Muys, "Jatropha bio-diesel production and use," *Biomass. Bioenerg.*, vol. 32, no. 12, pp. 1063–1084, Décembre 2008.
2. S. S. Sidibé, J. Blin, G. Vaitilingom, and Y. Azoumah, "Use of crude filtered vegetable oil as a fuel in diesel engines state of the art: Literature review," *Renew. Sust. Energ. Rev.*, vol. 14, no. 9, pp. 2748–2759, décembre 2010.
3. L. Gerber, M. Gassner, and F. Maréchal, "Systematic integration of LCA in process systems design: Application to combined fuel and electricity production from lignocellulosic biomass," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 35, no. 7, pp. 1265–1280, Jul. 2011.
4. A. Chapuis, J. Blin, P. Carré, and D. Lecomte, "Separation efficiency and energy consumption of oil expression using a screw-press: the case of Jatropha Curcas seeds," *Industrial Crops and Products*, vol. Under reviewing.
5. L. M. Khan and M. A. Hanna, "Expression of oil from oilseeds—A review," *J. Agr. Eng. Res.*, vol. 28, no. 6, pp. 495–503, Nov. 1983.
6. E. Ferchau, *Equipment for decentralised cold-pressing of oilseeds*, Folkecenter for renewable energy. The Netherlands, 2000.
7. P. Carré, "Étude d'avant projet pour l'implantation d'une unité de trituration de colza à froid.," CREOL, Private communication., 2010.
8. N. Gunaseelan, "Biomass estimates, characteristics, biochemical methane potential, kinetics and energy flow from Jatropha curcas on dry lands," *Biomass. Bioenerg.*, vol. 33, no. 4, pp. 589–596, 2009.
9. S. Prateek, R. Gopal, S. Mayur, and D. Shilpkar, "Biomethanation potential of Jatropha (Jatropha curcas) cake along with buffalo dung," *African Journal of Agricultural Research*, vol. 4, no. 10, pp. 991–995, 2009.
10. R. Moletta, *La méthanisation*. Lavoisier, 2011.
11. G. Santori, G. Di Nicola, M. Moglie, and F. Polonara, "A review analyzing the industrial biodiesel production practice starting from vegetable oil refining," *Applied Energy*, vol. 92, no. 0, pp. 109–132, Apr. 2012.
12. L. H. Wiedermann, "Degumming, refining and bleaching soybean oil," *J Am Oil Chem Soc*, vol. 58, no. 3, pp. 159–166, Mar. 1981.
13. G. Landucci, G. Pannocchia, L. Pelagagge, and C. Nicoletta, "Analysis and simulation of an industrial vegetable oil refining process," *Journal of Food Engineering*, vol. 116, no. 4, pp. 840–851, Jun. 2013.
14. D. S. . Kpoviessi, G. C. Accrombessi, C. Kossouh, M. M. Soumanou, and M. Moudachirou, "Propriétés physico-chimiques et composition de l'huile non conventionnelle de pourghère (Jatropha curcas) de différentes régions du Bénin," *Comptes Rendus Chimie*, vol. 7, no. 10–11, pp. 1007–1012, 2004.
15. P. K. Sahoo and L. M. Das, "Process optimization for biodiesel production from Jatropha, Karanja and Polanga oils," *Fuel*, vol. 88, no. 9, pp. 1588–1594, Sep. 2009.
16. K. S. Rao, P. P. Chakrabarti, B. V. S. K. Rao, and R. B. N. Prasad, "Phospholipid Composition of Jatropha curcas Seed Lipids," *Journal of the American Oil Chemists'*

- Society, vol. 86, pp. 197–200, Dec. 2008.
17. K.-T. Liu, S. Gao, T.-W. Chung, C. Huang, and Y.-S. Lin, “Effect of process conditions on the removal of phospholipids from *Jatropha curcas* oil during the degumming process,” *Chemical Engineering Research and Design*, Jan. 2012.
 18. H. Lu, Y. Liu, H. Zhou, Y. Yang, M. Chen, and B. Liang, “Production of biodiesel from *Jatropha curcas* L. oil,” *Computers & Chemical Engineering*, vol. 33, no. 5, pp. 1091–1096, May 2009.
 19. B. Matthäus, “Oil Technology,” in *Technological Innovations in Major World Oil Crops*, Volume 2, S. K. Gupta, Ed. New York, NY: Springer New York, 2012, pp. 23–92.
 20. M. Y. Koh and T. I. Mohd. Ghazi, “A review of biodiesel production from *Jatropha curcas* L. oil,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, no. 5, pp. 2240–2251, Jun. 2011.
 21. M. Gassner and F. Maréchal, “Methodology for the optimal thermo-economic, multi-objective design of thermochemical fuel production from biomass,” *Computers & Chemical Engineering*, vol. 33, no. 3, pp. 769–781, 2009.
 22. G. D. Ulrich and P. T. Vasudevan, *Chemical engineering process design and economics: a practical guide*. Process Pub., 2004.
 23. R. Turton, R. C. Bailie, W. Whiting, J. A. Shaeiwitz, and D. Bhattacharyya, *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*. Prentice Hall, 2012.

L'EXPÉRIENCE DE LA FILIÈRE « BIODIESEL EN FRANCE ET DANS L'UNION EUROPÉENNE » : ENSEIGNEMENTS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE FILIÈRES « HUILES VÉGÉTALES CARBURANT POUR L'AFRIQUE »

J-P JAMET

Ancien Directeur de l'Organisation Nationale Interprofessionnelle des Oléagineux (ONIDOL),
Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

Contact auteur : jean-paul.jamet@cnpa.asso.fr

Mots clés : Sécurité alimentaire, oléagineux, huile végétale, tourteaux, biocarburants diesels

I INTRODUCTION

Au milieu des années 1980, les producteurs d'oléagineux français se sont trouvés confrontés à une baisse du prix des huiles végétales. Parmi les usages non alimentaires des huiles, la piste des biocarburants diesel leur a paru être celle qui offrait des opportunités de débouchés illimités, surtout si, à la suite de la transestérification de l'huile, l'ester méthylique obtenu était ajouté au gazole distribué dans toutes les stations-services. Cette solution n'appelait aucune modification des moteurs. Compte tenu du fait que la France était importatrice nette de gas-oil et de tourteaux de soja, cette ambition a reçu le soutien des Pouvoirs Publics français et communautaire. Dans un premier temps, le biocarburant diesel a été dispensé d'acquitter le TIPP (Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers) et la culture du colza et du tournesol a pu être faite sur la jachère, dans le cadre d'une jachère dite « industrielle » qui permettait aux agriculteurs d'augmenter d'autant leur production. Cette politique est devenue communautaire et étendue à toute l'Union Européenne, à la suite de deux Directives en 2003, l'une visant à promouvoir l'utilisation des biocarburants (par le biais notamment d'objectifs d'incorporation obligatoires et progressifs) et l'autre permettant la mise en place d'une fiscalité adaptée pour ces produits. La production d'esters méthyliques a commencé en France en 1993, pour atteindre 2 100 000 T en 2010. L'augmentation de la production de graines de colza et de tournesol n'a pas suffi à satisfaire cette nouvelle demande (il aurait fallu produire l'équivalent de 4 MT de graines supplémentaires). En 2009, on estime à environ 1 MT d'huile provenant de graines nationales transformées en esters, ce qui correspond à un besoin de 2.300.000 T de graines d'origine nationale. Au total, les bénéfices pour l'économie française sont multiples : la France a importé 1 850.000 T de moins de gazole. Pour

les tourteaux, les importations ont baissé de 1,3 MT (soja et colza). Les éleveurs français ont disposé de 2 MT de tourteaux supplémentaires (accompagnées d'une modération de prix). Enfin, les producteurs de graines de colza et de tournesol ont bénéficié de prix soutenus et au niveau des rentrées fiscales, l'Etat est bénéficiaire à partir de 2012.

Au total, le développement des biocarburants est venu compléter et amplifier le développement des filières oléagineuses en Europe et en France. Cette conclusion pour l'expérience française peut être reprise pour les pays d'Afrique subsaharienne qui peuvent saisir l'enjeu du développement de filières oléagineuses qui permettent de satisfaire à une multitude de débouchés : alimentation humaine, alimentation animale, production d'énergie qui peut être décentralisée et favoriser la mécanisation d'une agriculture paysanne et son développement, grâce à la disponibilité d'une énergie, soit sous forme de carburant, voire pour alimenter une production électrique locale. Nous analyserons dans la deuxième partie de l'exposé, les conditions de la transposition de cette démarche pour les pays d'Afrique de l'Ouest, en différenciant la situation des pays côtiers où le potentiel du développement de l'huile de palme est important de celle des pays enclavés où l'offre d'huile ne suffit pas à satisfaire les besoins alimentaires.

II Le contexte historique du développement du Diester¹ en France.

Au milieu des années 1980, la production des oléagineux s'est fortement développée en Asie du Sud-Est (Malaisie, Indonésie), en Amérique du Sud (Brésil et Argentine) et dans l'Union Européenne (France, Allemagne). Cette progression de la production entraîne une chute des prix des huiles végétales. Devant cette situation, les producteurs français d'oléagineux se préoccupèrent de trouver de nouveaux débouchés aux huiles végétales et explorèrent les domaines possibles d'utilisation non alimentaire : détergents, peintures, encres, plastifiants, supports de produits phytosanitaires, lubrifiants et biocarburants.

Ce dernier débouché était très attractif et suscitait un intérêt particulier car il pouvait mobiliser des volumes importants et contribuer ainsi à désencombrer les marchés alimentaires des huiles. Grâce à l'expérience du dialogue interprofessionnel, la filière française des oléagineux a abordé d'emblée la question des biocarburants, selon une démarche de partenariat avec les industriels concernés : les pétroliers et les motoristes notamment. Une coopération très étroite et fructueuse s'est nouée avec l'Institut Français du Pétrole. Dès 1987, SOFIPROTEOL, l'établissement financier de la filière a d'ailleurs conclu un accord de licence avec l'IFP sur le procédé de transestérification ESTERFIP expérimenté en liaison avec l'AFME sur le site de la société ROBBE à Compiègne.

Le Groupe financier a très tôt accepté l'idée de transformation de l'huile en ester pour que ce biocarburant puisse répondre aux spécifications de plus en plus élaborées du cahier des charges des moteurs Diesel modernes ouvrant par là même, un immense marché (en incorporant le « Diester » à tous les carburants Diesel distribués en France). Les efforts de recherche ont porté non seulement sur l'optimisation du

1 Marque déposée par le Groupe SOFIPROTEOL pour les esters méthyliques d'huile végétale commercialisés par DIESTER Industrie

procédé de transestérification, mais aussi sur la valorisation du coproduit obtenu : la glycérine.

Parallèlement, il faut souligner les efforts de l'INRA et des semenciers au premier rang desquels la société SERASEM, pour produire au plus vite des colzas hybrides ayant des rendements élevés.

L'Autriche avait été à l'avant-garde du développement des biocarburants Diesel en Europe. Cela a été favorisé par une politique nationale d'encouragement à la diversification des cultures (plus d'oléagineux, moins de blé) accompagnée d'une défiscalisation du biodiesel. Une première unité de transestérification (5.000 T/an jour) a fonctionné à partir de 1991. Une autre usine importante a été mise en service, dès 1992. Enfin, cinq petites installations coopératives pour produire des esters d'huile de colza permettent de fournir les carburants, principalement destinés aux tracteurs.

Dans chacune de ces installations, une personne est affectée à la surveillance des automates qui gèrent à la fois le pressage des graines de colza et la transestérification de l'huile.

La France a suivi l'exemple autrichien. La société ROBBE à Compiègne a vu son unité pré-industrielle de 20.000 T/an entrer en production, au cours du mois de Septembre 1992. La société SIDOBRE SINNOVA à Boussens, a par ailleurs transestérifié 10.000 T d'huile. Ce sont donc 30.000 ha de colza-jachère qui ont été repartis en 1993.

La réforme de la PAC de 1992 accélère l'utilisation de biocarburants, en permettant l'utilisation d'usages non alimentaires pour les cultures couvrant des jachères correspondant à une partie des surfaces précédemment cultivées en céréales, oléagineux et protéagineux. Un système d'aides fiscales a été inscrit dans la Loi de Finances de 1992, en exonérant de TIPP (taxe intérieure sur les produits pétroliers), certaines variétés d'esters méthyliques ainsi que l'éthanol et ses dérivés.

Il faut attendre 2003 pour que cette politique devienne européenne avec la parution de deux nouvelles Directives : la Directive Promotion des Biocarburants (2003/30/CE) qui fixe un objectif indicatif d'incorporation de 5,75 % PCI (Pouvoir calorifique inférieur qui mesure la quantité d'énergie d'un carburant) pour 2012 et la Directive Taxation des Energies (2003/96/CE) qui permet aux Etats-membres d'appliquer une fiscalité réduite aux biocarburants incorporés dans les carburants.

En 2009, l'application de la Directive Energie renouvelable accélère le développement des filières de biocarburants. Cette Directive dite ENR (2009/28/CE) fait partie du « paquet énergie-climat » adopté par l'Union Européenne, afin de développer les énergies renouvelables dans le secteur des transports en 2020 et impose aux biocarburants, pour être considérés comme durables, de répondre à des critères de durabilité sur la protection de la biodiversité des terres riches en carbone, des tourbières et sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (de 35 % au moins). Ces Directives en France se traduisent pour la France par une obligation d'incorporation de 7 % dans le gas-oil et une fiscalité incitative (en cas de non incorporation, obligation de payer la taxe générale sur les activités polluantes). Chaque producteur français d'esters méthyliques dispose d'un quota de production agréé.

Le développement du biodiesel a été très progressif en France et en Europe. Il s'est donc fait à base d'ester méthylique d'huile végétale. La réaction de transestérification des huiles avec du méthanol est la plus simple et la plus usitée. (facilité d'utilisation du catalyseur : la soude caustique avec un chauffage modéré) La réaction avec l'éthanol est plus sophistiquée, tant au niveau des catalyseurs utilisés que des températures nécessaires. En présence de l'hydroxyde de sodium, une tonne d'huile avec 0,1 T de méthanol produit une tonne d'EMVH et 0,1 T de glycérine. La production mondiale de méthanol est de 36 MT. Elle s'effectue à partir de gaz naturel, en présence d'eau, grâce au reformage catalytique. Le biodiesel constitue le premier débouché du colza produit en France et conditionne en grande partie le marché des oléagineux. 75 % à 80 % du biodiesel utilisé en France provient de l'huile de colza. En 2012, la production mondiale de biodiesel marque le pas à 18,5 MT. Les principaux pays producteurs sont :

- les Etats-Unis : 16 %
- l'Allemagne : 14 %
- le Brésil : 12 %
- l'Argentine : 7 %
- la France : 7 %
- l'Indonésie : 6 %

Source : USDA Foreign Agriculture Service

L'Union Européenne produit 43 % du biodiesel mondial. La production du biodiesel en France a notablement augmenté dès 2006, année à partir de laquelle commencent à entrer en production les unités construites en réponse au Plan Biocarburant, lui-même conséquence des deux Directives prises par l'Union Européenne en 2003 : l'une visait à promouvoir l'utilisation des biocarburants, l'autre permettant la mise en place d'une fiscalité adoptée par ces produits.

Production française de biodiesel :

- 1993 : 8.000 T
- 1995 : 154.000 T
- 2000 : 300.000 T
- 2015 : 429.000 T
- 2010 : 2.100.000 T
- 2012 : 2.200.000 T

Source SOES Ministère de l'Environnement et Développement Durable

L'augmentation de la production de graines de colza et de tournesol pour satisfaire cette demande d'huile supplémentaire aurait dû être de 4 MT de graines supplémentaires. En fait, la production de graines de colza et de tournesol françaises s'élevait en 1994 à

3 MT et a atteint 6.400.000 T en 2010, soit une progression de 2.600.000 T entièrement liée à l'augmentation de l'utilisation industrielle des huiles végétales. Selon l'ADEME, en 2009, ce sont 2.300.000 T de graines d'origine nationale qui ont permis de produire 1 MT d'huile transformée en esters. Au total, les bénéfices pour l'économie française ont été multiples :

- un bénéfice environnemental. Le Cabinet Pricewaterhouse Coopers-Ecobilan, a réalisé une étude, à la demande de l'ADEME sur le bilan gaz à effet de serre du biodiesel (EMUH) comparé au gazole. Comparativement au gazole, les émissions de gaz à effet de serre sont réduites de 70 %. Cet impact sur l'effet de serre est corrélé avec un bilan énergétique positif : 3 T d'équivalent pétrole sont restituées pour chaque tep consommée pour produire du biodiesel.

Sur la période 1996-1997, 2007-2008, l'utilisation d'aliments pour le bétail d'origine végétale augmente en France de 2 %.

Il y a plusieurs raisons à ces évolutions :

- d'une part, l'augmentation des céréales et des fourrages pluri-annuels ainsi que celle des tourteaux et d'autre part, la baisse des légumineuses.
- l'utilisation des légumineuses diminue d'1 MT (71 %), alors que celle des tourteaux augmente de 1,4 MT (+ 26 %).

Ces évolutions sont confirmées sur l'ensemble de la période 1993-1994, 2009-2010 par les bilans d'approvisionnement des tourteaux et des protéagineux. L'utilisation des tourteaux pour l'alimentation animale progresse de 1,7 MT tandis que celle des protéagineux diminue de 1,9 MT. Au sein des tourteaux, la totalité de la progression concerne les tourteaux de colza (+ 1,7 MT dont 1,3 MT entre 2003-2004 et 2009-2010). A l'inverse, l'utilisation des tourteaux de soja depuis 2001-2003 s'inscrit sur une tendance légèrement décroissante.

La production française de tourteaux a augmenté régulièrement de 1993 à 2007, puis très fortement entre 2007 et 2009. Au total, la production progresse de 2 MT. Ce sont les tourteaux de colza (+ 1,8 MT dont 1,45 MT sur graines nationales et 350.000 T sur graines importées) qui expliquent cette croissance. Sur cette période, la production de tourteaux de tournesol et de soja ne progresse au total que de 150.000 T. Les utilisations d'huile pour la production française de biodiesel se sont traduites en 2009 par la production en France de 1,4 MT de tourteaux sur graines nationales (colza et tournesol) de 370.000 T de tourteaux de colza sur graines importées et de 1,3 MT de tourteaux dans les pays exportateurs d'huile de soja et de colza.

Ainsi pour l'alimentation animale en France, le constat empirique est celui de la concomitance des utilisations de tourteaux issus de la trituration des huiles utilisées pour la production de biodiesel et la baisse des utilisations de protéagineux et celles de tourteaux de soja importés

Du point de vue de la balance commerciale française, l'économie réalisée grâce à la filière biodiesel s'élève à 1.500.000 Milliards d'€ dont 1 milliard d'€ correspondant à la

non importation de 1.750.000 T de gazole et 500 M€ correspondant à une baisse de 1,3 MT de tourteaux de colza et de soja.

Enfin, les producteurs de graines de colza et de tournesol ont bénéficié de prix soutenus. L'écart de prix entre les graines de colza et de tournesol s'est réduit, ce qui traduit en longue période, une meilleure valorisation de l'huile de colza.

En termes d'emploi, le développement de la filière biodiesel et de ses co-produits ont généré plus de 12.000 emplois directs en 2010 (soit 7.000 emplois supplémentaires, en comparaison avec la filière Diesel

Au total, le développement des biocarburants diesel est venu compléter et amplifier le développement des filières oléagineuses en Europe et particulièrement en France et en Allemagne.

III La situation des productions oléagineuses en Afrique de l'Ouest : une opportunité

Comme le rappellent dans leur Guide technique sur l'utilisation énergétique des huiles végétales, Blin et Girard, les régimes alimentaires de l'Afrique de l'Ouest utilisent l'huile de palme rouge, l'huile d'arachide, l'huile de coton et l'huile de coco. Pour les populations rurales isolées, la consommation de beurre de karité n'est pas négligeable. Le fruit du Karité est souvent consommé comme fruit frais pour sa pulpe sucrée et comestible ; mais il permet aussi de fabriquer le beurre de karité. Malgré l'expansion démographique, la consommation d'huile végétale (toutes huiles confondues) est relativement stable autour de 12/13 kg par personne.

3.1 Des productions oléagineuses à la traîne, alors que la demande explose.

La production oléagineuse en Afrique de l'Ouest a été multipliée par 2,4 entre 1982 et 2007, selon la FAO, dépassant de peu, le doublement de la population dans le même temps. Or, une part importante de cette production d'huile de palme et d'arachide est vouée à l'exportation. Néanmoins, le déficit de l'Afrique de l'Ouest et du Centre en corps gras devient très important. Oil World dans son rapport annuel de 2012 l'évalue à 1.700.000 T pour 2013 (1.300.000 T pour l'Afrique de l'Ouest et 400.000 T pour l'Afrique Centrale).

La production oléagineuse de la région est assurée essentiellement par l'huile de palme provenant des pays côtiers dont la production a réellement décollé au début des années 80 (plantation de nouveaux hybrides et marquage du foncier par les plantations de palmiers). Cependant, cette hausse reste faible (production multipliée par 1,5 en 20 ans).

La production d'arachide, après avoir subi une baisse notable entre 1980 et 1990, assure désormais 25 % de la production oléagineuse de la zone.

La production de graines de coton devient significative dans la zone des savanes

depuis la fin des années 80. On observe aussi l'émergence du soja ou encore du sésame.

3.2 Développer les productions oléagineuses et la multiplicité de leurs usages : un enjeu du développement de l'agriculture familiale.

La production alimentaire africaine, à la suite de la libéralisation des politiques agricoles, s'est trouvée dans une dépendance accrue vis-à-vis des marchés mondiaux (agricoles, énergétiques entre autres). Il faut développer la production oléagineuse et dépasser l'apparente compétition entre usages alimentaires et production de biocarburants. Il convient de distinguer les zones côtières où le potentiel de développement de l'huile de palme est important des zones de savane où la dynamique de développement est essentiellement basée sur la production de coton et d'arachide. Pour l'huile de palme, il existe de nombreux projets de développement avec des capitaux provenant, soit des sociétés déjà implantées dans la région, soit en présence de nouveaux investisseurs, qu'il s'agisse de fonds d'investissement ou de sociétés multinationales, comme Claude Jeannot du CIRAD en fait le bilan dans le Demeter 2014. Pour les projets de plantation à grande échelle de palmiers à huile, le risque est qu'ils s'effectuent aux dépens de l'agriculture vivrière et familiale.

Aussi, il importe de savoir hiérarchiser les ambitions :

- la première est de conforter la sécurité alimentaire,
- la seconde est de renforcer la sécurité énergétique et l'autonomie des systèmes d'exploitation,
- la suivante est de le concevoir dans un cadre de développement territorial.
- et de participer à l'amélioration des revenus locaux.

Dans les zones de savane, l'impératif est à la diversification des cultures qui contribuera à la sécurisation du revenu des exploitations familiales. Plus qu'un risque pour la sécurité alimentaire, le développement des bioénergies peut participer à l'accroissement de la productivité de l'agriculture et améliorer la sécurité même de la production alimentaire quand une partie de cette production est dédiée à l'accroissement de la productivité par l'irrigation (pompage de l'eau) ou à la conservation des produits (grâce au séchage ou à leur transformation). Comme le souligne M.Benoit-Cattin et N. Bricas, dans un article intitulé « L'Afrique : quelles stratégies de sécurité alimentaire ? Enjeux et Prospective », dans un cahier du Demeter de Février 2012, « les biocarburants peuvent aussi permettre l'indispensable intensification agricole libératrice de terres et garante du développement économique des populations rurales et des environs du Sud ».

La valorisation des biocarburants permet de lutter contre l'effet de serre et permet de limiter la dépendance des régions isolées ou n'ayant pas de réserves pétrolières. Le développement de l'agriculture pour les pays enclavés, éloignés des ports est handicapée par un renchérissement des coûts de transport, que ce soit pour l'énergie, les engrais ou les compléments alimentaires riches en protéines, notamment les tourteaux de soja. L'expérience africaine en matière de biocarburants diesel est très jeune, ce qui

en fait une filière relativement vulnérable, mais les potentialités sont importantes, du fait notamment de la richesse et de la diversité des plantes oléagineuses susceptibles d'être cultivées dans cette zone tropicale :

- le palmier à huile
- l'arachide
- le coton
- la noix de coco
- le soja
- le tournesol
- le sésame
- le lin
- le karité
- le jatropha
- le balanites

Non seulement, ces plantes sont riches en huile, certaines produisent également des fibres. Mais après pressage, (sauf pour les produits toxiques comme le jatropha et le ricin) elles fournissent un coproduit : les tourteaux souvent riches en protéines qui permettent d'améliorer l'équilibre des rations pour les animaux, en particulier pour l'élevage des volailles et des ruminants laitiers (vaches et chèvres, notamment) et de participer à l'amélioration des revenus locaux.

Globalement, on retiendra que, d'après FAO STAT pour la zone, la production de graines oléagineuses est passée de 14,50 MT en 1990 pour atteindre 24,45 MT en 2005, se répartissant de la manière suivante :

- Palmiste : 59 %
- Arachide : 24 %
- Coton : 5%
- Coconut : 4 %
- Soja : 2 %
- Sésame : 1 %
- Diverses graines oléagineuses : 5 %

La consommation a dépassé la croissance de l'offre, comme en témoigne l'augmentation des importations d'huile végétale et de matières grasses pour la CEDEAO entre 2005 et 2010. En 2005, les importations s'élevaient à 0,3 milliards US Dollars en 2010, tandis qu'elles se chiffraient à 1,2 milliards us Dollars, en 2010. Le développement de la production d'oléagineux est donc une impérative nécessité, sa dynamique peut être amplifiée par un élargissement des débouchés, notamment vers les agro-carburants, surtout si ce développement participe à une diversification des cultures pour les exploitations familiales de la zone.

Ainsi, parmi les biocarburants, ceux produits à partir d'huile végétale issue de plantes oléagineuses, peuvent être utilisés dans des moteurs diesel (les moins sophistiqués ont une robustesse qui la prédisposent à l'alimentation par des huiles directement issues du pressage des graines) ou comme combustibles pour alimenter des chaudières capables de générer du courant électrique

3.3 Huiles végétales-carburants ou ester carburants.

L'intérêt d'utiliser des huiles végétales comme carburant accompagne l'histoire du développement des moteurs diesel. On peut citer à ce propos, une communication de Rudolf Diesel lui-même en 1911 :

« On ignore généralement que l'on peut employer dans les moteurs diesel, les huiles animales ou végétales. En 1900, la société OTTO avait exposé à l'Exposition Universelle de Paris, un petit moteur qui, à la demande du Gouvernement français, marchait à l'huile d'arachide et fonctionnait tellement bien que très peu de gens s'apercevaient du changement. Le moteur était construit pour employer les huiles ordinaires et fonctionnait à l'huile végétale sans aucune modification ».

Pour l'utilisation directe des huiles en combustion, les indices de cetane varient entre 30 et 40, selon le caractère plus ou moins saturé et la longueur des chaînes d'acides gras. Ces valeurs peuvent être suffisantes sur des moteurs de conception rustique à pré-chambre. Dans les années 1950, on utilisait des moteurs qui tournaient moins vite que de nos jours. Il fallait roder les soupapes tous les 30.000 kms. Ces caractéristiques permettaient l'utilisation directe de l'huile. On utilise sans inconvénient les huiles végétales filtrées sur de petits moteurs diesel multiples (à pré-chambre). C'est le plus souvent, dans le cas de travaux agricoles en zone tropicale (motoculture, irrigation, fourniture d'énergie).

L'huile végétale peut être utilisée comme carburant moyennant certaines précautions et sous réserve de modifications dont la plus importante vise à pré-réchauffer le carburant (pour diminuer sa viscosité) et la chambre de combustion (pour meilleure explosion) avant ingestion dans le moteur.

La préparation de l'huile peut résulter d'un pressage simple de graines dans une presse mono-vis qui est une machine peu complexe. L'huile est décantée, puis filtrée et peut ainsi être directement utilisée comme carburant. L'éco-bilan de l'huile est intéressant, mais l'utilisation de l'huile pose quelques problèmes :

- L'huile végétale, du fait de sa viscosité importante, aura tendance à créer des dépôts dans le moteur.
- L'huile végétale peut s'oxyder ; elle sèche et peut générer des problèmes dans les réservoirs.
- Le point d'auto-inflammation est plus élevé (de l'ordre de 450° C est d'une centaine de degrés plus élevée que dans les esters méthyliques). Cela peut causer des problèmes au démarrage. Pour pallier cet inconvénient, il faut préchauffer l'huile, grâce à des réservoirs ou s'équiper d'injecteurs chauffants et démarrer le moteur avec du gas-oil (ce que demandent deux réservoirs séparées) et de filtres performants.
- Dans le cas de moteurs de conception plus récents et tournant plus vite, il est conseillé l'installation d'une pompe de pré-gavage, afin d'optimiser le rendement de la pompe à injection, car l'huile est plus visqueuse que le gas-oil. Il faut par ailleurs augmenter le tirage des injecteurs (et passer de 130 à 180 bars). Il est nécessaire de prolonger la durée de l'injection, ce qui revient à pulvériser l'huile de manière plus fine.

III Quels enseignements des expériences biocarburants oléagineux de la France et EU pour le développement de filières « Huiles végétales Carburant pour l'Afrique »

Dans l'Union Européenne, les premières démarches pour produire des biocarburants pour les moteurs diesel sont nées en Autriche et en France, à l'initiative des producteurs d'oléagineux, afin de diversifier les débouchés au moment où les cours des huiles s'effondraient du fait de l'arrivée sur le marché mondial de l'huile de palme malaysienne. L'intervention des Pouvoirs Publics a favorisé l'incorporation des esters éthyliques dans tous les carburants diesel de l'Union Européenne, grâce à des mesures fiscales et à des mesures obligatoires d'incorporation de ces esters éthyliques. La démarche que nous suggérons pour l'Afrique de l'Ouest est différente. Elle doit viser à inciter à la diversification des cultures et à la production, de préférence dans un cadre local d'huiles végétales pour alimenter directement des moteurs susceptibles d'actionner des pompes d'irrigation ou des petits engins agricoles, voire des générateurs de courant dans des endroits où l'électrification est difficile. L'ambition est double : d'une part, utiliser des produits des exploitations familiales pour produire de l'énergie et favoriser l'intensification de l'agriculture et par ailleurs, du fait de la diversification des cultures en faveur de la production oléagineuse, contribuer à une répartition des risques, face à la volatilité des marchés et assurer une meilleure sécurité des revenus à ces exploitations.

CONCLUSION

Le développement des cultures oléagineuses en Afrique diffère selon la situation géographique : zone tropicale humide favorisant la culture du palmier à huile qui s'appuie souvent sur un modèle mobilisant de grandes surfaces, mais qui est très productif à l'hectare, quant au rendement en huile et qui peut donc avoir un rôle alimentaire et non alimentaire, y compris pour compléter la production des zones de savane.

Quant aux zones de savanes, souvent enclavées, la diversification des cultures oléagineuses et de leurs débouchés, y compris vers l'énergie, peut être une véritable opportunité de développement de l'agriculture familiale.

La production d'huiles végétales carburants peut permettre l'indispensable intensification agricole, libératrice de terres, garante du développement économique des populations rurales ; elle peut être utilisée à des fins de mécanisation, de pompage, d'irrigation, ou encore de séchage ou de décorticage, sans parler de l'électrification.

L'élargissement des utilisations ne peut que permettre une meilleure rémunération de ces productions. Il ne faut pas non plus oublier l'intérêt des co-produits obtenus à la suite du pressage des graines, les tourteaux permettant l'amélioration de l'alimentation des animaux.

Le lien fort existant entre prix agricoles et prix de l'énergie peut constituer une garantie de durabilité, de la viabilité, de la diversification vers les agro-carburants, à condition de ne pas leur appliquer la même fiscalité qu'aux produits pétroliers.

Références Bibliographiques

1. Jamet J-P., *Le Diester. Les enjeux du Diesel vert*. 374 pages. Les Editions de l'Environnement 1993, Paris.
2. Jamet J-P., Daniel Thomas et Ghislain Gosse. Rapport au Conseil Scientifique « *Carbone renouvelable et bio-industrie* ». 36 pages. INRA Juillet 2006.
3. Jamet J-P., *Productions alimentaires et productions non alimentaires : compétition ou complémentarité ?* Revue OCL (Oléagineux, corps gras, lipides). Volume 15 Numéro 2, Mars-Avril 2008.
4. Jamet J-P, *Agro-carburants, sécurité alimentaire et déforestation*. Revue « Industries Alimentaires et Agricoles » Novembre 2011.
5. Ballerini D, *Les biocarburants*, Editions TECHNIP, 2006.. Les biocarburants 2006. 342 pages.
6. Colonna P. *La chimie verte*, Editions TEC et DOC, Lavoisier 2006. 534 pages.
7. Gagnepain B., *Analyse rétrospective des interactions du développement des biocarburants en France avec l'évolution des marchés français et mondiaux (productions agricoles, produits transformés et co-produits) et les changements d'affectation des sols*, ADEME, Février 2012.
8. Blin J, Girard P. Guide technique pour une utilisation énergétique des huiles végétales ,CEDEAO.
9. PROLEA. Statistiques des oléagineux et protéagineux. 2011-2012.

10. SOFIPROTEOL. Rapport du développement durable. 2012.
11. ONIDOL. Rapport d'activité 2012.
12. Benoit-Cattin M., Bricas N., Cahier DEMETER 2012 : *L'Afrique : quelles stratégies de sécurité alimentaire ? Enjeux et prospective.*
13. Jeannot C., DEMETER 2014 : *Les filières oléagineuses en Afrique de l'Ouest et du Centre.*

BIOÉNERGIE ET LA FILIÈRE PALMIER À HUILE DANS LE BASSIN DU CONGO : OPPORTUNITÉS ET RISQUES

L. MIARO III

Fonds Mondial pour la Nature (WWF)
Bureau Régional Programme Afrique Centrale (CARPO)
BP 6776 Yaoundé, Cameroun

Contact email auteur: lmiaro@wwfcarpo.org

Mots clés : Palmier à huile, développement, durabilité, sous-produits, bioénergie

I Introduction

Dans l'industrie globale des corps gras et de l'huile végétale, l'huile de palme vient en tête dans les domaines de la production et du commerce. Extrait à partir des fruits du palmier à huile (*Elaeis guineensis*), l'huile de palme est utilisée dans l'alimentation humaine et animale, l'industrie ainsi que dans la production de bioénergie/biocarburant.

En plus de la production d'huile végétale pour l'alimentation et l'industrie cosmétique, l'industrie de l'huile de palme est une source cruciale d'énergie tant pour les transports que pour la production l'électricité. Et cette industrie ne s'appuie pas uniquement sur l'huile de palme pour produire de l'électricité mais plutôt sur de nombreux sous-produits.

En Afrique centrale, les résultats de l'étude sur la filière palmier à huile, initiée par le Fonds Mondial pour la Nature (WWF) dans 5 pays du bassin du Congo (Cameroun, Gabon, République Centrafricaine, République du Congo et République Démocratique du Congo) montrent que le secteur du palmier à huile connaît une croissance exponentielle ces dernières décennies, prenant ainsi un rôle majeur dans le développement local et la croissance économique des pays. Cependant, il est de plus en plus admis que l'expansion agricole se fait aux dépens de services écologiques. Considérant cette menace potentielle, Il est préférable d'augmenter le rendement et l'intensité des cultures afin de multiplier les rendements en régimes par rapport aux valeurs actuelles ainsi que de satisfaire les demandes nationales en huile alimentaire tout en augmentant la valeur ajoutée, telle que la production de bioénergie à partir de la transformation des sous-produits et la réduction de l'empreinte carbone.



Photo 1 : Fruit *Elaeis guineensis* (source : Levang & al., 2012)

II Le palmier à huile : huile de palme et sous-produits

L'Indonésie et la Malaisie dominent la production de l'huile de palme dans le monde, avec plus de 86% de la production globale. La production d'huile de palme brute des dix principaux pays producteurs d'Afrique est estimée à 1,9 million de tonnes (index mundi, 2012), soit environ 4% de la production mondiale. En outre, la consommation de l'huile de palme a atteint le tiers du total mondial des huiles végétales, ce qui la place en première position avec plus de 50 millions de tonnes produites en 2012. Le rendement moyen annuel de 4 tonnes d'huile de palme par hectare (Hoyle & Levang, 2012) est sept à dix fois supérieur aux autres plantes oléagineuses (colza, soja, tournesol, arachide, coton etc.)

Les plantations de palmier à huile couvrent plus de 14 millions d'hectare, principalement en Asie du Sud-Est (Malaisie, Indonésie, Thaïlande principalement) où se concentrent la plupart des palmeraies industrielles. En Afrique centrale (Bassin du Congo), il y a à peine 80 000 ha de plantations industrielles en exploitation.

A côté des usages alimentaires de l'huile de palme, l'industrie de l'huile de palme dans le bassin du Congo est une source cruciale d'énergie, essentiellement pour la production d'électricité. Cette industrie ne s'appuie pas uniquement sur l'huile de palme pour produire de l'électricité mais plutôt sur de nombreux sous-produits.



Photo 2 : Récolte noix de palme (Levang & al. , 2012)

2.1 Les effluents liquides des huileries

Les effluents liquides des huileries de palme (POME), dont 60 millions de tonnes sont produites chaque année dans le monde, sont à la fois des déchets et une source significative d'énergie. Par le biais de la méthanisation au cours de laquelle les POME sont maintenus dans des installations fermées, les émissions de méthane produites sont captées et brûlées dans des générateurs à gaz pour produire de l'électricité. L'usine toute entière se voit ainsi fournir une source d'énergie constante et fiable. C'est aussi le cas pour les communautés avoisinantes de l'usine. En tant que secteur clé de la Malaisie, 500 installations destinées à la captation du méthane vont être construites avant 2020 (Kettha, 2009) avec un objectif de production électrique de 410 MW, contribuant ainsi au réseau électrique national et four-

nissant également de l'énergie au processus de transformation de l'huile de palme. Cette technologie est en cours d'expérimentation au Gabon par la compagnie SIAT qui exploite actuellement 6000 ha de palmeraies dans ce pays



Photo 3 : Unité de biométhanisation
(Source : SIAT Gabon, 2012)



Photo 4 : Générateur à gaz
(Source : Tawau, Malaisie, 2012)

2.2 La biomasse

Par le biais de la granulation des rafles du palmier à huile (EFB), des feuilles de palmier (OPF), des troncs (OPT), des coques des amandes (PKS) et de la sciure ou fibre (MF), la biomasse du palmier est en mesure de générer d'avantage d'énergie et de produire moins d'émission. La biomasse est utilisée par les opérateurs des huileries de palme (en remplacement du charbon) pour alimenter les chaudières. Elle offre une énorme opportunité d'amélioration de la durabilité via la production énergétique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Dans sa « Stratégie Nationale de Production de Biomasse », la Malaisie envisage une production de plus de 100 millions de tonnes de biomasse en 2020 par l'industrie de l'huile de palme (Katthe, 2009) avec un objectif de 800 MW. La maîtrise de la valeur de la biomasse permettra aux producteurs ainsi qu'aux communautés riveraines de profiter encore plus des avantages de cette biomasse.

Au niveau des exploitations industrielles en Afrique centrale, seuls le EFB et les PKS sont utilisés comme combustibles pour alimenter les chaudières. Dans les exploitations artisanales, les EFB et les MF sont utilisés pour la cuisson des noix de palme.



Photo 5 : Rafles (EFB)



Photo 6 : Tourteau de palmiste



Photo 7 : Fibres combustibles

(Sources : Lyabano, 2013)

III Huile de palme, bioénergie et sécurité alimentaire

La situation alimentaire et nutritionnelle s'aggrave à l'échelle planétaire, avec un milliard d'êtres humains qui se trouvent en état de sous-alimentation chronique, soit plus du double des Objectifs du millénaire pour le Développement (<http://www.un.org/fr/millenniumgoals/>). La communauté internationale doit donc relever un triple défi. Il s'agit de maintenir à la fois un niveau de sécurité alimentaire compatible avec les contraintes du changement climatique, tout en exploitant les ressources bioénergétiques de manière durable, dans un contexte de raréfaction des combustibles fossiles. Il est à constater ces dernières décennies, que les investisseurs financiers d'un grand nombre de pays émergents (Chine, Inde, Etats du Golfe...) spéculent dorénavant sur les cours des denrées alimentaires, notamment l'huile de palme avec des répercussions considérables sur les populations les plus démunies, pour qui la nourriture reste le premier poste de dépense. Les grandes firmes de ces pays étendent leurs surfaces agricoles en acquérant ou en louant des terres cultivables dans les pays les moins avancés comme ceux du bassin du Congo, à des fins de production et d'exportation de l'huile de palme. Cette pratique s'effectue souvent au détriment des surfaces forestières et de la culture vivrière locale avec des risques négatifs potentiels sur la sécurité alimentaire et les emprunts écologiques au niveau des pays (Deiniger & al., 2011).

La terre est un facteur clé dans la production des ressources bioénergétique et la disponibilité des terres présentant des conditions agroclimatiques (zone de forêts tropicales humides) favorable au développement du palmier à huile varient au niveau inter et intra régional et national dans le bassin du Congo. L'établissement des plantations énergétique à grande échelles pourrait limiter les superficies disponibles pour la production vivrière, ce qui suscite des préoccupations pour la sécurité alimentaire pour les pays peuplés et disposant de peu de ressource en terres arables.

En outre, les pays du bassin du Congo étant tous actuellement déficitaires en huile de palme pour l'alimentation domestique, les priorités nationales et régionales à court et moyen terme visent le développement durable de la filière palmier à huile en vue de la satisfaction des besoins nationaux en huile végétale alimentaire. L'accent sera mis sur l'amélioration du matériel végétal et le renforcement des capacités des petits producteurs en vue de l'augmentation des rendements des exploitations en régimes de palme et en productivité d'huile.

La valorisation des déchets (biomasse et effluents) issue des plantations et des usines ainsi que l'usage des technologies efficaces de conversion en énergie sont des voies indiquées pour fournir des quantités notables de bioénergie pour le fonctionnement des usines et l'alimentation en électricité des communautés riveraines.

Tableau 1: Productions et demandes nationales moyennes en huile de palme alimentaire (Source: WWF CARPO, 2013)

	Cameroun	Congo	Gabon	RCA	RDC	TOTAL
Production moyenne nationale (T/an)	190 000	75	6 400	4 500	185 000	443 575
Demande moyenne nationale (T/an)	223 000	40 500	15 000	84 500	375 000	738 000

IV Conclusion

Il est de plus en plus évident que la bioénergie/biocarburant offre une gamme d'avantages par rapport aux autres sources d'énergie (fossile, solaire et éolien) pour les investisseurs. En contribuant au renforcement de la sécurité énergétique, la bioénergie produite à partir de la transformation des sous-produits du palmier à huile (biomasse et effluents) peut jouer un rôle stratégique, notamment dans les pays producteurs à travers l'électrification rurale, la réduction de la pauvreté et la promotion du développement économique local.

Etant donné la gamme des interactions et les risques potentiels des investissements sur les écosystèmes forestiers des pays du bassin du Congo, la production des bioénergie/biocarburants doivent être évalués au cas par cas ou pays par pays pour garantir la disponibilité des terres arables nécessaires à la production vivrière et éviter la perte des zones à haute valeur de conservation (HVC). Il est donc impératif d'intégrer la planification et la surveillance des terres dans les stratégies bioénergétiques nationales et régionales.

Références bibliographiques

1. Feintrenie, L. Oil palm in Cameroon: risks and opportunities. Nature et Faune. 2012b.
2. Levang, P. David, H. Le développement du palmier à huile au Cameroun: entre accaparements massifs, agro-industries, élites et petits planteurs. Journée Palmier 2012. CIRAD, IRD, CIFOR.
3. Iyabano AH. Analyse socioéconomique de la filière artisanale d'huile de palme au Cameroun. 2013.
4. Kettha. Malaysia National Renewable Energy Policy & Action Plan. 2009.
5. FAO, PAM. L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde. crises économiques-répercussions et enseignements [<http://www.fao.org/docrep/>] Rapport FAO, Rome, 2009, 66 p.
6. Deininger, K. Byerlee, D. Lindsay, J. Norton, H. Selod, H. Strickler, M. Rising global interest in farmland: can it yield sustainable and equitable benefit. Washington, DC. World Bank, 2011.
7. Hubert, O. Contribution de la production d'huile de palme au développement durable. Problématique générale, controverses, oléagineux, corps gras, lipides. 2010. Vol.17, N° 6, p. 362-367.

ETHYLIC BIODIESEL PRODUCTION: EVALUATION OF TWO-STAGE ETHANOLYSIS PERFORMANCES.

S. NITIEMA YEFANOVA ⁽¹⁾, L. CONIGLIO ⁽²⁾, R. SCHNEIDER ⁽²⁾, R. NEBIE ⁽³⁾,
Y. BONZI-COULIBALY ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université de Ouagadougou, Laboratoire de Chimie Analytique Environnementale et Bioorganique
03 BP 7021 Ouagadougou 03 Burkina Faso
E-mail. : snitiema@gmail.com et bonziy@univ-ouaga.bf

⁽²⁾ Université de Lorraine - Ecole Nationale Supérieure des Industries Chimiques de Nancy
Laboratoire Réactions et Génie des Procédés UPR CNRS 3349
1, rue Grandville BP 20451, 54001 Nancy Cedex, France
E-mail.: Lucie.coniglio@univ-lorraine.fr et raphael.schneider@univ-lorraine.fr

⁽³⁾ Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies, Département Substances Naturelles,
Centre National de Recherche Scientifique et Technologique
03 BP 7047 Ouagadougou 03, Burkina Faso
E-mail.: neroch@hotmail.com

Keywords: non conventional vegetable oils, ethanol, glycerol, two-stage ethanolysis

I Introduction

A high cost of biodiesel is one of the major obstacles limiting the development of this sector in West Africa. The use of edible vegetable oils (palm, cotton, peanut, and soybean) as raw materials and imported methanol as a base reagent in the manufacturing process imposes a biodiesel prices uncompetitive facing to petroleum diesel [1, 2]. The use of non-conventional vegetable oils (neem, jatropha, balanites or castor oils) and replacing methanol with ethanol produced from biomass (bagasse, agricultural residues) may contribute to maintain the economic viability of biodiesel production in this region [3-8]. Glycerol as a side product gained from biodiesel production can also be used as raw material in the pharmaceutical, cosmetic, and chemical industries process [9]. This byproduct can also be re-used in the biodiesel production process [10].

There are several constraints in the ethylic biodiesel production such as the purity of ethanol, the formation of stable emulsions in the reaction medium, a difficult separation of ethyl esters due to better solubility in ethanol of the ester phase and a higher temperature of evaporation of ethanol excess [1, 11]. Consequently, the yield of ethylic biodiesel is often lower than that of methylic biodiesel. To improve the balance of the ethanolysis of vegetable oils, the reaction may be conducted in two successive stages by glycerol removing and a further addition of ethanol and catalyst in the second step. This procedure achieves a performance of 96.4 wt% ethyl esters [1].

In this work, we study the ethanolysis of three non-conventional oils that are *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, and *Jatropha curcas*. Two-stage process with an intermediate separation of glycerol after first stage of ethanolysis was used. The procedure was simplified and improved in terms of duration of the reaction, as well as

amount of ethanol and catalyst. The base-catalysed ethanolysis was performed with *Azadirachta indica* and *Balanites aegyptiaca* oils, while the acid catalyst was used to *Jatropha curcas* oil having a high content of free fatty acids. Ethanolysis performance in two stages were evaluated using anhydrous ethanol (basic catalysis), hydrated ethanol (95 wt%) and bioethanol containing water and oxygen-containing compounds (acid catalysis).

II Materials and methods

2.1 Materials

The non conventional oils of *Azadirachta indica* (AI), *Balanites aegyptiaca* (BA), and *Jatropha curcas* (JC) were obtained from the seed kernels collected in arid and semi-arid regions of Burkina Faso. Basing on previous gas chromatography analysis [12] of these oils, average molecular weights of *Azadirachta indica* (829 g/mol), *Balanites aegyptiaca* (857 g/mol), and *Jatropha curcas* (849 g/mol) oils were calculated from the oil molar compositions in terms of fatty acids. These oils had the acidity index (EN 14104) of 4.54; 0.46; and 25.36 mg KOH/g corresponding to FFA level of 2.29; 0.23; and 12.74%. Water content (Karl-Fischer titration) of the oils was 0.07; 0.06; and 0.08 wt% respectively.

Anhydrous ethanol, potassium hydroxide, and sulphuric acid were used for biodiesel production. Citric acid and sodium bicarbonate were used in biodiesel purification step. Ethyl oleate, 1-decanol, and *n*-heptane were used for gas chromatography determination of ethyl ester content in biodiesel. All chemicals were purchased from Sigma Aldrich or Fluka and were of analytical grade. Bioethanol (91.5 wt% and 98.8 wt%) was provided by UNGDA in France. The alcoholic solution containing water was prepared synthetically by mixing 95 wt% of anhydrous ethanol as well as of bioethanol (98.8 wt%) with 5 wt% of distilled water.

2.2 Methods

The transesterification process was conducted in a 250 mL three-necked flask which was equipped with a magnetic stirrer, a sampling outlet and a thermometer as well as a reflux condenser. This reactor was immersed in a silicon oil bath to maintain the desired reaction temperature. Initially, the reactor was preheated to 75°C, to eliminate moisture, and then 60 g of non conventional vegetable oil (NCVO) was added and heated at the desired temperature of 35°C or 78°C. In case of base-catalyzed ethanolysis, the catalyst (KOH) was dissolved in the anhydrous ethanol in the amounts established for each experiment (i.e. 1.1 wt% or 1.5 wt% of KOH based on the initial weight of BA and AI oils respectively, with an additional amount of KOH for the FFA neutralization calculated on the basis of the oil acidity index). The ethanol-catalyst mixture was preheated at 35°C and added to the reactor. At the same time, the stirring system (250 rpm) was connected, taking this moment as time zero of the reaction. In case of acid-catalyzed ethanolysis, the hydrated ethanol or bioethanol were preheated separately at 75°C, and then added to the reactor. The temperature of the reaction mixture was adjusted to 78°C under stirring (250 rpm), after what the amount of H₂SO₄

established for the experiment was rapidly introduced via a syringe, marking the start of the ethanolysis reaction. The experimental conditions were resumed in Table 1.

Table 1. Experimental conditions of two-stage ethanolysis process

<i>Procedure</i>	<i>Raw materials</i>	<i>Alcoholic feed-stock</i>	<i>Water content in the alcoholic feed-stock (wt%)</i>	<i>Reaction temperature (°C)</i>
Base-catalyzed ethanolysis	<i>Balanites aegyptiaca</i> oil	Anhydrous ethanol	-	35
	<i>Azadirachta indica</i> oil	Anhydrous ethanol	-	35
Acid-catalyzed ethanolysis	<i>Jatropha curcas</i> oil	Hydrated ethanol	5	78
		Bioethanol	5	78
		Bioethanol	8.5	78

The end of the first stage of the reaction was marked by the constancy of fatty acid ethyl ester (FAEE) content in the reaction mixture determined by gas chromatography. In order to induce the demixion of the reaction mixture into two liquid phases, 25% of fresh (pure) glycerol based on the initial weight of NCVO was added into the ethanolysis product (as Encinar et al. [1] and Issariyakul et al. [13] had done previously for waste cooking oil ethanolysis). The addition of glycerol, marking the start of the second stage, should not be performed at high temperature, but rather between 20°C and 35°C (for reason of glycerol miscibility). Hence, in case of acid-catalyzed ethanolysis, the reaction mixture is cooled until ambient temperature (20°C) prior glycerol addition. After stirring (250 rpm) for 5 min in order to improve the mass transfer, the reaction mixture was allowed to stand until the end of the reaction for a better demixion of glycerol. The variables of the ethanolysis in two stages were: the ethanol to oil molar ratio and KOH concentration; the duration of each stage; and the removal of the decanted glycerol either at the end of each stage or at the end of the reaction.

FAEE content was determined according to EN 14103. The application was conducted with the Agilent Technologies 6850 GC with FID, split/splitless inlet, and HP-INNOWAX column (30 m × 320 µm id × 0.25 µm film of polyethylene glycol). Also, a gas chromatography-mass spectrometry technique (Agilent Technologies GC 7890A with MS 5975C) was used preliminarily for ethyl esters identification. Small samples of the reacting mixture were taken at different times, purified with neutralization aqueous solution (for alkali catalysis: a 4 wt% citric acid; for acid catalysis: a 3 wt% NaHCO₃), and centrifuged. 1 mL of intern standard solution (5 mg/mL of 1-decanol in *n*-heptane) was mixed with 0.1 mL of FAEE phase obtained after centrifugation. 1 µL of this solution was set for each of the runs.

III Results and discussion

3.1 Effects of ethanol to oil ratio and catalyst concentration

The effects of ethanol to oil molar ratio as well as catalyst concentration on the ethyl ester content was studied through in situ two stage transesterification of crude BA oil at 35°C. Molar ratios employed during alkaline ethanolysis of BA oil were 6 and 8. The catalyst concentrations used were 1.1 wt% and 1.5 wt% of KOH. The Figure 1 shows the influence of these parameters on *Balanites aegyptiaca* ethyl esters (BAEE) content.

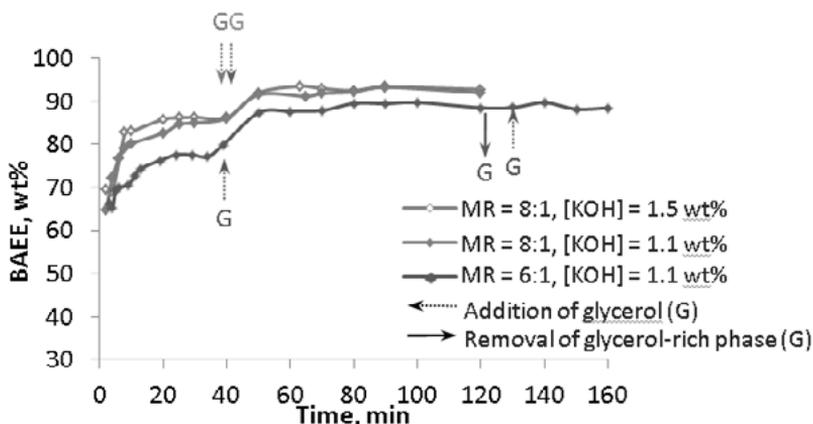


Figure 1: Two-stage process with addition of glycerol for the alkali-catalyzed ethanolysis of BA oil (anhydrous ethanol, $T = 35^{\circ}\text{C}$) - Effects on the BAEE content of the molar ratio and catalyst concentration

As can be seen in Figure 1, at constant KOH concentration (1.1 wt%), an increase in the molar ratio from 6 to 8 resulted in a significant improvement both the ethanolysis rate and the FAEE content, with a first stage equilibrium plateau at 85 wt% of BAEE, almost reached at 30 min of reaction time. By contrast, at constant molar ratio of 8, an increase in the KOH concentration from 1.1 to 1.5 wt% did not induce any significant effect. The additional 0.4 wt% of catalyst has slightly accelerated the ethanolysis rate in the first 30 min of reaction, but 10 min later both catalyst concentrations led to equivalent FAEE contents (86 wt% at the end of the first stage and 93 wt% at the end of the second stage of ethanolysis). In the case of acid-catalyzed ethanolysis of JC oil using hydrated ethanol, the molar ratio was fixed at 30. Only the catalyst concentration effect was investigated with 1.0 wt% and 5.0 wt% of H_2SO_4 . As result, very large deviations reaching 47 wt% after 24 h of reaction time were observed in the *Jatropha curcas* ethyl esters (JCEE) contents, with the best result (77 wt%) obtained at 5 wt% H_2SO_4 .

3.2 Effect of intermediate addition of glycerol

The performances of the two-stage process with intermediate addition of glycerol are illustrated by Figure 1 for the alkali-catalyzed ethanolysis of BA oil and by Figure 2 for the acid-catalyzed ethanolysis of JC oil.

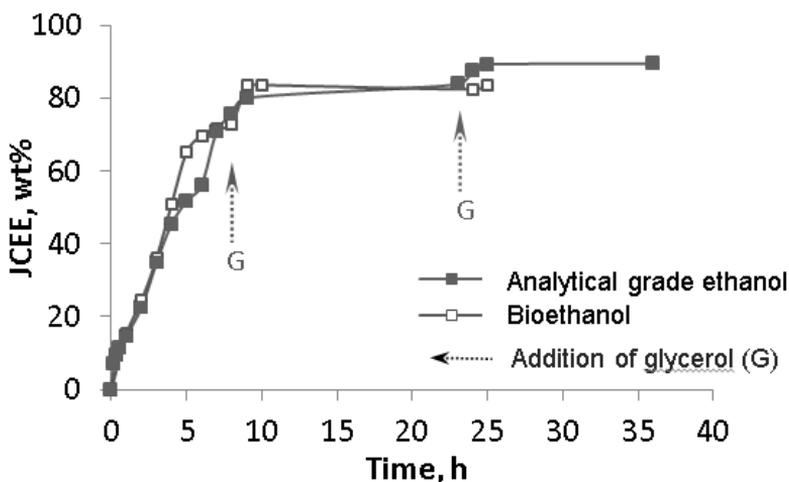


Figure 2: Two-stage process with addition of glycerol for the acid-catalyzed ethanolysis of JC oil (ethanol or bioethanol containing 5 wt% of water, ethanol to oil molar ratio = 30, $T = 78^{\circ}\text{C}$, $[\text{H}_2\text{SO}_4] = 5 \text{ wt}\%$) – Effect of the presence of oxygenated components in the alcoholic feedstock

There is a second chemical equilibrium of transesterification process which can be observed on Figures 1 and 2. The demixion of glycerol phase from reaction medium (containing the glycerides and the ethanol, with the presence of the FAEE) favored by addition of fresh glycerol gave rise to an increment in the FAEE content in relation to the equilibrium value of the first stage. In fact, the glycerol in the form of dispersed droplets, increases the viscosity of the medium, and thus inhibits the contact between the reactive species.

After addition of glycerol, the curves are similar to those of the first stage. Indeed, there is a sharp increase in the first minutes, and then the curves are asymptotic with time, by tending towards a new chemical equilibrium state. The FAEE content obtained in the ten minutes following the glycerol addition was 88 wt% for the BA oil and 86 wt% for the AI oil, and one hour later for the JC oil, i.e. an increase of 8-9 wt% compared to the first stage equilibrium value.

Furthermore, 43 wt% (based on the initial weight of oil) of glycerol-rich phase was withdrawn from the reaction mixture after decantation (at 120 min of reaction time, Figure 1). The fraction of glycerol formed during the transesterification was 42 wt%. These results confirm the process efficiency with a glycerol recovery based on the introduced glycerol. A second addition of fresh glycerol (12.5 wt% based on the oil initial weight) did not yield further improvement of the BAEE content within the conditions of the experiment.

3.3 Effect of intermediate removal of the glycerol-rich phase

Figure 1 related to the BA ethanolysis shows that the removal of the glycerol-rich phase had no effect on the oil conversion. Accordingly, during the following ethanolysis experiences, the glycerol-rich phase has no longer been removed from the reaction mixture. In addition, because the chemical equilibrium is established rapidly and leads to a well-installed plateau, the ethanolysis can be stopped 20 min after adding the fresh glycerol (25 wt% based to the initial weight of oil), meaning that the total reaction time can be reduced to 1 h or even less (50 min).

3.4 Effect of water and oxygenated components in the alcoholic feedstock

A water content of 5 wt% in the alcoholic feedstock (ethanol 95 wt%) led to a satisfactory JC oil conversion (89 wt% in JCEE) with H_2SO_4 as catalyst. Increasing the water content from 5 to 8.5 wt% in the alcoholic feedstock by using bioethanol (91.5 wt%) led to a decrease of 20 wt% in the JCEE content (from 80 to 60 wt% after 9 h of reaction time). This result should however not be attributed only to the higher content of water, but also to the presence of other polar compounds in the bioethanol (higher alcohols than ethanol, aldehydes, and short esters) [14]. This point was checked by using as alcoholic feedstock for the JC ethanolysis, a bioethanol prepared synthetically by adding of 5 wt% of distilled water in the bioethanol 98.5 wt%. For the same operating conditions, the ethanol 95 wt% (prepared from anhydrous ethanol and water) proved to be slightly more efficient than the bioethanol (containing 5 wt% of water) improving the JCEE content of 6 wt% (from 83 to 89 wt% for 25 h of reaction time; Figure 2).

IV Conclusion

Ethyl biodiesel has been synthesized from *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, and *Jatropha curcas* non conventional oils. Conversion of vegetable oil to fatty acid ethyl esters was found to be 87 wt%, 93 wt%, and 89 wt% for *Azadirachta indica*, *Balanites aegyptiaca*, and *Jatropha curcas* oils respectively. The ethanolysis process was carried out in two-stage with intermediate addition of glycerol. The optimal triglyceride conversion for alkali-catalyzed transesterification was reached at 35°C by using ethanol to oil ratio of 8 and potassium hydroxide concentration of 1.1 wt% during at least 60 min. High conversion of *Jatropha curcas* oil was achieved during acid-catalyzed ethanolysis at the normal boiling point of the alcohol using the hydrated ethanol (95 wt%), a molar ratio of 30, and sulfuric acid concentration of 5 wt% for 25 h. The addition of fresh glycerol in the reaction mixture at the end of the first stage induces a demixion of glycerol. This leads to a chemical shift towards the ethyl ester formation whose content increases between 7 and 11 wt% with base-catalysed ethanolysis and of about 9 wt% with acid-catalysed ethanolysis. In this stage, removal of added and formed glycerol from the reaction mixture is not necessary because conversion continues without stirring.

Acknowledgments

This work has been supported by the Fonds National pour l'Education et la Recherche (FONER) from Burkina Faso. Also, the authors would like to express their grateful acknowledgments to Dr. F. Battin-Leclerc for the partial financial support given to achieve the work and to Dr. Franck Jolibert from UNGDA in France for providing the crude wine bioethanol used as feedstock in some transesterification trials.

Bibliography references

1. Encinar, J. M., González, J. F., Rodríguez-Reinares, A., Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization. *Fuel Processing Technology*, 2007. 88: p. 513-522.
2. Sharma, Y. C., Singh, B., Upadhyay, S. N., Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. *Fuel*, 2008. 87: p. 2355-2373.
3. Rathore, V., Madras, G., Synthesis of biodiesel from edible and non-edible oils in supercritical alcohols and enzymatic synthesis in supercritical carbon dioxide. *Fuel*, 2007. 86: p. 2650-2659.
4. Nigam, P. S., Singh, A., Production of liquid biofuels from renewable resources. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2011. 37: p. 52-68.
5. Karmakar, A., Karmakar, S., Mukherjee, S., Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production. *Bioresource Technology*, 2010. 101: p. 7201-7210.
6. Karmakar, A., Karmakar S., Mukherjee, S., Biodiesel production from neem towards feedstock diversification: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. 16: p. 1050-1060.
7. Bora, D. K., Baruah, D. C., Assessment of tree seed oil biodiesel: A comparative review based on biodiesel of a locally available tree seed. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. 16 : p. 1616-1629.
8. Brunschwig, C., Moussavou, W., Blin, J., Use of bioethanol for biodiesel production. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2012. 38: p. 283-301.
9. Hájek, M., Skopal, F., Treatment of glycerol phase formed by biodiesel production. *Bioresource Technology*, 2010. 101: 3242-3245.
10. Jaecker-Voirol, A., Durand, I., Hillion, G., Delfort, B., Montagne, X., Glycerin for new biodiesel formulation. *Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP*, 2008.63(4): 395-404.
11. Meher, L. C., Vidya Sagar, D., Naik, S. N., Technical aspects of biodiesel production by transesterification – a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2006. 10: p. 248-268.
12. Nitiéma-Yefanova, S., Poupaert, J.H., Mignolet, E., Nébié, R.C.H., Bonzi-Coulibaly, L.Y., Characterization of some nonconventional oils from Burkina Faso. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 2012. 033: 67-71.

13. Issariyakul, T., Kulkarni, M.G., Meher, L.C., Dalai, A.K., Bakhshi, N.N., Biodiesel production from mixtures of canola oil and used cooking oil. *Chemical Engineering Journal*, 2008. 140: 77-85.
14. Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernando, W.J.N., Kim, J., Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review. *Fuel Processing Technology*, 2009. 90:1502-1512.

THÈME 3

Les Bioénergies pour augmenter la production agricole et agroalimentaire ?

LES DYNAMIQUES DE MÉCANISATION DE LA PRODUCTION ET DE LA TRANSFORMATION AGRICOLES EN AFRIQUE DE L'OUEST

M. HAVARD ⁽¹⁾, S.C. SIDE ⁽²⁾

(1) CIRAD, UMR Innovation,
73, rue Jean-François Breton
34398 Montpellier

Contact email auteur : michel.havard@cirad.fr

(2) Montpellier SupAgro, Institut des Régions chaudes
Innovations et Politiques pour une Alimentation Durable
1101, avenue Agropolis
34093 Montpellier cedex 05

Contact email auteur : sidestephane2008@yahoo.fr

Résumé

Depuis pratiquement un siècle, les expériences de mécanisation de l'agriculture familiale ont eu des résultats mitigés en Afrique de l'Ouest (AO). Après deux décennies sans actions majeures dans le secteur de la mécanisation agricole, de nombreux gouvernements réinvestissent ce secteur suite à la crise alimentaire de 2008. Ils mettent l'accent sur la modernisation de l'agriculture en ayant surtout recourt à la motorisation. Dans un tel contexte, cette communication, fait une analyse des dynamiques de mécanisation de la production et de la transformation agricoles en AO. Elle présente les facteurs et conditions de développement de la traction animale, de la diffusion des matériels agricoles à post-fixe et des échecs de l'introduction des tracteurs et motoculteurs. Cette analyse met aussi en évidence des niveaux de mécanisation variés selon les régions, les systèmes de culture et les opérations agricoles ; ce sont essentiellement le travail du sol, le pompage et la transformation des produits qui sont mécanisés. Elle montre que les effets de la mécanisation ne sont pas significatifs sur les rendements et sur la qualité du travail. Malgré tout, les perspectives de mécanisation agricole en AO demeurent très importantes, mais elles doivent prendre en compte les changements rapides du contexte socio-économique, et en particulier l'augmentation croissante du coût des énergies fossiles. Elles portent sur l'augmentation du niveau de mécanisation de l'agriculture et l'amélioration de la qualité du travail mécanisé dans l'optique d'un développement durable de la mécanisation, avec un accent sur l'accès à l'énergie. Un des enjeux majeurs de l'AO dans les décennies à venir est l'équipement des campagnes pour satisfaire les besoins croissants de production, de conservation et de transformation des produits agricoles nécessaires à la sécurité alimentaire d'une population en augmentation, tout en assurant la préservation du milieu.

Mots clés : Mécanisation, agriculture, dynamique, énergie, durabilité.

I Introduction

De nombreux pays d'Afrique Subsaharienne (ASS) ont une économie dominée par le secteur agricole qui génère jusqu'à 50% du produit intérieur brut (PIB) et contribue pour plus de 80% aux échanges commerciaux en valeur et plus de 50% des matières premières pour les industries [1]. L'agriculture familiale représente plus de 75 % des exploitations agricoles et procure l'essentiel des revenus des populations rurales [2]. Mais, pour soutenir le développement et la croissance économique de l'ASS, l'agriculture devra être plus productive, en améliorant, entre autres actions, son niveau de mécanisation. Celle-ci étant entendue comme l'emploi dans l'agriculture de méthodes faisant appel à davantage d'énergie mécanique ; mais aussi le développement, l'utilisation et la gestion d'un parc de matériel mécanique pour le défrichage, la maîtrise de l'eau, les cultures, la manutention, le stockage et la transformation primaire des produits agricoles ; et enfin, l'emploi d'outillages manuels et à traction animale et d'engins à moteur à combustion interne ou électrique et de leurs accessoires [3]. Sont aussi pris en compte, les acteurs et éléments qui concourent à un développement durable du secteur de la mécanisation : la recherche agronomique, l'enseignement et la formation, la fabrication et la distribution des équipements agricoles, la maintenance et les modalités de financement.

Aujourd'hui, en ASS, l'énergie agricole est humaine (65 %), animale (25 %), et mécanique (10 %), alors que dans les autres pays en développement, la répartition est la suivante : homme (25 %), animal (25%), mécanique (50 %) [4]. Entre 1980 et 2003, le nombre de tracteurs en utilisation pour 1000 ha de terres arables est passé de 2 à 1,3 en ASS, et de 7,8 à 14,9 en Asie et dans le Pacifique [5]. Le transport et la mouture ont été mécanisés avant le labour en ASS, et l'irrigation a été mécanisée avant le labour en Asie [3]. Cependant, les animaux ont d'abord été utilisés comme bêtes de somme avant d'être employés comme bêtes de trait. Et en ASS, le transport des produits agricoles a été mécanisé (traction animale, tracteur) rapidement quand les voies de communication le permettaient. Quant aux opérations à forte intensité de savoir-faire (semis, sarclage, etc.), leur mécanisation est étroitement liée au coût de la main d'œuvre [3].

Depuis un peu moins d'un siècle, l'Afrique de l'Ouest (AO) a vu un développement important de la traction animale, une diffusion significative de la motorisation à poste fixe (motopompes, matériels de transformation des produits agricoles et de battage des céréales), et des échecs répétés de l'introduction des tracteurs et motoculteurs dans l'agriculture familiale. Depuis, deux décennies, les programmes et mesures en faveur du secteur de la mécanisation agricole étaient en veilleuse suite à la mise en place des programmes d'ajustement structurel agricoles. Mais depuis la crise alimentaire de 2008, de nombreux gouvernements d'AO réinvestissent ce secteur. Ils mettent l'accent sur la modernisation de l'agriculture en ayant surtout recours à la motorisation dont l'essentiel de l'énergie est fournie par les carburants fossiles (pétrole). Mais, avec une augmentation du prix du baril de pétrole de 487 % depuis 1990, tendance qui semble durable, l'accès et le coût des carburants apparaissent aujourd'hui comme des contraintes majeures à la motorisation de l'agriculture familiale [6]. Le développement probable des filières biocarburants en Afrique sub-saharienne pourra-t-il permettre un accès moins cher à l'énergie et favoriser la motorisation de la production et de la transformation agricoles ? Ce contexte pose des questions spécifiques abordées dans cette communication : quelle est l'état des lieux de la mécanisation agricole ? quels sont ses effets sur la production et la transformation agricoles ? quelles sont ses perspectives de développement quand l'accès à l'énergie fossile est de plus en plus onéreux ?

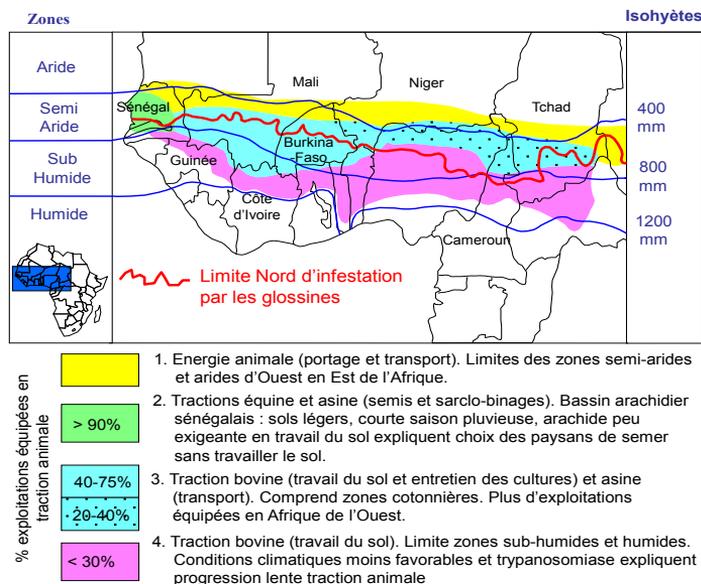
Cette communication présente les différents modèles de mécanisation agricole en AO, et les effets de cette dernière sur la production et la transformation agricoles. Ensuite, elle discute

les perspectives de la mécanisation agricole. Elle conclue sur le potentiel de mécanisation de l'agriculture des pays d'AO et sur la nécessité d'une approche globale de la mécanisation impliquant les différents acteurs du secteur.

I. Les modèles de mécanisation en Afrique de l'Ouest

1.1 Développement de la traction animale

La traction animale, introduite dans les années 1920 en AO, s'est diffusée après les indépendances grâce à d'importants programmes de développement dans les zones arachidières, cotonnières et rizicoles [7]. En Afrique francophone, les effectifs d'animaux de trait et de matériels de culture attelée, ont été multipliés par plus de 5 depuis 1960. Ils atteignent plus de 3 millions d'animaux de trait et près de 4 millions d'équipements agricoles : charrues, butteurs, sarcleurs, semoirs, charrettes, etc. Selon les isohyètes, quatre types d'utilisation de la traction animale sont distingués en AO (Figure 1) : type I dans les zones arides, où l'énergie animale est utilisée au portage et au transport ; type II, dans le Bassin Arachidier du Sénégal, en zone semi-aride où les tractions équine et asine réalisent les semis, les sarclages, le soulèvement de l'arachide et les transports ; type III en zones subhumides, marqué par le développement de la traction bovine pour le travail du sol en zones cotonnières et arachidière surtout, type IV en zones humides où la traction bovine réalise le travail du sol. La traction animale s'est donc développée sur un nombre limité d'opérations agricoles : labour à plat avec des charrues à socs, billonnage avec des corps butteurs, grattage sur sol sec ou humide avec des outils à dents et transport. Le semis en ligne, excepté au Sénégal, est peu mécanisé, car il n'est possible qu'en monoculture. Les semoirs diffusés sont principalement adaptés aux sols préparés à plat. Les sarclages et buttages mécaniques ne sont possibles que sur les cultures semées en ligne. La récolte mécanique existe pour le soulèvement de l'arachide semée en ligne.



Source : [8]

Figure 1 : Zones d'utilisation de la traction animale en Afrique de l'Ouest et Centrale

1.2 Développement de la motorisation agricole à poste fixe

L'emploi de moteurs sur des machines utilisées à poste fixe, ou portées à dos d'hommes, est développé en Afrique et en Asie pour le pompage de l'eau, les traitements phytosanitaires, le battage et la transformation des produits agricoles. Ce sont pour la plupart des cellules autonomes, compactes et légères, faciles à déplacer. Cette motorisation s'est développée en continu depuis une trentaine d'années surtout dans le cadre des programmes d'allègement des travaux des femmes, et avec la demande croissante des marchés urbains en produits agricoles transformés. Ces matériels, appartenant à des privés et à des groupements, sont principalement utilisés en prestations de services. Leurs effectifs sont difficiles à estimer, car rares sont les pays où les statistiques sont disponibles. A titre d'exemple, au Mali en 2010, il y avait 1 114 batteuses, 703 moulins, 1 286 décortiqueuses, 3 878 motopompes, 520 plateformes multifonctionnelles, et 9 minirizeries (Direction Nationale du Génie Rural), et 17 392 motopompes au Burkina Faso en 2006 (Recensement Général Agricole).

Les motopompes, entraînées par des moteurs diesel et électrique, sont utilisées pour l'irrigation de périmètres aménagées pour la riziculture et le maraîchage, et dans une moindre mesure pour l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte. Leur nombre s'est accru depuis une vingtaine d'années dans les périmètres maraîchers autour des villes (petites motopompes de 3 à 7 kw), et dans les périmètres rizicoles pour des superficies variant de quelques hectares à plusieurs dizaines d'hectares (motopompes de 5 kw à plus de 70 kw). Les effectifs des motopompes sont de plusieurs centaines de milliers d'unités en AO.

Les quelques milliers de batteuses et égreneuses à céréales (riz, maïs, mil et sorgho) utilisées sont entraînées par des moteurs diesel de 5 kw à 20 kw (prix variant de 3 000 euros à plus de 10 000 euros) ou des tracteurs de 30 à 40 kw (mil, sorgho au Sénégal) que l'on déplace d'un chantier de battage à l'autre. Les moissonneuses batteuses (15 kw à + de 80 kw, et prix variant de 10 000 euros à plus de 100 000 euros) sont surtout utilisées pour la récolte du riz dans les périmètres aménagées, mais les effectifs sont réduits à quelques centaines d'exemplaires. Le battage des légumineuses (arachide, niébé, soja, etc.) avec des batteuses à moteur diesel demeure marginal.

La transformation des produits agricoles (mouture et décorticage des céréales et des légumineuses, râpage des racines et tubercules, décorticage du café, concassage de noix de palme, presses, etc.) par des unités de transformation artisanales à l'échelle individuelle et de petits groupes de femmes est répandue. Ces unités, plus de 100 000 exemplaires en AO, sont entraînées par des moteurs diesel et électriques de 5 à 30 kw.

1.3 Échecs répétés des tracteurs et motoculteurs en agriculture familiale

Depuis la fin de la seconde guerre mondiale, l'abondance relative de terre en ASS a souvent incité les pouvoirs coloniaux et les gouvernements à promouvoir le passage de la mécanisation manuelle ou attelée à la mécanisation motorisée, conduisant à des résultats décevants. En effet, certains auteurs [3], ont montré que le passage direct de la culture manuelle à la motorisation n'est guère rentable pour un agriculteur compte tenu du faible degré d'intensification de son système de production et des couts de transition tels que le dessouchage, les couts d'accès aux équipements, des couts d'apprentissage,

etc. à l'exception des zones de plaines alluviales dépourvues d'arbres et des savanes herbeuses en particulier pour la production du riz irrigué. De même, le passage de la traction animale à la motorisation, relève d'une analyse de coût d'opportunité en fonction du stade du système de production agricole [3]. Les tracteurs (30 à + de 80 kw, et prix variant de 10 000 euros à plus de 50 000 euros avec charrue, covercrop et remorques) et les motoculteurs (5 à + de 15 Kw, et prix variant de 4 000 à plus de 10 000 euros avec charrue, fraise et remorque) sont utilisés surtout pour les préparations des sols. En culture pluviale, il s'agit du labour à la charrue ou du pseudo-labour avec des pulvérisateurs à disques, les matériels de reprise sont peu utilisés. En culture irriguée, il s'agit du labour à la charrue, mais aussi du travail du sol à la fraise, ou avec les roues cages des motoculteurs. Les autres opérations (semis, entretien des cultures, récolte) sont mécanisées surtout dans les exploitations agro-industrielles.

Depuis 1990, selon Faostat, les effectifs de tracteurs sont stables en Afrique (530 000 à 550 000 unités), mais aussi en Afrique de l'Ouest (45 000 unités), du Centre (16 000 unités) et de l'Est (74 000 unités). En 2003, la majorité des tracteurs sont dans les pays suivants d'AO : Nigéria (30 000), Côte d'Ivoire (3 800), Ghana (3 600), Mali (2 600), Burkina-Faso (2 000), et du Centre : Angola (10 000), République Démocratique du Congo (2 500). Dans les autres pays, les effectifs sont inférieurs à 2 000 tracteurs. Moins de 5 %, et le plus souvent moins de 1 % des exploitations agricoles d'AO possèdent des tracteurs : 0,4% au Burkina Faso en 2006 par exemple.

II Les effets de la mécanisation sur la production agricole, le post-récolte et la transformation

2.1 Sur la production agricole

Les initiatives visant l'amélioration de la productivité du travail par la promotion de la mécanisation ont connu jusqu'ici des résultats en dessous des attentes [5]. En effet, l'utilisation de la traction animale et de la motorisation a favorisé l'extension des superficies cultivées et irriguées dans les zones où cela était possible. Elle a permis une économie de travail à l'ha qui s'accompagne d'une augmentation de travail par exploitation à cause d'une demande accrue de travail pour les opérations de semis, de désherbage et de récolte lorsqu'elles continuent à être effectuées à la main [3]. Mais, cette mécanisation n'a pas permis l'intensification agricole définie comme l'augmentation de la production par unité d'intrants (main d'œuvre, surface agricole, engrais, semences, capital...etc.) bien que ce soit une priorité de nombreux gouvernements africains. Ainsi, le passage à la traction animale et/ou à la motorisation en culture pluviale a des effets minimes sur les rendements et seulement quand il s'accompagne d'une amélioration de la qualité du travail du sol. Par contre, l'augmentation des superficies en culture irriguée permise par l'utilisation des motopompes a des effets sur les rendements, car elle est combinée à l'utilisation des intrants. Mais aujourd'hui, 5 % seulement des terres arables en Afrique sont irriguées, contre 40 % en Inde et environ 30 % dans les autres régions en développement.

Dans les régions semi-arides et sub-humides, le passage à la traction animale et à la motorisation serait plus rentable sur les cultures de coton, de riz, d'arachide et de maïs [3]. Dans les régions humides des tropiques, en raison des caractéristiques des sols, le travail du sol pour des cultures de plein champ entraîne un lessivage, une acidification et une érosion du sol, conduisant à une diminution rapide de la fertilité des sols et des rendements

[3]. Cependant les progrès des techniques de semis direct mécanisées sous couvert végétal permanent permettent d'éviter la dégradation des sols et le maintien de leur fertilité. Mais, les risques dus au changement de système de production, à la baisse des productions et de revenus les premières années, et les coûts des équipements constituent des freins à lever pour le passage à l'agriculture de conservation [9].

2.2 Sur le post-récolte et la transformation

L'extension des superficies permise par la mécanisation se traduit par une augmentation de la production, et donc un travail supplémentaire pour les agriculteurs, et surtout pour les femmes lors des opérations de récolte, battage, transport et transformation. La mécanisation du battage, mais aussi du transport et de la transformation (mouture, décorticage, râpage, concassage, pressage, etc.) des produits a permis aux agriculteurs et à leurs familles de traiter cette augmentation de production, et donc de pouvoir commercialiser les excédents de production sur les marchés locaux, voire régionaux ou internationaux. Il en résulte l'obtention de revenus supplémentaires pour les agriculteurs, les propriétaires des matériels agricoles. Mais la qualité des produits issus de nombreuses unités de transformation est faible : taux de brisures et d'humidité élevés, présence d'impuretés, etc. ; ce qui les pénalise lors de la vente de leurs produits transformés.

III Les perspectives pour la mécanisation agricole en Afrique de l'Ouest

L'analyse des perspectives de la mécanisation doit prendre en compte les changements socio-économiques en cours, principalement l'explosion démographique, l'urbanisation croissante, l'augmentation continue des prix des produits pétroliers, les besoins des agriculteurs, les orientations politiques des gouvernements. Dans ces perspectives, l'accent doit être mis sur l'augmentation du niveau de mécanisation, en traction animale et en motorisation de la production et de la transformation agricoles, sur l'amélioration de la qualité du travail des opérations mécanisées de production et de transformation, et la mécanisation de nouvelles opérations, particulièrement les semis, l'entretien des cultures et les récoltes. Cela doit se faire en visant un développement durable de la mécanisation prenant en compte la conservation des ressources (sols particulièrement), la diversité des exploitations agricoles, la valorisation d'autres sources d'énergies que les produits pétroliers, etc.

Pour ce faire, les gouvernements doivent s'intéresser aux facteurs favorisant le développement de la mécanisation, et pas seulement à l'acquisition et au financement de tracteurs, voire de matériels de culture attelée, comme de nombreux pays d'AO le font actuellement. A titre d'exemple, le Gouvernement du Mali avait pour ambition l'acquisition de 1 200 000 équipements de traction animale, 3 000 tracteurs, 1 000 motopompes, 10 000 pompes, etc. entre 2007 et 2012 [10]. De son côté, le gouvernement du Ghana a mis en place des centres d'entreprises de services de mécanisation agricole (AMSEC) en 2003 afin de permettre l'accès des petits producteurs aux tracteurs ; entre 2002 et 2012, il a importé 3000 tracteurs et 300 motoculteurs [10].

3.1 Mettre en place un environnement socio-économique favorable

Pour le CTA, les facteurs clés du développement de la mécanisation pour les agriculteurs sont [11] : (i) la sécurité de leurs investissements, (ii) des marchés des produits agricoles organisés et (iii) des prix de ventes attrayants ou au moins stables. Ces facteurs dépendent des politiques des Etats en matière de fiscalité, d'infrastructures en milieu rural, de revenu agricole, de droits de douane sur les produits et les intrants agricoles et de politique monétaire. Le lien entre le modèle et le niveau de mécanisation de l'agriculture dans un Etat ou une région donnée et les choix stratégiques en matière de développement économique, social et environnemental est indispensable [11].

A l'échelle d'un pays, les analyses sur la motorisation de l'agriculture doivent aller au-delà des questions de choix et de coûts des équipements pour considérer l'environnement dans lequel sera utilisée cette motorisation et l'intérêt de son introduction [12]. Ceci implique d'accorder une place centrale aux producteurs (individuels ou coopératives) qui en sont les principaux bénéficiaires. Cela passe par une bonne perception de leurs attentes et de leurs motivations, une évaluation de leurs capacités pour définir leurs rôles et leurs responsabilités et l'identification des contraintes auxquelles ils sont soumis.

3.2 Prendre en compte la perception et la motivation des agriculteurs

Les motivations des chefs d'exploitation sont variées. Ce peut être la volonté d'étendre les surfaces cultivées et de réaliser des économies de travail [3], ou encore de maintenir les actifs en particulier les jeunes au sein de l'exploitation et de consolider la famille afin d'éviter l'éclatement de l'unité de production [13], ou encore de diversifier les activités agricoles et les sources de revenus en réaction à l'instabilité et la baisse des ressources tirées des cultures de rentes traditionnelles [14].

Le développement des coopératives d'utilisation de matériel agricole (CUMA) au Benin depuis 1995, au Burkina Faso depuis 2004, au Mali depuis 2001, de groupements d'utilisation de matériels agricoles (GUMAC) au Tchad depuis 1986, de groupements d'utilisation du matériel au Sénégal et de coopératives d'exploitations motorisées (Mali) a permis l'accès des producteurs à des tracteurs agricoles en gestion partagée ou en propriété individuelle grâce à des partenariats avec des associations de développement en France. Ce type d'initiative témoigne de la capacité des producteurs à jouer un rôle actif dans la construction de modèles de mécanisation adaptés à leurs besoins [15 ; 14].

3.3 Améliorer les infrastructures, les aménagements ruraux et la gestion du foncier

Le déficit d'infrastructures de base (marchés, réseaux routiers, barrages hydroagricoles, etc.), et le manque d'aménagement rural constituent des contraintes à la mécanisation pour lesquelles l'implication des gouvernements est nécessaire [3 ; 11]. De plus, l'expansion des surfaces cultivées liée au développement de la mécanisation, la dégradation de 2/3 des terres agricoles en AO à cause de l'érosion hydrique et éolienne et, de la dégradation

chimique, physique et biologique [16], la gestion du foncier et les questions de conservation de la fertilité des sols devront faire l'objet d'une attention particulière dans tout programme de développement de la mécanisation.

Outre qu'elle est peu mécanisée, l'agriculture africaine souffre d'un investissement financier insuffisant en faveur de l'irrigation. Seules, 5 % de ses terres arables sont irriguées. Avec les changements climatiques, l'irrigation va vraisemblablement gagner en importance. Cela signifie que multiplier par 10 environ la surface irriguée en Afrique ne serait pas excessif et améliorerait beaucoup la productivité de l'agriculture. Investir dans de grands systèmes d'irrigation serait un processus à long terme mais des programmes moins importants adaptés à de petits groupes d'exploitations agricoles pourraient donner de bons résultats. En termes de mécanisation, cela ouvrirait un débouché important pour les pompes, les moteurs diesel, les tracteurs, les motoculteurs et les matériels de récolte, battage et transformation. Cette opportunité de mécanisation est un défi pour l'industrie locale africaine [17].

3.4 Favoriser l'accès aux financements pour la mécanisation

La mécanisation des agricultures familiales nécessite des financements à moyen et long termes relativement importants en comparaison avec les revenus de la plupart des agriculteurs familiaux. En guise d'illustration, au Burkina Faso et au Cameroun, les coûts d'acquisition des animaux de trait et des équipements variaient de 46 à 62 euros pour un âne, de 150 à 184 euros pour un « petit » bœuf de trait, de 230 à 305 euros pour un bœuf de trait à la revente, de 31 à 100 euros pour une charrue asine, de 46 à 130 euros pour une charrue bovine [18] alors que le PIB par habitant est inférieur à 252 euros au Burkina Faso et à 1260 euros au Cameroun en 2004 [19]. Au Mali, pour la coopérative des exploitants motorisés de Koutiala, un tracteur revenait à 7 634 euros en 2007 avec un PIB par habitant de moins de 278 euros [14 ; 20]. Les prix des tracteurs et accessoires varient fortement selon l'origine, la puissance du tracteur et la fiscalité. Les tracteurs indiens et chinois sont nettement moins chers, et des usines de montage ont été installées depuis 2009 dans certains pays (Mali, Tchad, Cameroun), d'autres sont en prévision (Burkina Faso).

3.5 Mener une réflexion et des actions sur la substitution du pétrole dans la mécanisation de l'agriculture en Afrique de l'Ouest

La prise en compte de l'augmentation continue du prix et de l'épuisement de la ressource pétrolière dans les réflexions sur la mécanisation de l'agriculture en AO, s'impose bien que la part de l'agriculture dans la consommation de pétrole y est relativement faible. Avec une consommation en carburant comprise entre 0,09 litre et 0,10 litre par cheval par heure pour les moteurs diesel et une consommation en lubrifiant comprise entre 2,5 litres et 4,5 litres pour 100 litres de carburant, le carburant et les lubrifiants sont des charges variables importantes de la motorisation appelées à croître dans le futur [21]. En outre, le prix du baril de pétrole a augmenté de 487 % entre l'année 1990 marquant l'arrêt de la plupart des importants programmes de mécanisation en ASS et 2012 [6]. Cette hausse s'inscrit dans une tendance durable traduisant la fin du pétrole abondant et bon marché, c'est donc

plutôt l'accès aux carburants qui pourrait constituer à terme une contrainte majeure pour les agriculteurs familiaux dans la perspective d'une motorisation de leur agriculture.

Dans ce contexte, pour ne pas compromettre les impacts positifs de la mécanisation sur les productions agricoles certaines initiatives peuvent être entreprises [22] : développement de combustibles de remplacement, utilisation judicieuse d'un dosage d'énergie humaine, animale et mécanique, et réalisation d'économie dans la consommation de carburants. Des économies d'énergie de 25 à 50 % peuvent être réalisées en utilisant des équipements de travail et des tracteurs d'une puissance adaptée aux opérations agricoles à effectuer, en ayant des programmes adaptés et performants d'entretien et de réglages des tracteurs, en améliorant les méthodes de travail et les conditions de stockage du carburant et en n'utilisant pas les tracteurs au-delà de leur durée de vie économique optimale (5 à 15 ans) [22].

L'agriculture est productrice d'énergie à travers les produits alimentaires et non alimentaires, et aussi les déchets susceptibles d'être valorisés [23]. La biomasse sèche à une équivalence énergétique de 1 kg de fuel domestique pour 2,5 kg de matière végétale en combustion. Dans le contexte de l'AO, la valorisation des déchets et des produits agricoles non alimentaires serait également susceptible de produire de l'énergie valorisable pour les opérations motorisées à poste fixes tels que l'irrigation et la transformation des productions agricoles et certaines opérations mobiles sous réserve de l'adaptation des moteurs à combustion (chambre de précombustion) pour l'utilisation des agro-carburants. Le recours à ces derniers, tels que l'éthanol et Bioéthanol constitue une alternative pour les machines agricoles à condition que la production de ces agro-carburants (1^{ière} génération) n'entre pas en concurrence avec les productions agricoles destinées à la consommation humaine pour les terres arables, l'eau et les investissements et que les moteurs thermiques soient adaptés (chambre de précombustion) [22].

Par ailleurs, le développement de systèmes de productions requérant moins d'énergie pourrait constituer une alternative. On pense en particulier aux techniques de semis directs sans labour développées en Amérique du Sud faisant l'objet de transfert en AO. Elles pourraient constituer des solutions plus durables à long terme sous réserves de les adapter aux conditions locales, de produire des équipements adaptés, économiquement accessibles et d'appui en matière de renforcement de capacités associées à l'agroécologie [24].

L'appui conjoint à la motorisation appropriée et à la traction animale là où les conditions agro-climatiques le permettent est aussi pertinent du point de vue énergétique.

IV Conclusion

Depuis près d'un siècle, les résultats des programmes de mécanisation de l'agriculture familiale en AO sont mitigés : l'utilisation de la traction animale continue de se développer dans les zones favorables, les effectifs de matériels motorisés à post-fixe de battage et de transformation sont en augmentation, tandis que les expériences d'introduction des tracteurs et des motoculteurs ont été des échecs. Cette analyse met en évidence des variations importantes des niveaux de mécanisation selon les régions, les systèmes de

culture, mais aussi les opérations agricoles ; ce sont surtout le travail du sol, le pompage et la transformation des produits qui sont mécanisés. Elle montre que les effets de la mécanisation ne sont pas significatifs sur les rendements, et sur la qualité du travail ; la mécanisation se substituant essentiellement aux travaux manuels.

Malgré tout, les perspectives de mécanisation agricole en AO demeurent très importantes. Elles doivent prendre en compte les changements rapides du contexte socio-économique et porter sur l'augmentation du niveau de mécanisation de l'agriculture et l'amélioration de la qualité du travail mécanisé dans l'optique d'un développement durable de la mécanisation. Avec l'augmentation continue des prix des produits pétroliers, un accent particulier doit porter sur le développement de combustibles de remplacement, comme les biocarburants et la réalisation d'économie dans la consommation de carburants des moteurs et tracteurs utilisés dans l'agriculture. Les gouvernements ont un rôle déterminant à jouer sur ces questions en s'intéressant aux facteurs favorisant un développement durable de la mécanisation, et pas seulement à l'acquisition et au financement de tracteurs, voire de matériels de culture attelée, comme de nombreux pays d'AO le font actuellement.

Un des enjeux majeurs des pays d'AO dans les prochaines décennies est l'équipement des campagnes pour satisfaire les besoins croissants de production, de conservation et de transformation des produits agricoles nécessaires à la sécurité alimentaire d'une population en augmentation, tout en assurant la préservation du milieu. En termes de mécanisation, sont concernées l'ensemble des cultures, qu'elles soient alimentaires (céréales, oléagineux, légumineuses, etc.) ou non alimentaires (coton, etc.), mais dont la vente permet d'acheter des produits alimentaires. Il s'agit d'utiliser au mieux la mécanisation pour atteindre les objectifs de développement agricole, c'est-à-dire la croissance économique, l'équité sociale, la conservation de l'environnement, et la reproductibilité à long terme des systèmes assurant un développement durable de la mécanisation.

Références bibliographiques

1. FAO, *Investment in agricultural mechanization in Africa*, 2009. FAO, Rome. http://typo3.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/arusha_rt_web.pdf
2. Alpha, A., C. Castellagnet, *Défendre les agricultures familiales : lesquelles, pourquoi ?*, Résultats des travaux et du séminaire organisé par la Commission Agriculture et Alimentation de Coordination Sud, 11 décembre, 2007. Coordination Sud, Études et analyses, Paris, 2007. 86 p.
3. Pingali, P., Y. Bigot, et H.P. Binswanger, *La mécanisation agricole et l'évolution des systèmes agraires en Afrique Sub Saharienne*, 1988. Banque Mondiale, Washington D.C., 204 p.
4. Clarke, L. and C. Bishop, *Farm Power-Present and Future Availability in Developing Countries. Invited Overview Paper Presented at the Special Session on Agricultural Engineering and International Development in the Third Millennium. ASAE Annual International Meeting/CIGR World Congress, July 30, 2002*. Chicago, IL. USA.
5. Mrema, C.G., D. Baker and D. Kahan, *Agricultural Mechanization in sub-saharan Africa: time for a new look*, 2008. FAO Occasional paper 22. ISBN 987-92-5-106018-6. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0219e/i0219e00.pdf>

6. UNCTADSTAT, *Base de données statistique de la CNUCED*, 2013 http://unctadstat.unctad.org/ReportFolders/reportFolders.aspx?sCS_referer=&sCS_ChosenLang=fr
7. Lhoste, P., M. Havard, and E. Vall, *La traction animale*, 2010. Collection Agricultures tropicales en poche. Quae, CTA, Presses agronomiques de Gembloux. ISBN 978-2-7592-0886-9. (+CD-ROM)
8. Havard, M., E. Vall, et P. Lhoste, *Evolution de la traction animale en Afrique de l'Ouest et en Afrique Centrale*. Grain de Sel, 2009. **48** : 15-16.
9. Sims, B.G., and J. Kienzle, *Farm power and mechanization for small farms in sub saharan Africa*, 2006. FAO, Technical Report 3. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0651e/a0651e00.pdf>
10. Fru Fonteh, M., *Agricultural Mechanization in Mali and Ghana: strategies, experiences and lessons for sustained impacts*, 2010. FAO, Working document 8. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/K7325e.pdf
11. Bordet, D. *Mécanisation des travaux agricoles en Afrique Sub Saharienne. Propositions d'intégration de la mécanisation agricole dans les stratégies de développement rural. Rapport d'études* 1997. CTA, Wageningen, Pays-Bas.
12. Havard, M., *La motorisation : choix technique du matériel et coût des équipements. Cd-rom. In : Mémento de l'agronome*, 2002. Montpellier, CIRAD, GRET, Ministère des Affaires Etrangères.
13. Faure, G., *Mécanisation, productivité du travail et risques : le cas du Burkina Faso. Économie rurale*, 1994. **219** : p. 3-11.
14. Polet, F., *Les crédits d'équipement de Kafo Jiginew (Mali) : investir au sein des exploitations familiales*. Zoom Microfinance, 2007. **23** : p. 10.
15. Chabot, R., P. Dugué et P. Girard, *Renforcement des capacités des agriculteurs en Afrique de l'Ouest : viabilité d'un service de conseil agricole mis en place par une organisation de producteurs. L'Union des Groupements pour la commercialisation des produits agricoles de la boucle du Mouhoun (UGCPA/BM) au Burkina Faso*, 2013. Paris, Farm.
16. Durand Lasserre, A. et E. Le Roy, *La situation foncière en Afrique à l'horizon 2050. A savoir 11*, 2012. Agence Française de Développement, Paris <http://www.afd.fr/webdav/shared/PUBLICATIONS/RECHERCHE/Scientifiques/A-savoir/11-A-Savoir.pdf>
17. FAO and ONUDI, *Agricultural Mechanization in Africa... Time for action*, 2008. FAO, ONUDI, Rome, Vienne.
18. Roesch, M., *Financement de la culture attelée et stratégies d'équipement*. Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux, 2004. **57** (3-4) : 191-199.
19. OCDE, *Perspectives économiques en Afrique 2005-2006*, 2004. OCDE, Paris www.oecd.org/dev/publications/perspectivesafricaines <http://www.oecd.org/fr/dev/36791248.pdf>
20. OCDE, *Perspectives économiques en Afrique*, 2007. Banque Africaine de Développement, OCDE. <http://www.oecd.org/fr/dev/emoa/40570677.pdf>
21. Pirot, R., *La motorisation dans les cultures tropicales*, 1998. Montpellier, CIRAD, Collection Techniques, 351 p.
22. Gifford, R.C., *Mécanisation agricole et développement : directives pour l'élaboration d'une stratégie*. FAO, Rome, Bulletin des services agricoles, 1985. **45**.

23. Carillon, R., *Le progrès mécanique en agriculture, de 1938 à 1958*. Économie rurale, 1959. **39-40** : p. 37-41.
24. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. *Vol I. Land and Water Engineering (1999). Vol II. Animal Production and Agricultural Engineering (1999). Vol III. Plant Production Engineering (1999). Vol IV. Agro Processing Engineering (1999). Vol V. Energy and biomass Engineering (1999). Vol VI. Information Technology (2006).* <http://www.cigr.org/Handbook-InternationalComissionofAgriculturalEngineering.htm>

LES IMPACTS DE L'ÉLECTRIFICATION RURALE SUR LES TRAJECTOIRES D'ACTIVITÉS DE LA POPULATION. CAS DE MADAGASCAR

T. RANDRIANTSEHENO^{(1) (2)}, L. GAZULL^{(1) (3)}

(1) Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
Département Environnements et Sociétés,
UR Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux,
TA C-105/D

Campus International de Baillarguet
34398 Montpellier Cedex 5 – France

(2) E-mail: tsilavina.randriantseheno@cirad.fr

(3) E-mail: laurent.gazull@cirad.fr

Mots clés: trajectoires d'activités, accès à l'électricité, électrification rurale, Madagascar

I Introduction

À Madagascar le taux national d'accès à l'électricité est de l'ordre de 12%. ce taux tombe à 4,8% en milieu rural [1]. En 2002, le fond national d'électricité¹ a été créé dans le cadre d'une politique nationale d'électrification rurale basée sur une approche de partenariat public – privée [2]. Dès lors, la production et la distribution de l'électricité en milieu rural sont assurées par un système de réseaux décentralisés. Les centrales installées sont en général de type thermique fonctionnant avec du gazole. En dehors des centrales hydroélectriques qui alimentent le réseau urbain et périurbain, la part des énergies renouvelables pour la production de l'électricité est très marginale à Madagascar. Le prix de l'électricité en zone rurale peut être jusqu'à 3 fois supérieur aux prix pratiqués en zone urbaine. Cette inégalité ne se manifeste pas seulement au niveau du prix de l'électricité mais elle est aussi palpable au sein des villages ruraux entre eux. D'une part, seuls les villages solvables sont choisis par les opérateurs privés pour être électrifiés et d'autre part, le réseau ne couvre pas l'ensemble du village. De ce fait les populations les plus pauvres n'ont souvent pas la possibilité de se raccorder au réseau [3]. Or, l'accès à l'énergie constitue un enjeu majeur pour le développement des pays du Sud et l'atteinte des objectifs du millénaire pour le développement. L'énergie est considérée comme une des conditions préalables au développement économique et humain. Pour la Banque mondiale, les liens entre l'énergie, le développement et la pauvreté forment un cercle vicieux : plus un individu est pauvre moins il a les moyens d'accéder aux services énergétiques parfois coûteux, ainsi il utilise des moyens de production rudimentaires lui procurant des faibles revenus et l'empêchant d'utiliser une source d'énergie efficace telle que l'électricité [4]. Ainsi selon la Banque Mondiale, la pauvreté rurale peut être réduite par l'augmentation de l'accès à des énergies efficaces, qui permettent d'augmenter la productivité du travail et de diversifier les sources de revenus. Cette communication vise à éprouver ces hypothèses au regard de trois villages d'observation malgaches respectivement électrifiés en 2007, 2009 et 2010.

¹ Le fond national d'électricité ou FNE est une subvention destinée au financement des projets d'électrification rurale à Madagascar. Ce système de subvention assure non seulement le développement des installations électriques en milieu rural mais aussi les conditions de viabilité technique, économique et financière des opérateurs privés. Le FNE est géré par l'Agence de Développement de l'Électrification rurale (ADER) créée en 2002.

Si une des méthodes la plus souvent utilisée dans les études d'impacts est l'approche avant/après projet, ce papier présente un nouveau cadre méthodologique pour appréhender les liens entre l'électricité et les activités génératrices de revenus. Il s'agit d'une analyse basée sur l'approche biographique, afin de resituer l'accès à l'électricité et l'évolution des activités dans des trajectoires de vie et non pas comme un simple événement ponctuel. L'objectif visé est d'identifier les tendances évolutives de la population et de comprendre en quoi l'accès à l'électricité s'insère dans des trajectoires préétablies ou au contraire initie de nouvelles trajectoires d'activités et de vie.

Nous présenterons dans un premier temps les caractéristiques des villages choisis, ensuite nous exposerons la méthode adoptée qui s'appuie particulièrement sur une analyse séquentielle de trajectoires. Ensuite nous décrirons et discuterons les différentes typologies de trajectoires d'activités observées, avant de terminer par une conclusion.

II Zones d'étude

Trois villages ruraux se trouvant dans la région Boeny au Nord Ouest de Madagascar ont été choisis. Le type d'activité le plus exercé dans chacun de ces villages est l'agriculture principalement à travers la culture vivrière.

Le premier village retenu est Andranofasika, électrifié pour la première fois en 2007 par une centrale thermique alimentée par du gazole. Le réseau d'électricité s'étend sur une longueur de 3,45Km. Andranofasika est un petit village situé sur le passage de la route nationale RN4 reliant la capitale et le chef lieu de la région Boeny Mahajanga. En 2012, les abonnés au réseau étaient au nombre de 202 sur 560 ménages. En dehors du jour de marché hebdomadaire où l'électricité est disponible dans la journée ; la production journalière de l'électricité s'effectue uniquement le soir entre 17h30 et 22h30. Le prix de l'électricité y est parmi le plus cher à Madagascar car celui-ci s'élève à 1650 Ariary le KWh soit 0,57€ environ.

Le second village choisi est Manerinerina, électrifié en 2009 par une centrale thermique Diesel. Le réseau s'étend sur une longueur de 4,15Km. Manerinerina se trouve sur le passage de la route nationale RN6 reliant la capitale et la partie Nord de Madagascar. Les abonnés au réseau étaient au nombre de 209 sur 1800 ménages en 2012. A Manerinerina l'électricité n'est disponible que le soir à partir de 17h30 jusqu'à 23h00 sauf le jour du marché où la production s'effectue dans la journée. Le prix de l'électricité s'élève à 1350 Ariary le Kwh soit environ 0,46€.

Le troisième village retenu pour l'étude est Anjajia. En 2010, C'est le premier village électrifié par une centrale thermique alimentée par un système de gazéification de biomasse à Madagascar. La longueur du réseau est de 4,75Km. 228 ménages sur 2700 sont abonnés au réseau en 2012. L'électricité y est parmi le moins cher en zone rurale malgache car le prix du KWh est de 950 Ariary soit 0,32€ environ. L'électricité est également disponible dans la journée à Anjajia.

III Méthode, données et outils

3.1 Collecte de données suivant une approche biographique

La méthode adoptée dans le cadre de ce travail est l'approche biographique. C'est une méthode généralement utilisée en sciences sociales plus particulièrement dans les études démographiques par l'observation quantitative et qualitative des parcours de vie individuels.

[5]. Les données biographiques constituent une source d'informations permettant d'une part d'étudier les dynamiques de vie et d'identifier les différentes trajectoires de vie individuelles. Les données sont de type longitudinal associé à deux caractéristiques importantes, un caractère multidimensionnel comportant les interactions entre les différents domaines d'implications des individus [6] et un autre aspect qui intègre le temps comme un élément inhérent à tout processus d'événement (personnel, familial, social, et historique) et qui influence le déroulement d'une vie [7]. Cependant, en examinant le vécu de l'individu sur une période déterminée de sa vie, les informations sont de nature rétrospective. Malgré les critiques à l'égard de ce type de données telles que le problème de mémoire des répondants, ou les difficultés de collecte de données voire l'analyse quantitative de données biographiques ; la méthodologie est reconnue comme innovante pour comprendre et prédire l'évolution du comportement individuel. Aussi, les méthodes d'analyses actuelles sont peu sensibles aux erreurs de datation quand la succession des événements est bien établie [8]. La richesse des informations recueillies en un seul passage d'enquête rend également possible l'étude des interdépendances entre des trajectoires individuelles parallèles ou entre des individus potentiellement liés. [9].

3.2 Échantillonnage et détermination de la période d'observation

L'échantillon a été stratifié compte tenu des caractéristiques socioéconomiques des zones d'étude pour que celui-ci soit le plus représentatif possible de la population étudiée. La taille de l'échantillon est de 131 ménages repartis de la manière suivante : 65 ménages raccordés au réseau d'électricité et 66 ménages non raccordés au réseau. Puis dans chaque catégorie raccordés et non raccordés nous avons environ 60% d'agriculteurs et 40% de ménages qui exercent principalement des activités non agricoles.

Les enquêtes portent sur le parcours de vie du chef de ménage. Chaque trajectoire a été subdivisée en 5 sous périodes pour chaque individu. Elle est bornée d'un côté par la période P1 correspondant aux 3 années suivant la création du premier ménage et d'un autre côté par la période P5 correspondant aux années après l'électrification rurale. Entre les deux, le temps écoulé a été divisé en 3 périodes. (Figure 1)

Par ailleurs, les sous périodes n'ont pas les mêmes longueurs pour tous les individus car les parcours de vie sont plus long pour certains et moins long pour d'autres ; ainsi les amplitudes de ces sous périodes ne sont pas forcément égales.

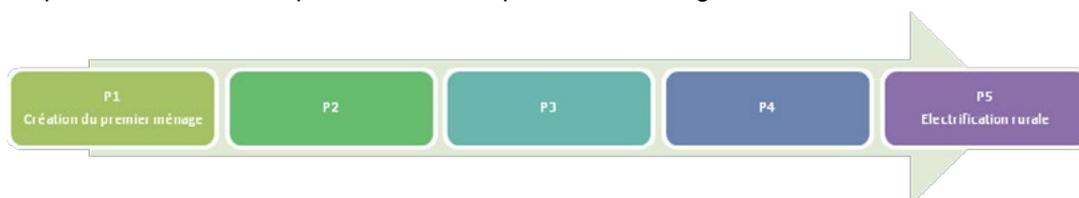


Figure 1 : Période d'observation d'un parcours de vie subdivisée en 5 sous périodes

3.3 Construction de typologie de trajectoires d'activités: Optimal Matching Analysis (OMA) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

Dans le cadre de ce travail, nous entendons par trajectoire l'enchaînement des différents états marquants observés chez l'individu sur son parcours de vie (5 sous périodes). Ainsi, les trajectoires d'activités correspondent à la succession des états d'activités sur les 5 sous périodes qui constituent un parcours de vie. Nous avons distingué ici, l'activité principale ; principale source de revenu du ménage et l'activité secondaire qui procure un revenu supplémentaire.

Le tableau 1 ci-dessous présente une trajectoire d'activité principale d'un chef de ménage. C'est une séquence qui illustre une trajectoire marquée par l'exercice d'une activité principale salariée sur les trois premières sous périodes d'observation, ensuite une bifurcation vers l'agriculture sur les deux dernières sous périodes.

Tableau 1: Extrait d'une séquence de trajectoire d'activité principale

Période d'observation	ACPP1	ACPP2	ACPP3	ACPP4	ACPP5
Séquence des états	F	F	F	A	A

Tableau 2: Codage des différentes activités possibles

Activités (états)	Agriculteur	Artisan	Commerçant	Ouvrier Employé	Profession libérale	Fonctionnaire	Sans activité
Codes	A	B	C	D	E	F	S

L'analyse des trajectoires permet en premier lieu une typologie de trajectoires. Nous avons choisi la méthode d'appariement optimal (OMA) pour mesurer et classer les dissemblances entre les séquences individuelles. [10, 11]. C'est une méthode qui, contrairement aux autres mesures de dissemblances telles que l'analyse factorielle, prend en compte la séquence entière comme unité d'analyse.

Deux étapes distinctes sont alors nécessaires pour construire les typologies de trajectoires. D'une part, le calcul de distance entre chaque paire de séquence à l'aide de 3 opérations élémentaires définies dans l'algorithme de l'OMA : l'insertion d'un élément, la suppression d'un élément et la substitution d'un élément à un autre. Dans le cas d'étude, nous avons opté pour le choix d'un coût de substitution variable qui exprime la probabilité de passer d'un état à un autre afin d'optimiser l'appariement de chaque paire de séquences. D'autre part, nous avons obtenu une typologie de trajectoires selon une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à partir des distances calculées entre les séquences.

IV Résultats et discussions

4.1 Typologie de trajectoires d'activités génératrices de revenus

4.1.1 Typologie de trajectoires d'activités principales

Six trajectoires types ont été identifiées (Figure 2).

Type 1 : une trajectoire d'activité caractérisée par une entrée dans l'agriculture en fin de parcours. 7,6% de l'échantillon appartient à cette classe. Les ménages ayant suivi ce type de trajectoire ont exercé le métier de fonctionnariat avant de retourner à l'agriculture. L'introduction de cette activité agricole a été identifiée à partir de la 3^{ème} sous période des séquences observées. Nos enquêtes révèlent que cette bifurcation correspond à des événements familiaux et professionnels tels que la naissance d'un enfant, l'affectation professionnelle, la retraite, le décès du conjoint salarié. Mais elle peut également être liée à l'augmentation ou à l'acquisition d'une terre agricole. Le retour à l'agriculture correspond ainsi soit à une baisse de revenu suite à un événement subit, soit à un choix suite à un accroissement du capital foncier. C'est le cas par exemple de M. Théophile qui, pendant huit années après la création de son premier ménage était instituteur dans une école primaire publique. A son affectation à Anjiajia, il a commencé à s'intéresser à l'agriculture en louant une parcelle de terre et en exerçant secondairement l'activité agricole. Puis après le décès de sa conjointe, M. Theophile s'est remarié. Ayant acheté la parcelle de terre qu'il louait, il est devenu agriculteur.

Type 2 : une trajectoire d'activité agricole stable. 49,6% de notre échantillon se trouve dans cette classe. Ce sont des ménages agricoles dont la trajectoire est stable. 75% n'ont pas eu de changement d'activité sur la période d'observation. Nos résultats révèlent une trajectoire liée à la sédentarisation. 89% des agriculteurs appartenant à cette classe ont changé au maximum une fois de lieu de résidence sur leur parcours de vie. La trajectoire de M. Rakotondrainy illustre ce parcours type. Ce chef de ménage habitant à Anjiajia n'y exerce que le métier d'agriculture depuis la création de son ménage en 1992 dans le village.

Type 3 : une trajectoire d'activité artisanale ponctuée de changements occasionnels. 13% de l'échantillon correspond à cette classe. C'est la trajectoire type des artisans qui occasionnellement tentent de nouvelles activités avant de retourner ensuite à l'artisanat. Nos observations révèlent que ces bifurcations sont fortement liées à la fragilité du marché artisanal.

C'est le cas, par exemple de M. Rakotonandrasana qui exerce le métier d'artisan depuis 16 ans. Le ménage vivait dans un premier temps dans la capitale malgache pendant dix ans, mais le manque de travail de briqueterie a conduit M. Rakotonandrasana à envisager un autre emploi. Il s'est alors rendu à Anjiajia pour devenir agriculteur. Mais cette activité agricole n'a duré qu'une année et depuis 2007, il s'est remis à son activité artisanale de maçonnerie et de briqueterie.

Type 4 : une trajectoire d'activité commerciale ou libérale stable. 9,2% de l'échantillon appartient à cette classe. Les ménages ayant suivi cette trajectoire sont majoritairement des commerçants ou des professions libérales. Leurs trajectoires sont quasiment stables puisque 67% des ménages appartenant à cette classe n'ont pas eu de changement d'activité sur la période d'observation. Les autres parcours présentent

une bifurcation vers une autre activité non agricole. Tel est le cas de M. Rabeninjara qui n'exerce que des activités hors agricoles depuis la création du ménage en 2002. Il est commerçant depuis cette date. En complément de cette activité, il a ouvert un atelier de décortiquerie en 2010.

Type 5 : une trajectoire d'activité caractérisée par une sortie de l'agriculture. 13% des ménages enquêtés sont dans cette classe. Les ménages ayant suivi ce type de trajectoire ont un point commun, celui de quitter le village d'origine pour trouver un meilleur emploi si possible non agricole. En général ce sont des paysans au capital foncier faible, qui profitent d'opportunités pour développer une autre activité. Pour illustrer concrètement cette trajectoire type, nous prenons le cas de Monsieur Josefa. Avant de s'installer à Andranofasika en 2002 le ménage vivait dans une autre commune de la région en louant 1ha de rizière pour leur unique activité agricole. Le déménagement à Andranofasika, carrefour commercial important, lui a permis, tout en conservant une activité agricole devenue secondaire, de se lancer dans le commerce qui est devenue son activité principale.

Type 6 : une trajectoire ouvrière vers l'agriculture ou le commerce. Cette classe est représentée par 7,6% de l'échantillon. Les ménages ayant suivi cette trajectoire ont démarré leurs parcours par une activité salariée. Contrairement à la trajectoire de type 1, cette trajectoire peut bifurquer soit vers une voie agricole, soit vers une voie commerciale. Cette catégorie est représentée par des ouvriers-employés ayant peu de qualification. En cas de perte de travail, ces ménages ont des difficultés à se réintégrer, ainsi la réorientation de leur trajectoire dépend de l'opportunité présente. Le cas de M. Zoe Nadel est typique de cette trajectoire. Il a exercé dans un premier temps une activité salariée dans un restaurant pendant dix ans pour créer ensuite une activité commerciale qu'il occupe depuis plus de dix ans.

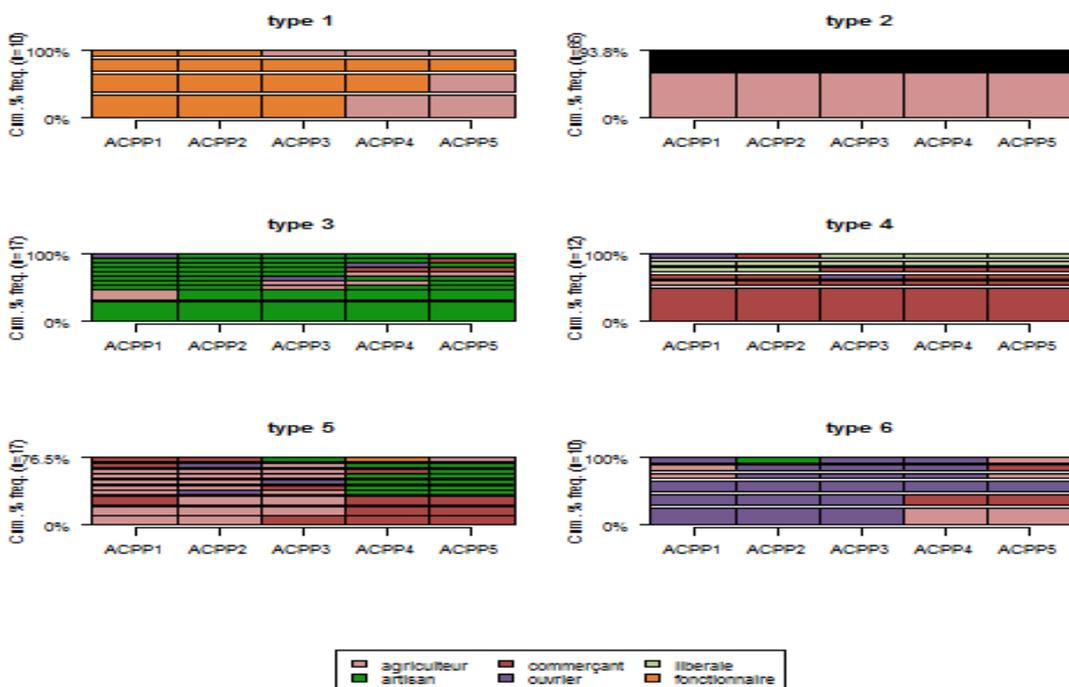


Figure 2 : typologie de trajectoires d'activités principales

4.1.2 Typologie de trajectoires d'activités secondaires

Pour les activités secondaires, nous avons identifié quatre trajectoires types (Figure 3).

Type 1 : une trajectoire d'activité secondaire agricole. 25,2% de notre échantillon appartient à cette classe. Les ménages adoptent dès le départ une activité agricole ou la développent au cours de leur parcours. Les changements coïncident soit à des événements familiaux (remariage, naissance, décès, divorce, changement de résidence) ; soit à des événements professionnels (retraite, accès à un nouvel emploi salarié, affectation)

Type 2 : une trajectoire d'activité secondaire commerciale. 21,4% de l'échantillon se trouve dans cette catégorie. Les ménages adoptent dès le départ une activité commerciale ou la développent au cours de leur parcours. 25% des ménages appartenant à cette classe ont introduit l'activité commerciale au début de leur parcours en l'accompagnant en permanence avec une activité principale. Pour d'autre, l'introduction de cette nouvelle activité a coïncidé avec un épisode particulier sur le parcours de vie. Nous avons identifié que 43% des cas sont relatifs à des événements familiaux, comme un changement de résidence, une naissance ou un décès ; 18% des cas sont liés à l'accès à l'électricité (utilisation d'un groupe électrogène ou abonnement au réseau) et 14% des cas sont très divers, nous avons recensé l'accès à un emploi principal salarié ; l'accès au microcrédit ; l'acquisition d'un savoir faire particulier.

Type 3 : une trajectoire caractérisée par l'absence d'une activité secondaire ou l'exercice d'une activité secondaire occasionnelle. 42,7% de l'échantillon a suivi ce trajectoire type.

Type 4 : une trajectoire d'activités secondaires artisanales ou salariées. 10,7% de l'échantillon relève de ce type de trajectoire. Nos enquêtes montrent que 67% des cas de bifurcation de trajectoire correspondant au changement de résidence. 17% des cas s'accompagnent d'un accès à l'électricité (groupe électrogène ou électricité réseau) et le développement d'une activité commerciale ; et 16% .des cas correspondent à la perte d'emploi.

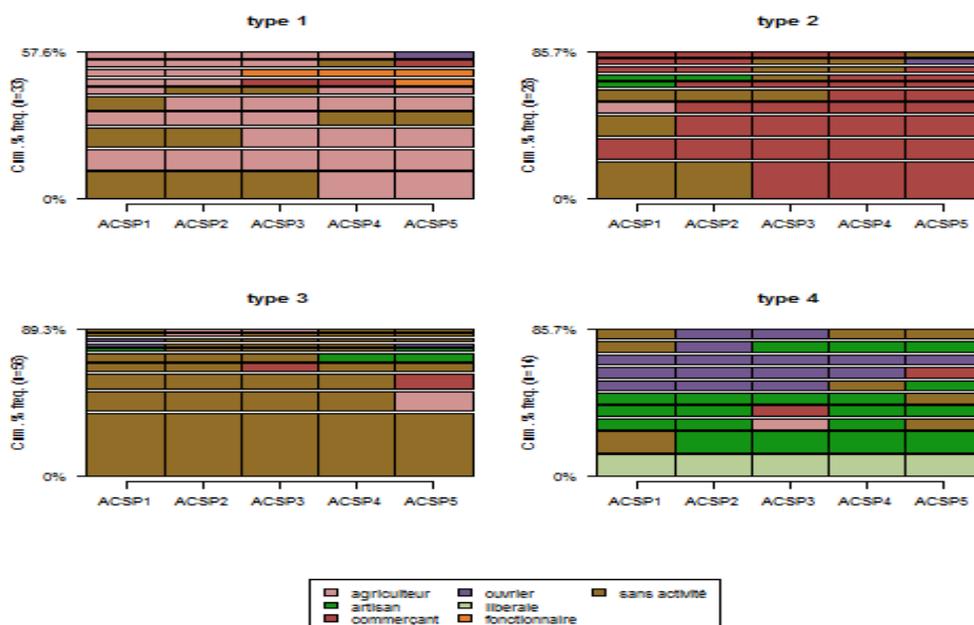


Figure 3 : typologie de trajectoires d'activités secondaires

4.2 Liens entre trajectoires d'activités et l'électrification rurale

4.2.1 Activité principale et électricité

La trajectoire d'activité principale de type 1 se caractérise paradoxalement par une entrée dans l'agriculture et par un raccordement au réseau (Tableau 3). Etant donné que la source énergétique pour les activités agricoles dans les trois sites d'étude est la traction animale, l'électricité n'est pas utilisée pour ce type d'activité. De plus, ces ménages semblent ne pas vouloir développer une activité secondaire nécessitant de l'électricité. Au regard de leur parcours de vie, ces ménages ont longtemps exercé une activité salariée en étant fonctionnaire avant de retourner à l'agriculture. L'électricité est avant tout demandée pour répondre à une exigence de statut social.

La trajectoire d'activité principale de type 2, se caractérise par le maintien d'une activité agricole stable et une absence d'abonnement au réseau. Mais cette absence de corrélation n'est pas significative (Tableau 3). En effet, 43% des ménages de ce type sont raccordés. L'arrivée de l'électricité n'a pas changé ces trajectoires d'activités principales, seulement 3% des ménages appartenant à cette classe ont eu un changement d'activité au cours de la dernière période et ces ménages sont non raccordés. Mais le fort taux de raccordement de cette sous-population montre que même pour les agriculteurs, l'électricité réseau correspond à une demande pour les activités domestiques et pour certains d'entre eux pour les activités secondaires (cf ci-après).

La trajectoire d'activité principale de type 3 a été suivie par des ménages ayant exercé durant leur parcours une activité artisanale fluctuante et sont majoritairement non raccordés (Tableau 3). L'électrification rurale n'a donc pas influencé ce type de trajectoire.

Nos observations mettent en évidence que les artisans ruraux malgaches utilisent majoritairement des équipements manuels. Selon les dires de certains ménages enquêtés, cette situation est liée aux horaires de production de l'électricité qui s'effectue généralement le soir et aussi à la cherté du prix de l'électricité réseau en zone rurale. Dans notre échantillon seul 1 cas d'utilisation de l'électricité réseau à des fins artisanales a été recensé à Anjajia.

La trajectoire d'activité de type 4 se caractérise d'une part par des ménages ayant une activité commerciale stable et d'autre part par une forte proportion de raccordement au réseau (75%). Cependant, dans cette catégorie, aucun ménage n'a changé d'activité après l'arrivée de l'électricité réseau. En effet, 84% des ménages utilisaient déjà l'électricité produite par un groupe électrogène avant l'électrification rurale. L'abonnement au réseau n'est qu'un moyen d'alléger les dépenses en diversifiant les sources énergétiques disponibles.

La trajectoire d'activité principale de type 5 est marquée particulièrement par des ménages sortant de l'agriculture (abandon d'une activité agricole ou substitution des activités en mettant l'agriculture en secondaire). La majorité de ces ménages n'est pas raccordée au réseau. Même si une ou plusieurs bifurcations ont été constatées, nos résultats ont montré que l'électricité réseau n'a pas influencé ce type de trajectoire.

La trajectoire d'activité principale de type 6 est représentée massivement par des ouvriers bifurquant vers le commerce ou l'agriculture et majoritairement raccordés au réseau (Tableau 3). L'électricité n'influence pas directement la trajectoire de ceux qui se dirigent vers une voie agricole. Pour ces ménages, l'électricité est prise au regard du statut social qu'elle offre. En revanche, l'arrivée de l'électricité coïncide significativement avec des bifurcations vers le commerce. 30% des ménages ayant suivi cette trajectoire ont changé leur activité à l'arrivée de l'électricité.

Dans l'ensemble, l'électrification rurale n'a influencé que peu de trajectoires d'activités principales. Si 10% de la population étudiée a eu des changements de trajectoires entre les deux dernières périodes d'observation, seulement 1,5% d'entre elle a profité de l'électricité réseau pour initier des nouvelles activités.

4.2.2 Activité secondaire et électricité

La trajectoire d'activité secondaire de type 1 se caractérise par le développement d'une activité secondaire agricole et une forte proportion de ménages raccordés (Tableau 4). Nous retrouvons le paradoxe déjà relevé avec la trajectoire d'activité principale de type 1. Pour ces ménages l'accès à l'électricité n'influence pas leur trajectoire d'activité secondaire agricole en n'utilisant pas cette énergie. Les bifurcations observées sont donc à rechercher dans d'autres moteurs.

La trajectoire d'activité secondaire de type 2 est relative à une trajectoire d'activité commerciale (Figure 3). C'est une trajectoire typique des agriculteurs qui diversifient leurs activités. Cette classe présente une forte corrélation avec l'abonnement à l'électricité (Tableau 4). 80% de ces ménages sont raccordés au réseau. Mais la moitié d'entre eux avaient déjà l'électricité par groupe électrogène. Ainsi l'électricité réseau n'a infléchi la trajectoire que de 19% des ménages ayant suivi cette trajectoire. Aussi la majorité des ménages dans cette catégorie a une trajectoire d'activité agricole principale stable pour lesquels l'électricité réseau ne fait que renforcer l'activité secondaire.

La trajectoire d'activité secondaire de type 3 est caractérisée majoritairement par l'absence d'une activité secondaire et l'absence de raccordement (Tableau 4). Or nos observation révèlent contre intuitivement, un changement important de trajectoire d'activité dès l'arrivée de l'électricité. En effet, 37,5% des ménages ayant suivi cette trajectoire type ont eu une trajectoire bifurquée dans la dernière période d'observation qu'ils soient raccordés ou non. Nos données révèlent que dès l'électrification rurale, les agriculteurs ont su introduire une activité commerciale, et les commerçants ont introduit l'agriculture. Cette trajectoire est accompagnée par une trajectoire d'activité principale stable, sans changement sur le parcours.

La trajectoire d'activité secondaire de type 4 est caractérisée par l'exercice d'une activité salariée ou artisanale régulière parfois ponctuée par un ou plusieurs changements occasionnels. 71% de ces ménages sont non raccordés au réseau (Tableau 4). Les ménages raccordés sont tous des agriculteurs qui exercent une activité secondaire artisanale ou ouvrière pour laquelle l'accès à l'électricité réseau peut jouer un rôle. Cependant, avec l'arrivée de l'électricité aucun changement d'activité secondaire n'a été observé. L'arrivée de l'électricité n'a pas influencé leurs trajectoires. De la même façon, la majorité des ménages non raccordés n'a pas eu de modification de trajectoire à l'arrivée de l'électricité.

Après l'électrification rurale, des changements de trajectoires d'activités secondaires ont été constatés au niveau de 28% de l'échantillon. Or la proportion des ménages non raccordés concernés par ces changements est légèrement supérieure à celle des raccordés. Ces résultats montrent donc que l'électricité n'est pas le seul facteur pouvant modifier les trajectoires d'activités des ruraux. Dans les trois villages d'étude, seulement 4,5% des ménages enquêtés ont utilisé l'électricité réseau pour améliorer leurs activités secondaires.

Tableau 3 : Trajectoire d'activités principales / abonnement au réseau

Trajectoire type	Non abonnés	abonnés	Effectifs	%
Type 1	<	>	10	7,6
Type 2	>	<	65	49,6
Type 3	>	<	17	13
Type 4	<	>	12	9,2
Type 5	>	<	17	13
Type 6	<	>	10	7,6

Test Exact de Fischer - Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil alpha=0,05

Tableau 4 : Trajectoire d'activités secondaires / abonnement au réseau

Trajectoire type	Non abonnés	abonnés	Effectifs	%
Type 1	<	>	33	25,2
Type 2	<	>	28	21,4
Type 3	>	<	56	42,7
Type 4	>	<	14	10,7

Test Exact de Fischer - Les valeurs affichées en gras sont significatives au seuil alpha=0,05

V Conclusion

Malgré une offre très limitée, l'électricité est utilisée pour les activités génératrices de revenus en milieu rural malgache. Si son utilisation est marginale pour les activités agricoles, les ruraux l'utilisent pour d'autres activités suivant leur stratégie d'amélioration des conditions de vie.

Seulement 10% des ménages de notre échantillon voient leur trajectoire d'activité principale bifurquer après l'arrivée de l'électricité. Mais la nature de ce changement est liée dans l'immense majorité des cas à d'autres événements particuliers coïncidant avec cette dernière. Nos résultats montrent que l'électricité n'a influencé des changements de trajectoires d'activité principale que pour un très petit nombre de ménages. Il s'agit d'un ouvrier et d'un artisan, qui ont profité de l'arrivée de l'électricité pour développer une activité commerciale. Aucune trajectoire de développement d'une activité artisanale principale n'a pu être mise en évidence depuis l'arrivée de l'électricité dans les 3 villages. Les trajectoires de sortie d'agriculture ne sont pas liées à l'arrivée du réseau et ont été identifiées majoritairement chez des agriculteurs non raccordés. Les ménages ayant débuté comme commerçants ou professions libérales ont des trajectoires plutôt stables et utilisaient déjà l'électricité produite par le groupe électrogène avant l'arrivée du réseau. Les trajectoires agricoles, majoritaires dans notre échantillon, sont également plutôt stables et ne sont pas influencées par l'accès à l'électricité réseau.

En revanche, l'influence de l'électrification rurale est plus forte sur les trajectoires d'activités secondaires. 28% de notre échantillon a vu sa trajectoire bifurquer entre les deux dernières

périodes d'observation. Ces bifurcations correspondent à des stratégies de diversification des activités. Néanmoins toutes ne se justifient pas par l'arrivée de l'électricité.

Dans notre cas d'étude, seulement 4,5% des ménages ont saisi l'opportunité du réseau pour développer de nouvelles activités secondaires. Il s'agit principalement d'agriculteurs ayant développé le commerce.

Au final, comme le rappelle également T. Bernard [3], cette analyse montre que l'électricité n'est pas à elle seule un moteur assez puissant pour initier de nouvelles trajectoires d'activité en milieu rural. Les bifurcations vers l'artisanat sont en particulier quasi inexistantes. Une première explication est sans doute à trouver dans l'étroitesse et les incertitudes du marché des produits artisanaux (meubles, outils agricoles, etc) qui offre alors peu d'opportunités, mais également dans l'absence d'aides à l'équipement productif. L'électricité n'est qu'un moyen de production qui n'est rien sans les machines productives. L'arrivée du réseau a permis aux acteurs déjà équipés, principalement des commerçants de diversifier leurs sources énergétiques et ainsi d'optimiser et/ou d'intensifier leurs activités, mais n'a pas été le vecteur de nouveaux équipements productifs.

Références bibliographiques

1. INSTAT, *Enquêtes Périodiques des ménages*, 2010, INSTAT: Madagascar.
2. ADER, *L'électrification rurale: énergie pour tous*, 2012, ADER: Madagascar.
3. BERNARD, T., *Impact Analysis of Rural Electrification Projects in Sub-Saharan Africa*. The World Bank Research Observer, 2010. **27**(1): p. 33-51.
4. IEG, *The Welfare Impact of Rural Electrification: A Reassessment of the Costs and Benefits*, 2008, The World Bank: Washington, DC.
5. GRAB, *Biographies d'enquêtes, bilan de 14 collectes biographiques*. Méthodes et Savoirs n° 3. 1999, Paris: Ined.
6. Courgeau, D. and E. Lelièvre, *Event History Analysis in Demography*. 1992, Oxford University Press: Clarendon Press. 226 p.
7. Lelièvre, É. and G. Vivier, *Evaluation d'une collecte à la croisée du quantitatif et du qualitatif*. Population, 2001. **56**(6): p. 1043-1074.
8. Bocquier, P., *Antériorité, causalité, et corrélation*, in *Analyse des enquêtes biographiques* 1996, Documents et manuels du CEPED.
9. Robette, N., *Explorer et décrire les parcours de vie: les typologies de trajectoires*. 2011, Paris: CEPED.
10. Abbott, A. and J. Forrest, *Optimal Matching Methods for Historical Sequences* Journal of Interdisciplinary History, 1986. **26**: p. 471-494.
11. Abbott, A. and A. Hrycak, *Measuring resemblance in sequence data: an optimal matching analysis of musician's careers*. American Journal of Sociology, 1990(96): p. 144-185.

RENFORCEMENT DE LA PRODUCTION DES BIOÉNERGIES AU BURKINA FASO À TRAVERS LA BIOFERMENTATION DES RÉSIDUS DE MANGUES ISSUS DE L'AGRO-INDUSTRIE.

M. K. SOMDA ⁽¹⁾, A. S. TRAORE ⁽¹⁾⁽²⁾

(1) Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN).
Laboratoire de Microbiologie et de Biotechnologie ; Université de Ouagadougou.
Adresse : 03 BP 7131 Ouagadougou 03

E-mail : somdamarius@yahoo.fr

(2) Président du Réseau Ouest Africain des Biotechnologies (RA Biotech)
Adresse : 03 BP 7131 Ouagadougou 03

E-mail : astraoire@yahoo.fr / astraoire@univ-ouaga.bf

Mots clés : Résidus, Biomasse, Microorganismes, Bioéthanol, Biocarburants.

Résumé

Le recours aux bioénergies dont les biocarburants résulte de la survenue des crises énergétiques tels les chocs pétroliers et/ou de la certitude que les énergies fossiles constituent des stocks bien limités, appelés à finir un jour. Dans ce contexte, le Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) s'est lancé dans l'exploration pour des énergies renouvelables en se focalisant sur la valorisation des matières agricoles renouvelables à souhait tels que les résidus de mangues, abondants au Burkina Faso. Il s'agit donc ici de la bio fermentation de ces résidus de mangues pour en tirer de l'éthanol et un composte enrichies capable d'accroître le pouvoir fertilisant des sols pour un meilleur rendement agricole.

L'analyse chimique des divers résidus de mangues provenant des unités de transformation des fruits et légumes comme DAFANI, installée à Orodara, montre qu'après l'extraction de la pulpe (nectar) des manques, les résidus obtenus renferment encore $22,62\pm 0,04$ (g/g) d'hydrates de carbone ($P>0,05$), dont $5,7\pm 0,02$ % (g/g) de sucres réducteurs ($P>0,05$). Ces hydrates de carbone constituent les principaux substrats à la base de la production de l'éthanol lorsqu'ils sont soumis à l'action des microorganismes comme les levures.

Une variation significative de bioéthanol produite ($P<0,05$) de l'ordre de $0,14\pm 0,01$ g éthanol/g résidus à $0,19\pm 0,22$ g éthanol/g résidus à partir résidus de mangues a été obtenue en présence respectivement de *S. Cerevisiae* S3 et *S. Cerevisiae* A1, deux souches de levures isolées au CRSBAN. Le taux de sucres réducteurs dans les résidus de mangues a été amélioré pour atteindre $78\pm 0,1$ % (g/g résidus) sous l'action des enzymes hydrolysantes provenant de *Bacillus licheniformis*.

Les procédés d'optimisation combinant ce système de saccharification du substrat par *Bacillus licheniformis* suivie d'une fermentation par *S. Cerevisiae* S3 et *S. Cerevisiae* A1; ont permis d'obtenir des concentrations différentes ($P < 0,05$) de bioéthanol de l'ordre de $0,27 \pm 0,01$ g éthanol/g résidus à $0,36 \pm 0,02$ g éthanol/g résidus. De même une plus grande optimisation des conditions de croissance des souches fermentaires par apport des sels minéraux appropriés a permis d'améliorer les productions qui sont alors passées de $0,33 \pm 0,03$ g éthanol/g résidus à $0,42 \pm 0,01$ g éthanol/g résidus.

Ainsi avec 33 à 42 % de rendement en éthanol (g/g), cette étude montre que les résidus de mangues constituent une biomasse potentiellement valorisable par la voie biotechnologique en tant que source de bioénergie dans la catégorie des biocarburants éthyliques qui comprennent l'éthanol, l'éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE), le méthanol et le butanol.

I Introduction

De nos jours le développement des biocarburants répond à trois soucis majeurs. Premièrement, l'énergie à base du pétrole fossile est de plus en plus cher depuis les crises pétrolières des années 1973 (1) qui ont sonné l'alerte. Deuxièmement, ces énergies fossiles sont constituées par des stocks bien limités dans le temps quel que soit le rythme de leur exploitation. Troisièmement, l'impact de ces énergies sur l'environnement en termes de gaz à effet de serre et de changements climatiques mobilise de plus en plus la communauté internationale depuis le Sommet de Rio en 1992. Dans ce contexte, il faut trouver des énergies alternatives qui soient peu coûteuses, renouvelables à dessein et contribuant à la réduction des gaz à effet de serre.

La solution à cette problématique peut provenir aujourd'hui d'une politique de développement bien équilibrée, reposant sur la transformation en biocarburant de la biomasse végétale n'entrant pas en compétition avec l'alimentation humaine. Le Brésil est fréquemment cité comme un exemple pionnier dans ce domaine. Pour remédier le déficit d'énergie fossile, ce pays produit à l'heure actuelle, essentiellement à partir de la canne à sucre, plus de 12 milliards de litres de biocarburants par an, soit près du tiers de la production mondiale [2].

L'Afrique a les moyens de produire des agro-carburants, disposant d'une biomasse végétale importante. Plusieurs pays africains, dont le Nigeria, envisagent de produire de l'éthanol comme source de biocarburants à partir de l'amidon de manioc, à l'échelle industrielle [3].

Le Burkina Faso pays enclavé, jusqu'ici dépourvu de ressources fossiles, n'est pas en reste dans ce mouvement de recherche de sources alternatives d'énergies renouvelables. Sa facture pétrolière atteint par an quelque 80 milliards de FCFA pour combler ses besoins énergétiques qui sont de plus en plus croissants (15% en moyenne de par an) [4]. Actuellement, 90% des besoins énergétiques de ce pays sont satisfaits par le bois et le charbon de bois. Avec ses partenaires au développement, il a lancé depuis les années 1980, des initiatives de production d'huile pure de jatropha comme carburant alternatif (4). Dans la recherche de l'autosuffisance énergétique, le Burkina

Faso veut mettre l'accent sur la voie des bioénergies ou biocarburants, résultant de la valorisation des agro-ressources tout en préservant l'environnement.

Ce pays produit aujourd'hui d'énormes quantités de fruits et légumes, évaluées à plus de 150.000 tonnes par an. Plus de 50.000 tonnes de cette production sont constitués par des pertes. Elles sont riches en substrats (carbohydrates) hydrolysables et fermentescibles (5). Sans compromettre l'alimentation des populations, ces pertes sont susceptibles de servir de matières premières dans la valorisation des déchets selon plusieurs voies (compostage en vue d'obtention des fertilisants biologiques agricoles, fermentation méthanique, production du bioéthanol, etc.).

La présente étude s'inscrit dans une dynamique de production de bioénergie (bioéthanol) à partir de la biomasse agro-industrielle, disponible au sein des unités de gestion et de transformations des fruits et légumes, de la société sucrière du burkina Faso (mélasse), etc. En effet, jusqu'ici l'essentiel de ces déchets qui ont un potentiel énergétique élevé constituent des polluants pour l'environnement puisqu'ils y sont déversés sans précaution. A titre d'exemple, une partie remarquable des mélasses est tout simplement utilisée comme agent de recouvrement des pistes au tour de l'usine dans l'attente des premières pluies qui ne manqueront pas de les lessiver. Quelle perte d'énergie ?

Pour mener cette étude de production de bioéthanol, nous nous sommes focalisés sur la transformation biotechnologique des résidus de mangues en vue de montrer leur potentiel non négligeable dans la réduction de la facture pétrolière au Burkina Faso, accumulant plusieurs types de déchets : déchets agroindustriels, résidus de récoltes et autres résidus pailleux de jachère.

II Matériel et méthodes

Les échantillons (résidus de mangues) ont été collectés à partir de l'unité de transformations des fruits installée à Orodara et dénommé DAFANI. Ils ont été triés par variétés et broyés séparément à l'aide d'un broyeur électrique. Le broyat obtenu a permis d'engager les analyses. Tous les tests ont été réalisés au Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN) de l'Université de Ouagadougou.

2.1 Détermination du taux de carbohydrates

Elle a été réalisée par dosage spectrophotométrique des échantillons, à l'aide d'un spectrophotomètre lecteur de plaque et couplé à un ordinateur muni d'un logiciel KC Junior intégré. Les concentrations des sucres sont calculées à partir de deux courbes d'étalonnage établies respectivement avec du D-glucose et du maltose comme standards.

La concentration des sucres totaux est déduite à partir de courbe étalon des sucres totaux avec le D-Glucose comme sucre de référence [6].

Le taux de sucres réducteurs est déterminé par la méthode colorimétrique de Konlani *et al.* [7] utilisant le 3,5 acide dinitrosalicylique (DNS).

2.2 Production de bioéthanol et optimisation du rendement en bioéthanol

Les souches levuriennes (*S. Cerevisiae* A1 et S3)) et bactériennes (*Bacillus licheniformis*) utilisées pour les procédés de bioconversion des carbohydrates en bioéthanol ont été isolées, sélectionnées et identifiées au CRSBAN.

2.2.1 Hydrolyse enzymatique des carbohydrates

En référence aux travaux de Somda *et al.* (8, 9) l'hydrolyse enzymatique des résidus de mangues a été conduite à des températures de 50-55 °C utilisant des α -amylases produites par des bactéries du genre *B. licheniformis*. L'évaluation de la performance de l'hydrolyse a été estimée par le taux de libération des sucres réducteurs.

2.2.2 Procédé simultané de saccharification et de fermentation (SSF) des résidus

Le procédé SSF a été réalisé selon la méthode de Somda *et al.* [9]. L'hydrolyse des résidus de mangues (broyats de pulpe et noyau) et la fermentation simultanée ont été réalisées dans un bioréacteur de 500 ml, utilisant 10% de substrat (P/V).

Après liquéfaction, le pH est ajusté à 4,5 La croissance de *B. licheniformis*, ayant servi d'inoculum est engagée à la température de 55°C pendant 4 heures. La température alors ramenée à 40 °C avant l'ajout des souches de levures sélectionnées. Le rendement théorique de la SSF a été calculé en supposant que tout le glucose potentiel dans la matière était disponible pour la fermentation. Chaque expérience de croissance a été répétée trois fois. La concentration de l'éthanol est déterminée chaque 24 heures après distillation de 10 ml du milieu issus du processus de la fermentation.

L'éthanol alors recueillie de la distillation est mesurée par la méthode chromatographique (121 DFL-Intersmat) utilisant un 60/80 carbopack B 15% Carbowax 20 M glass column et un détecteur d'ionisation. Le méthanol sert de standard interne [10].

2.3 Analyse statistique

Les moyennes et écarts des données ont été obtenus à l'aide du tableur excel 2010. L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 10.0 et la différence significative entre les données a été fixée à P=0,05.

III Résultats et Discussion

3.1 Teneur en sucres totaux et réducteurs dans les résidus de mangues

Le tableau 1 rapporte le taux de carbohydrates obtenus sur les résidus de mangues.

Tableau 1 : Teneur en **sucres totaux et réducteurs** des résidus de mangues

Molécules fermentescibles	Site (A)	Site (B)	Site (C)	Site (D)
% Sucres réducteurs (g/g)	5,69 ± 0,4	5,69 ± 0,38	5,68 ± 0,47	5,74 ± 0,39
% Sucres totaux (g/g)	22,62 ± 0,3	22,61 ± 0,11	22,62 ± 0,13	22,63 ± 0,2

L'analyse des carbohydrates de l'ensemble des résidus collectés au niveau des différents sites montre une teneur moyenne en sucres réducteurs de l'ordre de $5,70 \pm 0,29\%$. Il n'y a pas de différence significative entre valeurs moyennes des différents échantillons ($P > 0,05$). Le taux moyen en sucres réducteurs trouvé est proche des valeurs moyennes trouvées par Hossain *et al.* [11] sur la pulpe fraîche de mangues qui sont de 6,58% à 10,35%. Elle se situe dans l'intervalle des valeurs obtenues dans d'autres fruits tels que la banane, l'orange, l'ananas qui varient de 4 à 15 % [12]. Les faibles taux de sucres réducteurs trouvés dans les résidus mangues analysés sont dus à leur dégradation par des enzymes ou l'action microbienne [9].

Le taux moyen en sucres totaux des échantillons est de $22,62 \pm 0,2\%$ ($P > 0,05$). Ce taux est comparativement inférieur à la teneur trouvée sur la pulpe de mangue par Hossain *et al.* [11] qui était de 26,85%; mais légèrement supérieur à celui de Akubor (21%) [12].

Les travaux de Chantata *et al.* [13], ont montré que l'enveloppe de la pomme après extraction du jus constituait un déchet agro-industriel valorisable, car elle représente 15-30 % de carbohydrates fermentescibles.

Ainsi la teneur en carbohydrates des résidus mangues, montre qu'ils peuvent constituer une source importante de biomasse au même titre que les principales sources déjà existantes que sont les résidus de céréales (maïs, sorgho, blé, mil, riz), de tiges des plantes (canne à sucre), de tubercules (betterave, patate, igname) et surtout de fruits (mélasse, papaye, orange...) mais aussi d'herbes rampantes [14].

3.2 Saccharification des carbohydrates

Le procédé d'hydrolyse de la matière première ou technique de bioraffinage des composés celluloseux, utilisant les α -amylases bactériennes, a fourni les résultats consignés dans le tableau 2.

Tableau 2. Cinétique de l'hydrolyse des carbohydrates des résidus de mangues

Temps d'hydrolyse (min)	<i>B. licheniformis</i> (% de sucres libérés)	
	Amylase (-)	Amylase (+)
0	2	2
20	2	8
40	5	15
60	5	19
80	5	22
120	5	49
160	5	78
200	5	78
240	5	78

Le procédé enzymatique performant pour la biotransformation des carbohydrates non fermentescibles, a permis de libérer à partir des résidus le maximum de sucres fermentescibles en bioéthanol. Les souches de *Bacillus licheniformis* a permis d'hydrolyser les carbohydrates non réductibles des résidus de mangues et libérer respectivement 78% (g/g) de sucres réducteurs. Ce pourcentage atteste la capacité hydrolysante de la souche sélectionnée. Elle possède des α -amylases et glucoamylases capables de rompre les ponts osidiques et de libérer ainsi les sucres simples [9].

Les bactéries du genre *Bacillus* ont été exploitées dans ce procédé d'optimisation car elles peuvent synthétiser une diversité de vitamines dont la thiamine, la riboflavine et la biotine. Ces vitamines joueraient un rôle dans l'amélioration de la tolérance alcoolique de *Saccharomyces* [15].

3.3 Production de bioéthanol

Tableau3. Rendement de bioconversion en bioéthanol des résidus par les souches Expérience réalisé avec 100g/litre de substrat

Conditions de bioconversion	Performance des souches de levures (g éthanol/100 g de substrat)	
	<i>S. Cerevisiae</i> S3	<i>S. Cerevisiae</i> A1
condition standard	14±0,01	19±0,22
Saccharification suivi de la fermentation (SSF)	27 ± 0,01	33 ± 0,02
Saccharification suivi de la fermentation (SSF)+ ajout d'éléments minéraux (facteurs de croissance bactérienne)	36 ± 0,03	42 ± 0,01

La technique standard de fermentation a permis d'obtenir significativement ($P < 0,05$) des rendements éthanoliques respectifs de l'ordre de 0,14±0,01 (g éthanol/ g résidus) et 0,19±0,22 (g éthanol/ g résidus) pour *S. Cerevisiae* S3 et *S. Cerevisiae* A1.

Les résultats issus du procédé d'optimisation (SSF) de la production d'éthanol montrent que les souches *S. Cerevisiae* S3 et *S. Cerevisiae* A1 produisent des taux alcooliques respectifs de 0,27 ± 0,01 (g éthanol/ g résidus) et 0,33 ± 0,02 (g éthanol/ g résidus). Ces deux souches présentent une différence significative de production éthanolique ($P < 0,05$). Par ailleurs l'introduction contrôlée des sels minéraux a permis d'accroître la performance des souches dans la production de l'éthanol. Cela s'est traduit par la hausse significative ($P < 0,05$) du rendement éthanolique de 0,36 ± 0,03 (g éthanol/ g résidus) et 0,42 ± 0,01 (g éthanol/ g résidus) au niveau respectif des souches *S. Cerevisiae* S3 et *S. Cerevisiae* A1. Les résultats obtenus sur la biofermentation des résidus sont comparables à ceux d'autres auteurs utilisant des sources de biomasse différente.

L'équipe de Suresh et al. [16], en utilisant une hydrolyse par des α -amylases de *Bacillus subtilis* suivie d'une fermentation de *S. cerevisiae*, ont pu obtenir des concentrations de 0,37 (g éthanol/ g résidus) sur la paille de blé et 0,32 (g éthanol/ g résidus) sur les résidus de tiges de sorgho.

Nigam et al. [17] sont parvenues à atteindre un rendement 0,41 (g éthanol/ g résidus) en utilisant des enzymes provenant de *Pichia stipitis* sur de l'hémicellulose de la paille de blé. Egalement Oyeleke et Jibrin [18] au Nigeria ont pu valoriser les déchets agricoles, en procédant simultanément à une saccharification de la paille de maïs et de mil par

Aspergillus niger suivi d'une fermentation de *Zymomonas mobilis*. Des taux éthanoliques respectives de 0,45 (g éthanol/ g résidus) et 0,35 (g éthanol/ g résidus) ont été obtenues sur la paille de maïs et de mil.

IV Conclusion

Selon les pronostics d'une étude publiée en 2011 au Brésil, les prix du pétrole et de l'éthanol devraient fortement augmenter d'ici à 2020 (Consultant Ernst & Young Terco et la Fondation Getulio Vargas). A cette date, le prix de l'alcool se positionnerait entre 292 et 374 dollars par baril en équivalent pétrole.

Le travail de valorisation des résidus de mangues par la biotransformation en éthanol trouve donc parfaitement sa justification comme carburant alternatif crédible au pétrole quand on enregistre aujourd'hui un nombre grandissant de véhicules fonctionnant au superéthanol, symbolisé par E85 qui n'est autre chose qu'un mélange de 85 % d'éthanol en 15 %d'essence. Le E85 est officiellement autorisé en France depuis 2007.

L'optimisation des conditions de croissance des souches productrices du bioéthanol par apport des sels minéraux appropriés a permis d'améliorer les productions qui sont alors passées de $33 \pm 0,03$ à $42 \pm 0,01\%$ (poids éthanol/poids résidus). Ces résultats confirment que les résidus de mangues constituent une source importante de biomasse exploitable pour la production de biocarburant.

Mais dans un pays comme le Burkina Faso, il faut éviter de mettre en compétition la production des biocarburants et la production alimentaire en évitant d'utiliser tout ce qui peut servir pour le moment à l'alimentation des populations : céréales, occupations des zones fertiles par des cultures à but de biocarburant (Jatropha), etc. Lorsque le pays sera excédentaire en production agricole avec une autosuffisance alimentaire assurée pour tous, il sera alors envisageable de transformer l'excès des céréales en biocarburant. Pour le moment, il faut surtout évoluer vers les biocarburants de deuxième génération qui résultent de la transformation biotechnologique en bioéthanol des sous-produits agricoles ou industriels, de forêts, de substrats pailleux de jachère, etc. Cette voie présente un double avantage : assainissement de l'environnement et production d'un biocarburant qui contribue peu à l'augmentation des gaz à effet de serre et aux changements climatiques. En effet, le bioéthanol ainsi obtenu peut être transformé en ETBE (éthyl tertio butyl éther) participant à la réduction des gaz à effet de serre. C'est ce qui explique l'adoption en Europe du E85 comme carburant officiel alternatif pour les véhicules.

En définitive, l'utilisation des résidus de mangues ou d'autres types de déchets agroindustriels (mélasses) pour la production de bioéthanol serait un atout considérable pour le Burkina Faso. Elle présente en effet multiples avantages :

- du point de vue environnemental et santé des populations, elle permet de réaliser un cadre sain de vie pour les populations;
- du point de vue socio-économique, elle ne crée pas de compétition avec l'usage alimentaire ou agroalimentaire puisqu'il s'agit de déchets généralement abandonnés dans la nature ;

- du point de vue de l'équilibre budgétaire, elle permettrait de réduire la facture énergétique du pays en transformant 30 à 40 % des déchets amylo-cellulosiques en biocarburant.

Références bibliographiques

1. Makkar, R. S. and Cameotra, S. S. (2002). An update on the use of unconventional substrates for biosurfactant production and their new applications. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 58: 428-434.
2. Licht, F.O. (2005). World ethanol and biofuels report. pp. 3-15.
3. Alazard-Toux, N., Ballerini, D., Dohy, M., Montagne, X., Sigaud, J. B. (2006). La place des biocarburants dans le contexte énergétique mondial, IFP Publications - Editions Technip - Paris, *Les Biocarburants : Etat des lieux, perspectives et enjeux du développement*. ISBN: 2-7108-0869-2. pp. 1-77.
4. CILSS (2007). Comité permanent inter-Etats de Lutte contre la Sècheresse dans le Sahel. Biocarburants au Burkina Faso. Contraintes, Atouts et perspectives. 22p.
5. Fogue, K. (1998). Technologie de séchage des fruits et légumes. Service d'appui aux PME (SAPE); CEAS Ouagadougou. Burkina Faso. 51p.
6. Fox, J.D., Robyt, J.F. (1991). Miniaturization of three carbohydrates analysis using a microsample plate reader. *Anal. Bioch.* 195 : 93-96.
7. Konlani, S., Degenes, J. P., Moletta R., Traoré A. S., Doh A. J. (1996). Isolation and characterization of yeasts involved in sorghum beer production. *Food. Biotech.* 10 (1): 29-40.
8. Somda, M. K., Savadogo, A., Ouattara, C. A. T., Ouattara, A. S., Traoré A. S. (2011a). Thermotolerant and alcohol-tolerant yeasts targeted to optimize hydrolyzation from mango peel for high bioethanol production. *Asi. J. Bioetch.* 3(1): 77-83.
9. Somda, M. K., Savadogo, A., Ouattara, C. A. T., Ouattara, A. S., Traoré A. S. (2011b). Improvement of bioethanol production using amylasic properties from *Bacillus licheniformis* and yeast strains fermentation for biomass valorization. *Asi. J. Biotech.* 3(3): 254-261.
10. Sree, N. K., Sridhar, M., Suresh, K., Banat, I. M., Rao, L. V. (2000). High alcohol production by repeated batch fermentation using an immobilized osmotolerant *S. cerevisiae*. *J. Ind. Microbiol.* 24 : 22-226.
11. Hossain, M., Haque, M., Rahim, M. A., Rahman, M. A. (2001). Physio-morphological and compositional variation in ripe fruit of three mango varieties. *J. Biol. Sci.* 1 (11) : 1101-1102.
12. Akubor, P. I. (1996). The suitability of african bush mango juice for wine production. *Plant food Hum. Nutri.* 49 : 213-219.
13. Chatanta, D. K., Attri, C., Gopal, K., Devi, M., Gupta, G., Bhalla, T. C. (2008). Bioethanol production from apple pomace left after juice extraction. *Inter. J. Microbiol.* 5 : 60-80.
14. Ibeto, C.N., Okpara, C. G. (2010). Nigeria's potentials of renewable energy sources for water desalination with emphasis on biomass. *J. Sci. Technol. Res.* 9 : 66-73.
15. O'Toole, D. K. (1999). Characteristics and use of Okara, the soybean residue from milk production: A review. *J. Agric. Food Chem.* 47 : 363-371.

16. Suresh, K., Kiransree, N., Rao, L. V. (1999). Production of ethanol by raw starch hydrolysis and fermentation of damaged grains of wheat and sorghum. *Bioprocess Eng.* 21: 165-168.
17. Nigam, J. N. (2001). Ethanol production from wheat straw hemicelluloses hydrolysate by *Pichia stipitis*. *Biotechnol.* 87: 17-27.
18. Oyeleke, S. B., Jibrin, N. M. (2009). Production of bioethanol from guinea cornhusk and millet husk. *Afric. J. Microbiol. Researc.* 3 (4): 147-152.

LES BIOÉNERGIES, OPPORTUNITÉ POUR LE DÉVELOPPEMENT DU SECTEUR AGROALIMENTAIRE : ÉTUDE DE LA FILIÈRE MANGUE SÉCHÉE AU BURKINA FASO

M.RIVIER ⁽¹⁾, J.M. MEOT ⁽¹⁾, P.SEBASTIAN ⁽²⁾, A.COLLIGNAN ⁽³⁾

(1) CIRAD, UMR QualiSud, TA B-95/15
73 rue JF Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France
Contacts email : michel.rivier@cirad.fr ; jean-michel.meot@cirad.fr

(2) Université de Bordeaux, I2M, UMR CNRS 5295
Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence cedex, France
Contact email : patrick.sebastian@trefle.u-bordeaux.fr

(3) Montpellier SupAgro, UMR QualiSud
1101 avenue Agropolis, CS 24501,
34093 Montpellier cedex 5, France
Contact email : antoine.collignan@supagro.inra.fr

Mots clés : Bioénergies, Transformation, Agroalimentaire, Séchage, Mangue.

I Introduction

L'économie de nombreux pays de la zone sub-saharienne repose largement sur l'agriculture, basée avant tout sur les cultures vivrières. Ce secteur emploie une majorité des actifs, contribue à la formation du produit intérieur brut (PIB), des revenus des ménages ruraux, de l'équilibre de la balance commerciale et de la sécurité alimentaire des populations [1]. La croissance du secteur agricole permet également le développement des exportations, particulièrement grâce aux cultures de rente comme le coton mais aussi le sésame, le karité et la mangue [1 ; 2].

Dans un contexte d'urbanisation croissance et face aux mutations dans les modes de consommation alimentaire, une partie des produits de cultures ou de cueillette n'est plus transformée au niveau familial mais au niveau de petites entreprises et de groupements pour la valorisation vers des produits alimentaires. Par la création locale de valeur ajoutée et d'activités génératrices de revenus, le développement du secteur de la transformation agroalimentaire est aujourd'hui reconnu comme élément moteur vers la sécurité alimentaire [3] et répondant au défi de la croissance démographique [4].

La transformation agroalimentaire se caractérise par de nombreuses opérations unitaires réputées énergivores. L'une d'elles, le séchage, est une voie de préservation et de valorisation des produits très appréciée mais nécessitant une grande quantité d'énergie apportée par quantité de produit élaboré. C'est ainsi que l'un des blocages majeurs pour cette opération, particulièrement en Afrique sub-saharienne, reste encore l'accès à l'énergie [5 ; 6].

Au Burkina Faso, depuis les années 1980, le séchage de la mangue s'est développé et une soixantaine d'unités produisent aujourd'hui de la mangue séchée biologique pour le marché « export ». Après des années de croissance dans les volumes exportés, les ventes ont fortement chuté à partir de l'année 2007 [7].

La communication se propose de présenter le contexte des unités de séchage de mangue au Burkina Faso et d'analyser, sur la base des sciences techniques, l'évolution de leur développement. La fourniture énergétique des unités est abordée afin d'en évaluer l'impact sur la qualité de la mangue sèche et sur son coût de production. Enfin, l'apport des bioénergies et leur mise en œuvre dans l'opération unitaire de séchage sont discutés.

II Les unités de séchage de mangue au Burkina Faso

2.1 Développement des unités

Situé au cœur de la zone sahélienne, le Burkina Faso est couvert par un important verger de manguiers à l'Ouest et au Sud-Ouest. La production de mangues s'étale de février à septembre avec un pic de production en avril, mai et juin.

Au début des années 1980, la consommation locale et l'exportation « en frais » de fruits de qualité n'absorbent qu'une partie de la production nationale. Devant l'abondance de la production et les pertes post-récolte (pertes estimées à plusieurs milliers de tonnes et près de 50 % de la production), les pouvoirs publics et des Organisations non gouvernementales (ONG) ont soutenu l'installation des premières unités de séchage. L'ONG « Centre Écologique Albert Schweitzer (CEAS) » a été très active dans ce soutien et sur la recherche d'un marché de la mangue sèche, labellisée « biologique », à l'exportation vers l'Europe [7]. En 1995, l'accompagnement par le CEAS de la conception et la diffusion du séchoir « Atesta » (figure 1), a été l'un des éléments déterminant dans le développement de la filière et la dissémination des unités de séchage. Ce séchoir est à combustion directe de gaz et en convection naturelle ; 20 kg de mangue sèche peuvent être produits par cycle de 24 heures.

Une soixantaine d'entreprises de séchage représentent aujourd'hui une capacité maximale de production d'environ 640 tonnes par campagne de séchage au Burkina Faso (3/4 mois) sur les 350 exemplaires du séchoir Atesta équipant presque exclusivement les unités [7]. L'ensemble des opérations unitaires (lavage, épluchage, tranchage, séchage) nécessite une main d'œuvre importante estimée entre 1500 et 2000 personnes sur l'ensemble des unités burkinabè.

2.2 Marché de la mangue séchée du Burkina Faso et son évolution

Les unités du Burkina Faso approvisionnent 90% du marché européen de la mangue séchée biologique. Les exportations ont atteint un niveau de 600 tonnes en 2007 pour ensuite baisser à 490 tonnes en 2008 puis 200 tonnes en 2009, malgré le potentiel d'accroissement de la demande relevé dans une étude de marché réalisée en 2011 [7]. Cette étude fait ressortir deux éléments qui affectent le volume des ventes auprès du consommateur européen : la qualité et le prix.

Le chiffre d'affaire généré, en sortie des unités de transformation, par la vente de 600 tonnes de mangue séchée en 2007 est de l'ordre de 1,8 milliard de FCFA (près de 2,75 millions d'euros).

III L'amélioration des outils de production de la mangue séchée

3.1 Typologie des unités de séchage de mangue au Burkina Faso

Au Burkina Faso, les unités de séchage de la mangue sont caractérisées par leur implantation près des zones de récolte ; leur capacité de production varie de une à près de 40 tonnes de mangue sèche par campagne de séchage [7], soit de 12 à 480 tonnes de mangues transformées (entre 12 et 15 kg de fruits sont nécessaires pour produire un kg de mangue séchée).

Tableau 1. Capacité de production des entreprises de séchage de mangue au Burkina Faso [7]

Capacité de production de l'entreprise (tonnes de mangue sèche par campagne)	Nombre d'entreprises	Capacité de production totale (tonnes de mangue sèche par campagne)
< 2 t	1	1 t
2 – 5 t	9	38 t
6 – 10 t	34	262 t
11 – 20 t	11	166 t
21 – 36 t	6	173 t
Total estimé	61	640 t

De 1 à 20 séchoirs Atesta équipent les unités. La puissance installée par séchoir est de l'ordre de 20 kW thermique (combustion de gaz butane pour le chauffage de l'air de séchage), soit de 20 à 400 kW thermique installés selon la typologie des unités.

3.2 Contraintes dans la production de la mangue séchée au Burkina Faso

Depuis plusieurs années, les acteurs de la filière du Burkina Faso ont exprimé leurs préoccupations par rapport aux contraintes de production de la mangue séchée et de son marché, toujours plus exigeant en termes de qualité. Le coût de l'énergie pour le séchage, jugé excessif, avait également été relevé.

Parmi les critères de qualité, la couleur constitue un facteur primordial lors de l'achat. Dès la sortie des séchoirs, entre 10 et 40% des mangues séchées sont déjà brunies et ne sont pas valorisées en qualité « export ». Ensuite, sur les lieux de vente en Europe, on constate à travers l'emballage que la couleur de la mangue évolue vers des teintes proches du « marron ».

Sur les fruits secs, le brunissement a deux origines : des réactions enzymatiques et non enzymatiques (réactions de Maillard). Un sulfitage (apport de dioxyde de soufre) de la mangue après tranchage et avant dessiccation permettrait d'inhiber le brunissement ; mais l'apport de cet additif est interdit dans la production sous label « biologique ».

Le prix de revient de la mangue séchée biologique du Burkina Faso est estimé à 1670 Fcfa/kg (2,55 €/kg) en 2011 [7] et la consommation de gaz y contribue pour environ 12 à 20% : selon les unités, entre 0,6 et 1 kg de gaz butane est consommé pour produire 1 kg de mangue séchée. Sans une optimisation énergétique des technologies de séchage, il apparaît difficile de réduire le coût de production car, sur les autres postes (fruits, main d'œuvre, emballage, équipements, ...), il n'existe que peu de possibilité de gain financier.

3.3 Pistes d'amélioration dans les techniques de production de la mangue séchée

Des équipes de recherche ont engagé des travaux pour la mise au point de techniques de transformation moins utilisatrices d'énergie et/ou en diversifiant les sources d'énergie [8 ; 9]. En s'appuyant sur les connaissances en « Sciences des Aliments » et en « Génie des Procédés », il apparaît que les conditions de mise en contact de l'air chaud avec l'aliment à sécher peuvent influencer à la fois sur la qualité du produit fini et sur la consommation d'énergie ; donc sur deux indicateurs déterminant la rentabilité du procédé. C'est particulièrement vérifié pour les produits à haute teneur en eau comme la mangue.

La mise en œuvre d'une convection forcée, grâce à un ventilateur, principe retenu sur de nombreuses installations de séchage industrielles, augmente la vitesse de l'air de séchage. En combinaison avec une température adaptée, ce flux aéraulique permet :

- d'accroître l'échange de chaleur entre l'air et le produit ; et par conséquent d'augmenter la vitesse de séchage donc de réduire le temps de séchage,
- d'homogénéiser les caractéristiques de l'air de séchage (vitesse, température et humidité) en tous points du séchoir pour produire des lots homogènes en termes de teneur en eau,
- de créer un recyclage d'une partie du flux d'air, garantissant une baisse de la consommation d'énergie.

L'accroissement de la vitesse de séchage a pour effet de limiter fortement les risques de brunissement. Avec une bonne gestion du niveau de la température, tout au long du cycle de séchage, et considérant l'amélioration de l'homogénéité du lot en séchage, le ratio en qualité « export » est ainsi optimisé.

La gestion du flux d'air circulant dans le séchoir se fait par la maîtrise des débits de renouvellement et de recirculation. Elle aura comme effet direct d'optimiser le pouvoir séchant de l'air et donc de gérer au mieux la quantité d'énergie à apporter pour le chauffage.

Un séchoir (figure 2), le CSec-L, de capacité proche de celle d'un séchoir Atesta, a été développé par le Cirad avec la prise en compte des standards de qualité et de l'optimisation énergétique [10]. Il a été conçu afin d'intégrer les contraintes économiques (matériaux, fabrication locale, ...) et ergonomiques (pas de permutation des claies de séchage, adapté à la typologie des unités existantes, ...). Le gain de consommation d'énergie totale est de l'ordre de 40%, le temps d'un cycle de séchage passe de 20 à 12 heures et la quantité de mangues brunies n'excède jamais 10% du lot séché.

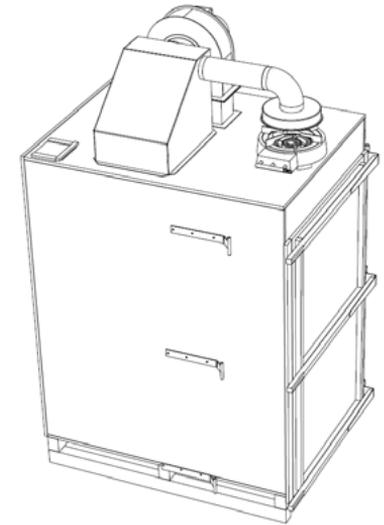
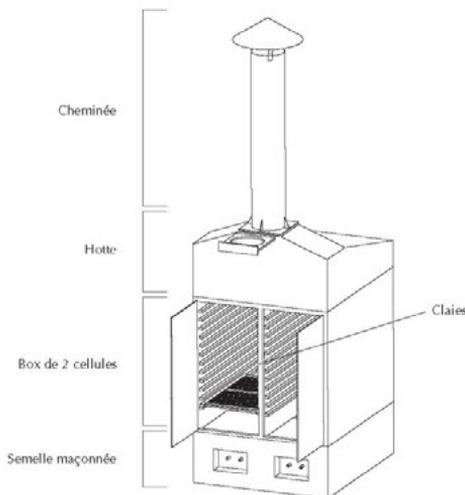


Figure 1 : Schéma d'un séchoir Atesta

Figure 2 : Schéma d'un séchoir CSec-L

IV La fourniture énergétique des séchoirs

4.1 Niveau de puissance pour les séchoirs

Comme présenté au paragraphe précédent, la recherche d'une qualité « export » garante de la rentabilité des unités de séchage du Burkina Faso n'est possible qu'avec la mise en œuvre de technologies aptes à sécher la mangue en moins de 20/24 heures. Au-delà de cette durée, et en dehors du brunissement, les risques de fermentation du produit sont importants.

Sur un séchoir Atesta ou un séchoir CSec-L, la capacité de production par cycle est de 20 kg de mangue sèche obtenus à partir de 100 kg de tranches de mangue fraîche déposées sur les claies. Sur la base des durées de séchage, de l'efficacité énergétique des séchoirs et de la quantité d'eau à enlever, les puissances à installer peuvent être calculées [10]. Une puissance de l'ordre de 20 kW est ainsi nécessaire pour chaque séchoir, soit jusqu'à 400 kW pour les unités les plus importantes.

4.2 Énergies utilisées pour les séchoirs

Ce niveau de puissance est absolument impossible à obtenir en apport solaire, la densité énergétique (rapport puissance fournie / surface solarisée) étant extrêmement faible. De plus, l'intermittence de la production d'énergie solaire est particulièrement problématique

pour le séchage sur des cycles de plus de huit heures : le process est interrompu la nuit, le stockage de l'énergie étant difficile ; et, dans le cas de la mangue au Burkina Faso, la récolte et le séchage se font en saison des pluies.

Le gaz butane est une énergie largement utilisée sur les séchoirs de produits alimentaires et exclusivement sur les séchoirs de mangue du Burkina Faso : la combustion directe est autorisée (mise en contact des gaz de combustion avec le produit à sécher) et l'installation (bouteille de gaz, détendeur, vanne et brûleur) est simple et demande peu d'investissement.

Certains États ouest-africains ont choisi de subventionner les importations de gaz ; l'objectif initial est de limiter l'utilisation du « bois de feu » et la déforestation. Au Burkina Faso, même si le bois est encore majoritaire dans la consommation d'énergie totale, les quantités de gaz consommées ont été multipliées par cinq entre 1993 et 2007, entraînant une lourde dépendance énergétique pour l'économie du pays [2]. En avril 2013, le gaz butane a vu son prix majoré de 25%. Son prix de 400 Fcfa/kg (0,61 €/kg) pour un contenant « bouteille de 12,5 kg » (prix de vente à Ouagadougou et Bobo-Dioulasso) reste toutefois l'un des plus faibles de toute l'Afrique de l'Ouest, grâce à la subvention de l'État burkinabè (de 414 à 449 Fcfa/kg, 0,63 à 0,68 €/kg, en fonction du port d'importation et du point de vente) [11].

L'augmentation du prix du gaz butane entraîne une majoration du prix de revient de la mangue séchée de 1670 Fcfa/kg (2,55 €/kg, estimé en 2011) à 1734 Fcfa/kg (2,64 €/kg), en prenant une valeur moyenne de 0,8 kg de gaz butane consommé par kg de mangue séchée. Le poste énergétique « gaz » passe alors de 15% à 18,5% du prix de revient.

À l'échelle du Burkina Faso et pour l'ensemble des unités de séchage, les quantités de gaz consommées, le coût pour les entreprises et le montant de la subvention de l'État burkinabè sont respectivement présentés dans le tableau 2¹.

Tableau 2. Quantité, coût et subvention pour le gaz butane dans la production de mangue séchée au Burkina Faso sur les années 2007 et 2009

	Année 2007	Année 2009
Exportation de mangue séchée vers l'Europe (tonnes de mangue sèche)	600 t	200 t
Quantité de gaz butane consommé (tonnes)	480 t	160 t
Coût de la consommation de gaz butane pour les entreprises de séchage de mangue (millions de Fcfa / €)	192 MFcfa / 293 000 €	64 MFcfa / 97 500 €
Montant de la subvention pour l'État burkinabè (millions de Fcfa / €)	201 MFcfa / 307 000 €	67 MFcfa / 102 500 €

La valeur de la mangue séchée exportée en 2007 est proche du maximum de ce que peuvent produire les unités du Burkina Faso. L'année 2009 est considérée comme une année de très faible production.

1 Les valeurs de 0,8 kg de gaz consommé / kg de mangue séchée, de 400 Fcfa / kg de gaz butane acheté par les transformateurs et de 420 Fcfa de subvention / kg de gaz sont utilisées pour les calculs.

V Les alternatives énergétiques pour le séchage

Devant l'inévitable augmentation du prix des hydrocarbures, il apparaît certain que le coût de la consommation de gaz butane deviendra un poste de plus en plus important dans la constitution du prix de revient de la mangue séchée pour les unités du Burkina Faso.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des technologies de transformation est l'une des voies à consolider par des activités de Recherche-Développement. Elle doit être associée à une diversification des sources d'énergie et à leur mise en œuvre appropriée dans les procédés.

L'utilisation des bioénergies peut constituer une alternative fiable. Dans certains pays d'Afrique Centrale « forestière » comme le Sud Cameroun, la filière « bois énergie » se développe à partir de déchets de scierie et/ou de biomasse issue de l'entretien des plantations (hévéas, palmiers, manguiers).

À côté de la ressource « bois énergie », dans beaucoup de cas lors de la transformation des produits agroalimentaires, de nombreux déchets ou résidus organiques sont générés (noyaux, épluchures, tourteaux, coques, ...).

Ces deux types de biomasse peuvent être valorisés pour produire de l'énergie sous forme de chaleur et avec des niveaux de puissances importants, afin d'alimenter en énergie tout ou partie d'une unité de transformation agroalimentaire. Cela permettrait i / d'accéder à une certaine indépendance énergétique à un coût moindre, ii / de résoudre des problèmes de gestion des déchets et iii / de revendiquer l'utilisation d'une source d'énergie renouvelable.

5.1 Exemple de valorisation potentielle des noyaux de mangue pour le séchage

Les diagrammes ci-dessous (figures 3 et 4) représentent deux configurations de consommation d'énergie ; en figure 3, celle de la technologie de séchage en convection naturelle avec combustion de gaz butane comme seule énergie et en figure 4, un séchoir à convection forcée alimenté thermiquement par un air chaud produit par la combinaison de deux sources d'énergie : gaz butane et gaz chaud issu de la combustion des noyaux de mangue.

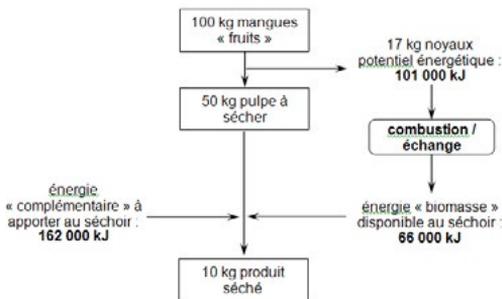


Figure 3 : Séchage en convection naturelle avec combustion de gaz butane

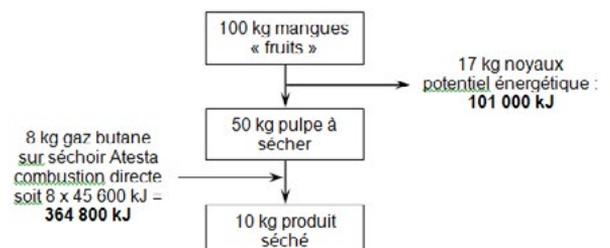


Figure 4 : Séchage en convection forcée avec combustion combinée de gaz butane et de biomasse

Sur la figure 3, la valeur de consommation de 8 kg de gaz est celle relevée sur les séchoirs Atesta. Sur la figure 4, la consommation d'énergie totale est de 228 000 kJ, équivalente à celle relevée sur le séchoir développé par le Cirad. La quantité et la valeur de potentiel énergétique des noyaux sont issues d'essais et de mesures en laboratoire. L'énergie issue de la combustion des noyaux, disponible au séchoir (66 000 kJ), prend en compte les rendements de combustion et d'échange fumée de combustion par rapport à air de séchage (de l'ordre de 65%).

La configuration de la figure 4 présente les gains énergétiques apportés à la fois par l'amélioration de la technique de séchage et par l'apport de bioénergie issue d'un sous-produit de la transformation. Sur le séchoir à convection forcée, près de 30% de l'énergie totale peut ainsi provenir de la valorisation des noyaux de mangue et la consommation de gaz est réduite de 55% par rapport au séchoir en convection naturelle. Le prix de revient de la mangue séchée passe ainsi de 1734 Fcfa à 1558 Fcfa soit 10% de baisse.

Pour une campagne de production de 600 tonnes de mangue séchée, la quantité totale de gaz butane consommée passerait de 480 à 216 tonnes et la subvention de l'État de 201 MFcfa (307 000 €) à 91 MFcfa (139 000 €).

5.2 Générateurs thermiques et échangeurs de chaleur : constat d'un paradoxe

Des installations de séchage (tranches de mangue, cossettes, farine et amidon de manioc) ont été diagnostiquées au Cameroun : du bois est brûlé dans un générateur (foyer traditionnel), la température est apportée à l'air de séchage par échange thermique avec les fumées de combustion. Ce transfert de chaleur doit se faire sans contact entre les fumées et l'air de séchage pour des raisons sanitaires (composés toxiques dans les fumées) et organoleptiques (odeur, couleur).

La biomasse utilisée comme combustible provient de nettoyage de plantations (manguiers, palmiers, ...) ; elle est brûlée en foyer peu performant. L'échange thermique entre fumées de combustion et air de séchage se fait grâce à un échangeur tubulaire. Au bilan, les relevés effectués font ressortir que pour obtenir un kg de mangue séchée, 3,5 kg de bois sont brûlés.

Ces mesures mettent en évidence l'extrême faiblesse de l'efficacité des installations, essentiellement due au mauvais rendement de combustion du foyer puis d'échange de chaleur.

5.3 Activités de Recherche sur l'optimisation du transfert thermique et du séchage

Face à cette situation paradoxale de surconsommation des énergies (gaz ou biomasse), le Cirad poursuit des recherches sur la conception d'échangeurs biomasse-énergie pour chauffer les séchoirs qu'il a optimisés. Un partenariat a été initié avec l'Association « Planète Bois », spécialisée dans le transfert de technologies de combustion de biomasse sèche. Les générateurs thermiques à hautes performances énergétique et environnementale sont produits en s'appuyant sur les ressources matérielles et humaines locales, particulièrement en Pays du Sud. Les puissances proposées sont compatibles avec celles souhaitées, par exemple, pour les installations de séchage de mangue.

Les activités de recherche du Cirad se concentrent aujourd'hui sur l'organe interface de transfert de l'énergie des fumées vers l'air de séchage : un échangeur tubulaire (rep. 2 de la figure 5). Les fumées à très haute température (800 à 1000°C) sont produites par le générateur « haute performance » (rep.1). La biomasse sèche est constituée de branches d'environ 40 mm de diamètre. Les fumées circulent ensuite à l'intérieur des tubes ronds de l'échangeur tubulaire (rep. 2). L'air de séchage, mis en circulation par le ventilateur du séchoir (rep. 3), vient « lécher » l'extérieur des tubes, récupère l'énergie thermique transmise à travers la paroi des tubes avant d'entrer en contact avec le produit à sécher disposé dans le séchoir.

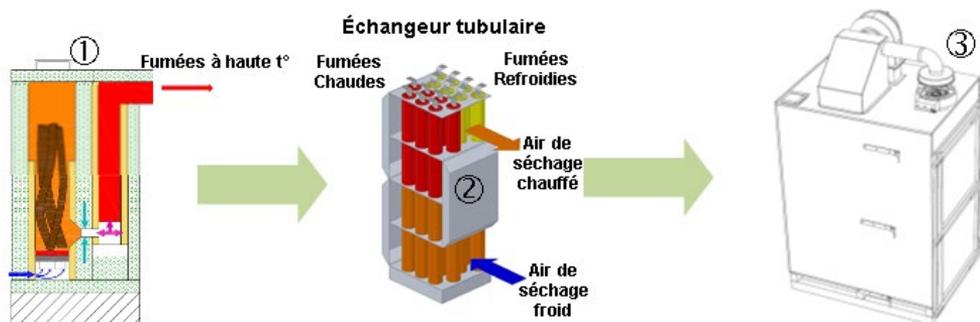


Figure 5 : Schéma du couplage d'un générateur avec un séchoir

Un travail de thèse propose d'étudier le système de séchage en s'intéressant particulièrement à son adaptation aux bioénergies, à sa fabrication et son utilisation locale. L'échangeur tubulaire doit être optimisé avec l'apport de composants permet d'améliorer le transfert thermique. Une modélisation de l'échange, prenant en compte le transfert thermique et la dégradation de l'énergie mécanique, due au « frottement » du fluide dans et sur les tubes, sera élaborée. Elle intégrera également l'aptitude du matériel à la fabrication (sensibilité du transfert et de la dégradation mécanique aux incertitudes géométriques) et les coûts inhérents (matériaux, main d'œuvre, délais). Ce modèle d'échange, couplé ensuite à un modèle de séchage, constituera le « modèle de l'installation de séchage ».

La mise en œuvre d'un tel couplage devrait permettre, dans le cas de séchage de mangue au Cameroun, de passer d'une consommation de 3,5 kg à 1,5 kg de bois par kg de mangue séchée.

Le générateur développé par Planète Bois est parfaitement adapté pour la combustion de biomasse sèche de type branchage. Il peut ainsi être introduit en zone tropicale humide où la biomasse forestière et les plantations sont abondantes, comme au Sud Cameroun.

L'adaptation et/ou le développement de générateurs, aussi performants, à combustion de sous-produits agricole ou agroalimentaire permettraient de produire de l'énergie pour différentes opérations unitaires de transformation de produits de plusieurs filières. Des coques de noix de karité, de noix de cajou, de graines de néré, des noyaux de mangue pourraient ainsi être valorisés lors d'opérations comme la cuisson, l'étuvage ou le séchage, toutes considérées comme énergivores.

V Conclusion

Le secteur de la transformation agroalimentaire se caractérise par des opérations unitaires « énergivores » pour certaines d'entre elles. En Afrique sub-saharienne, l'accès, la disponibilité et le coût des énergies constituent un verrou pour le développement des unités de transformation, pourtant reconnu comme moteur de la croissance et élément contribuant au processus de sécurisation alimentaire des populations.

Le séchage, est une opération unitaire, à la fois déterminante pour l'obtention d'une qualité maximale et dans la définition du prix de revient du produit fini. En particulier, sur des aliments à haute teneur en eau, l'accroissement de la vitesse de séchage associée à l'installation d'une ventilation dans un séchoir permet de limiter la dégradation de couleur, d'assurer une homogénéité de séchage et d'augmenter le rendement thermique.

Les unités de séchage de mangue du Burkina Faso ont vu leur part de marché fortement réduite à l'exportation en Europe depuis 2007, essentiellement à cause d'une mauvaise qualité (brunissement des mangues) et d'un prix de revient trop élevé. En réponse aux attentes des acteurs de la filière, l'évolution des outils de séchage en convection naturelle vers des séchoirs ventilés apporterait un élément de réponse. Toutefois, le niveau élevé des quantités d'énergie consommées et des puissances thermiques demandés ne peut être couvert, aujourd'hui, qu'avec des sources d'énergie comme le gaz ou d'autres hydrocarbures. Et devant l'envolée de leur prix et des risques de rupture d'approvisionnement pour les utilisateurs finaux, des alternatives énergétiques doivent être proposées.

Une indépendance énergétique pourrait être atteinte par le développement des bioénergies, à partir de bois, de sous-produits agricoles et agroalimentaires, comme les noyaux de mangue. Des actions de recherche et de transfert doivent encore être réalisées au niveau des générateurs thermiques et des organes de transfert de chaleur. Les innovations intéresseraient plusieurs filières, la mangue mais aussi dans la transformation du karité, de la noix de cajou, du manioc, du néré et diverses opérations unitaires comme le séchage, la cuisson, la pasteurisation, l'étuvage, et le fumage.

Références bibliographiques

1. Blein, R., B. G. Soulé, B. Faivre Dupaigne, and B. Yérima, Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Etude de La Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde, 2008. 116p.
2. Dabat, M.H., J. Blin, and M. Rivier, Affronter le défi énergétique et alimentaire au Burkina Faso. in ISDA 2010, Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food. Juillet 2012. Montpellier, France.
3. Alpha, A., N. Bricas, and E. Fouilleux, La difficile mise en œuvre d'une action publique intersectorielle en matière de sécurité alimentaire et de nutrition en Afrique. in First International Conference in Developing Countries: new approaches to an old challenge. Juin 2013. Grenoble, France.

4. Jacquet, P., R. K. Pachauri, and L. Tubiana, Regards sur la terre ; Développement, alimentation, environnement : changer l'agriculture ? Chapitre 3 : Agriculture et transition à l'heure de la mondialisation, B. Losch : p 169-178, 2012. ISBN : 9782200275280.
5. DFID, Energy for the poor: Underpinning the Millenium Development Goals. Department for International Development, 2002. ISBN : 1861924909. 32p.
6. Uher, C., Les cultures vivrières pluviales en Afrique de l'Ouest et du Centre ; Éléments d'analyse et propositions pour l'action, 2011. ISSN : 2105553X. 192p.
7. Arnoldus, M., F. Van Der Pol, and C. Ravry, Affaire juteuse ou déception amère : quel est l'avenir des produits dérivés de la mangue au Burkina Faso et au Mali ? Perspectives et stratégies pour la production et commercialisation de la mangue séchée, de la pulpe et du jus de mangue, 2011. ISBN : 9789460221422. 144p.
8. Sharma, A., C.R. Chen, and N. Vu Lan, Solar-energy drying systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. 13 : p. 1185–1210.
9. Madhlopa, A., and G. Ngwalo, Solar dryer with thermal storage and biomass-backup heater. Solar Energy, 2007. 81 : p. 449–462.
10. Rivier, M., J.M. Méot, T. Ferré, and M. Briard, Le séchage des mangues, 2009. ISBN : 9782759203413. 112p.
11. Ministère du Commerce, de l'Industrie et de l'Artisanat, Ministère de l'Économie et des Finances du Burkina Faso, Arrêté conjoint n°2013-003/MICA/MEF portant énumération des éléments de la structure du prix du gaz butane et fixation de ses prix, 2013. 9p.

THÈME 4

**Les Bioénergies peuvent-elles se développer
sans stratégie / intervention des Etats ?**

POLICIES FOR SUSTAINABLE BIOMASS IN SOUTHEAST AFRICA

R.JANSSEN, D.RUTZ, C.KHAWAJA

WIP – Renewable Energies

Sylvensteinstr. 2, D - 81369 Munich, Germany

Author email contact: rainer.janssen@wip-munich.de, dominik.rutz@wip-munich.de,
cosette.khawaja@wip-munich.de

Key words: Africa, bioenergy policies, strategies, regulatory frameworks, sustainability frameworks

I Introduction

The agricultural sector in most Sub-Saharan African countries is currently dominated by subsistence farming with very low investment levels and yields. The development of modern bioenergy projects offers opportunities for investment and infrastructure improvements with the promise to diversify agricultural production and thus to stimulate socio-economic development, including an increase of yield levels and value creation within subsistence farming schemes [1,2].

Primary drivers for modern bioenergy promotion in Africa include security of energy supply, a reduction of the foreign exchange burden of oil importing countries, as well as environmental benefits such as the restoration of degraded land, reduced land abandonment, and the mitigation of greenhouse gas emissions.

On the other hand, concerns exist that bioenergy expansion in African countries may have severe negative impacts on biodiversity and the use of natural resources through increasing competition over land and water resources. Rising prices of agricultural commodities may negatively affect food security of the poor in developing countries and the implementation of large-scale bioenergy projects may cause negative social impacts such as conflicts over land ownership and displacement of rural communities.

It is widely acknowledged that sound legal and regulatory frameworks for bioenergy are needed in African countries to ensure environmentally, economically and socially sustainable production, promotion and use of biofuels.

In order to minimise risks and maximise benefits, in recent years several African countries have launched initiatives to establish sound policy frameworks for bioenergy in order to ensure environmentally, economically and socially sustainable production, promotion and use of bioenergy. Significant progress has been achieved in Mozambique with the National Biofuels Policy and Strategy (NBPS) published in May 2009 and the Biofuel Sustainability Framework in its final stages of development [3].

This paper presents current policy initiatives for sustainable biomass in several Southeast African countries (i.e. Mozambique, Malawi, South Africa, Tanzania) and discusses conclusions of the "Workshop on Sustainable Biomass Production in Southeast Africa" which was organised by WIP Renewable Energies on behalf of NL Agency in Maputo, Mozambique on 19-21 March 2013 [4].

II National bioenergy policies in Southeast African countries

2.1 Bioenergy policies in Mozambique

Since several years the Government of Mozambique is very actively encouraging the introduction of bioenergy (biofuels) in order to save foreign currency, to reduce environmental problems of the increasing transport sector, to reduce dependence on unpredictable and volatile world market oil prices and to contribute to rural development through generating employment and increasing income opportunities [5].

On 21 May 2009 the Government of Mozambique published a National Biofuels Policy and Strategy (NBPS) in its official journal [6]. This policy states the clear vision to establish the country's biofuels sector to contribute to energy security and socio-economically sustainable development.

An Inter-ministerial Committee on Biofuels (CIB) was established in July 2011 involving the ministries of energy, agriculture, industry and commerce, environment, as well as science and technology. A biofuel regulation was approved in November 2011 addressing production, storage, distribution and sales, and introducing biofuel blends (E10, B3) in fossil fuels. Furthermore, national standards have been established for a variety of biofuels and technical and licencing regulations have been elaborated which are currently awaiting approval from the CIB.

Prior to the elaboration of the biofuels policy the Government of Mozambique has embarked in a detailed resource assessment and research on promising feedstock options. It was concluded that biofuel production in Mozambique shall be based on sugar cane and sweet sorghum for ethanol, and *Jatropha curcas* and coconuts for biodiesel. Furthermore, the Government of Mozambique performed an agro-ecological zoning initiative to specifically identify land available for food and for bioenergy production. The government will place strict limitations on land approval and it will identify selected agro-ecological areas for biofuel production which will be the only areas permitted for production. Thereby, guiding principles will be to avoid the use of basic food crops and monocultures, and to favour biofuel development that enhances biodiversity. This resource assessment is supported by spatiotemporal land use modelling to assess land availability for energy crops in Mozambique recently performed at the Copernicus Institute for Sustainable Development, Utrecht University [7].

In order to ensure environmentally, economically and socially sustainable production, promotion and use of biofuels in Mozambique, the Government has engaged in the development of a national Biofuel Sustainability Framework which is currently in its final stages of adoption. The elaboration of sustainability principles, criteria, indicators and

verifiers which specifically fit into the Mozambican reality is guided by the interest of satisfying present needs of the population without compromising the needs of future generations and to ensure a production of biofuels that will allow economic growth while preserving the environment and promoting social development. This Biofuel Sustainability Framework serves as an instrument to assess the sustainability of biofuels production. Compliance with established criteria will be a prerequisite for approval of investment proposals for commercial production of biofuels.

In order to stimulate investment in the development of sustainable biofuel value chains, the programme “Promoting sustainable and poverty-reducing investments in biofuel production in Mozambique”, funded by the Government of the Netherlands, is implemented by the Agricultural Promotion Centre (CEPAGRI) [8]. Transparent procedures and templates have been developed that define requirements and criteria for approving foreign and national investments in feedstock production as well as processing and trading of biofuels. Furthermore, capacity has been created within the Government of Mozambique to conduct a comprehensive investment analysis on biofuels for national and international markets. In the period 2008-2012, 40 investment proposals for biofuel projects have been received, of which 14 have been approved. Of the land attributed to the approved projects of 411.000 ha, only 8.512 ha have currently been planted. In 2012, only four new investment proposals have been submitted requesting 54.000 ha for biofuel production.

The financial crisis of recent years has affected the development of several biofuels projects in Mozambique. Biofuel initiatives that had not been appropriately planned with a good understanding of the agricultural sector have been stopped. However, future prospects of well-managed biofuel projects are seen positive by the Government of Mozambique and the most promising crop for biofuel production is sugar cane for the production of ethanol. Focus for bioenergy development will be placed on experienced companies active in the vegetable oil or ethanol sector with proven long-term business commitment in Mozambique.

Experiences in Mozambique during recent years have thus shown that sufficient time, efforts and ambition are required to establish a realistic, stable and long-term policy and regulatory framework for the development of a sustainable bioenergy sector in African countries. Thereby, implementation of reliable and clear (national) sustainability frameworks is an important cornerstone for the development of an enabling business environment for investors. Compliance with clear sustainability requirements can therefore not be considered as detrimental to mobilising investment in commercial bioenergy value chains and should be made mandatory by African Governments interested in the opportunities offered by modern bioenergy systems to diversify agricultural production and to stimulate socio-economic development. However, it is currently too early to evaluate the success of the policy initiatives in Mozambique as the projects submitted for approval in 2012 and 2013 have not yet reached the implementation stage.

2.2 Bioenergy policies in Malawi

In response to the fuel crisis of the 1970s and supported by the first head of the independent state, bioethanol production and use from sugar cane molasses in Malawi

started as early as 1982 with an annual production of 18 million litres and a mandatory blending with gasoline (E20). This makes Malawi, together with Brazil, an early adopter of alternative renewable fuels in the transport sector.

The National Energy Policy (2003) recognizes the role of renewable energy and supports production of bioenergy. The legal and regulatory framework governing the biofuels industry consists of the Energy Regulation Act (2004) establishing the MERA (Malawi Energy Regulatory Authority) and the Liquid Fuels and Gas Act (2004). The latter provides regulation for the production, blending, extraction, conversion, importation, transformation, transportation, storage, and distribution of biofuels.

Up to date Malawi does not have a specific policy document on biofuels, and the urgent need to develop a specific National Biofuels Policy which will harmonize all policies related to biofuel in order to effectively govern the industry is acknowledged by the Government of Malawi. Today, two plants owned and managed by Malawians produce ethanol with a capacity of 60.000 litres per day each. Currently, the annual capacity of 36 million litres is only in use by 50% due to insufficient feedstock supply, not fulfilling the national ethanol demand (for fuel, beverage and industrial ethanol) of 22 million litres.

It is foreseen to increase the level of ethanol production in the coming years and the Government of Malawi has already announced approval of pure ethanol as fuel for the use in flex fuel vehicles. As most African countries are net importers of transport fuels, the use of biofuels for domestic markets is regarded a priority before addressing export markets [9]. However, in Malawi a clear strategy on how to attract investment for an enhanced biofuel feedstock (i.e. sugar cane) production currently seems to be lacking.

2.3 Bioenergy policies in South Africa

South Africa was the first country in Africa to initiate a regulatory framework for renewable energies with the launch of a White Paper in 2003 targeting 4% of renewable energy by 2013 [10]. In order to reach this target the White Paper recognises the need to create an enabling environment through the introduction of fiscal and financial support mechanisms, the development of physical infrastructure for grid access, and the creation of an appropriate legal and regulatory framework to encourage the entry of multiple Independent Power Producers into the current electricity sector and stimulate RE market creation.

The approach to RE taken in South Africa foresees the facilitation of “early win” investments in commercially proven technologies that can demonstrate the benefits of renewable energy at low level of national subsidies. During 2009, the National Energy Regulator of South Africa (NERSA) announced the South Africa Renewable Energy Feed-in Tariff (REFIT) programme to further stimulate the renewable energy sector in South Africa.

Complementing abovementioned legal and regulatory framework for the electricity sector and aiming to contribute to the RE target of the White paper, the government enacted the Biofuels Industrial Strategy of the Republic of South Africa in 2007 [11]. With respect to the 2006 draft strategy document the penetration level of biofuels by 2013 was revised

down from 4.5% to 2% mainly due to food security concerns. Crops proposed for biofuel production include sugar cane and sugar beet for ethanol and sunflower, canola and soy beans for biodiesel, whereas maize and *Jatropha* have been excluded due to negative impacts on food security and potential invasiveness.

However, to date the Biofuels Industrial Strategy has not been implemented after several years of consultation. Furthermore, the REFIT programme implemented by the National Energy Regulator of South Africa (NERSA), aimed at stimulating investment in the renewable energy market, does not suitably address biomass based electricity generation.

Factors so far hindering the development of the bioenergy sector in South Africa are concerns over food security, land reform impacts, and opposition by established stakeholders in the energy sector. In order to overcome these bottlenecks, it is recommended to introduce mandatory blending (B5, E10) and to provide stable and long-term incentives for potential bioenergy investors.

2.4 Bioenergy policies in Tanzania

The overall vision set forth by the Government of Tanzania for the development of the bioenergy sector is to contribute to the replacement of fossil transport fuels and to stimulate socio-economic development through rural electrification projects.

Due to its suitable climate, as well as available arable land and water resources, Tanzania experienced a large number of investment proposals for bioenergy projects in 2005-2006 without appropriate policies and legal and institutional framework in place. In March 2006, the Government of Tanzania established an inter-ministerial National Biofuels Taskforce (NBTF) with the aim to develop a framework for sustainable bioenergy development in the country.

Biofuel Guidelines were approved in December 2009 addressing the key issues of institutional framework, application procedure for investors, land acquisition and use, contract farming, and sustainability of biofuel production. These guidelines focus on ensuring socio-economic sustainability of bioenergy development, the avoidance of food-fuel conflicts, and sufficient value creation for the local rural population.

However, up to date only drafts of the Liquid Bioenergy Act and the Regulatory Framework are available and work on the elaboration of the Biofuels Implementation Strategy as well as the Government approval process of the Liquid Bioenergy Policy is on-going.

Due to the failure of all initiated large-scale bioenergy projects during the past years (caused by sustainability concerns, public opposition, the global financial crisis, as well as the lack of appropriate policy frameworks) the Government of Tanzania is currently hesitant with respect to the further establishment of legal and regulatory frameworks for bioenergy. Consequently, no investments in commercial bioenergy value chains are currently under way and only small-scale projects involving smallholder farmers are being implemented.

III Outcomes of recent workshop on Sustainable Biomass Production in Southeast Africa

The Workshop “Sustainable Biomass Production in Southeast Africa” on 19-21 March 2013 in Maputo was organised by WIP Renewable Energies on behalf of NL Agency, in cooperation with the Ministry of Energy (DNER) and Ministry of Agriculture (CEPAGRI) of Mozambique. During this workshop, the results of recent and on-going projects funded through the Global Sustainable Biomass Programme and the Sustainable Biomass Import Programme (the Netherlands Programmes for Sustainable Biomass – NPSB) as well as through the Daey Ouwens Fund (DOF) have been presented. Participants included more than 80 stakeholders (Government and industry representatives, researchers, project developers) from Mozambique, South Africa, Tanzania, Kenya, Malawi, Zambia, and other African countries, as well as from the international bioenergy community.

The following main workshop conclusions are based on the presentations (see: <http://www.b2match.eu/biomass-workshop-2013-maputo/pages/presentations>) held in five sessions as well as the two round table discussions and address the topics (a) Policies, (b) Sustainability, (c) Resources, and (d) Follow-up.

(a) Bioenergy policy development in Southeast Africa

- With the publication of the National Biofuels Policy and Strategy (NBPS) in 2009, the implementation of several bioenergy related regulations, as well as the on-going work on the Biofuel Sustainability Framework, the Government of Mozambique is leading the way for the creation of an *enabling environment to facilitate private investment in bioenergy projects*.
- Other countries from Southeast Africa (Malawi, Tanzania, Zambia) have started the policy development process and acknowledge the need for a *realistic, stable and long-term policy and regulatory framework*. Lessons may be learnt from experiences in Mozambique, and *sufficient time and efforts* for bioenergy policy development need to be allocated by African Governments and bioenergy stakeholders.
- Bioenergy policies in Southeast Africa need to follow a *business related approach*.
- Bioenergy policies and strategies need to be supported by clear *Implementation Plans and Action Plans* in order to successfully stimulate bioenergy activities on the ground.
- Bioenergy policies need to *focus on solid biomass (e.g. firewood, charcoal) as well as liquid biofuels and other modern forms of bioenergy in an integrated manner*.
- Bioenergy policy development needs to take into account the *combined food and bioenergy production* in order to avoid potential food-fuel conflicts.

(b) *Ensuring sustainability of bioenergy in Southeast Africa*

- *Reliable and clear (national) sustainability frameworks are an important cornerstone for the development of an enabling business environment for investors.*
- Bioenergy sustainability schemes for African countries need to be *based on African reality and existing legislation.*
- Bioenergy sustainability schemes need to be *adapted and simplified for application by smallholder farmers* in Southeast African countries.

(c) *Suitable biomass resources for Southeast Africa*

- Further efforts are needed to perform *detailed mapping and zoning initiatives in Southeast African countries* to identify available land resources as well as suitable feedstock varieties for bioenergy development.
- Research is needed on *improving the yields and agricultural practices* (adapted to African framework conditions) for promising feedstock varieties.
- *Jatropha* initiatives in Southeast Africa have been launched with high expectations and mostly suffered from *low yields in reality*. Currently, large scale *Jatropha* plantations are not recommended, but potential may exist for local use for power, transport and cooking applications (based on *Jatropha* grown in hedges).
- The potential of *waste and residue resources* in Southeast Africa needs to be investigated in more detail. This potential may be rather large, but exploitation barriers exist with respect to (collection) logistics as well as often excessive permit requirements.

(d) *Follow-up on bioenergy development in Southeast Africa*

- Based on a *business oriented approach*, most workshop participants saw *good opportunities for bioenergy development in Southeast Africa* in the coming few years.
- However, in order to exploit the large bioenergy potential present in most countries of Southeast Africa, it is essential that Governments *create an enabling environment through realistic, stable and long-term policies and regulatory frameworks* to facilitate private investment in bioenergy projects in Southeast Africa.

- Finally, national or regional "Champion Projects" (i.e. best practice initiatives) are urgently needed to move forward the development of the bioenergy sector in Southeast Africa.

With respect to abovementioned workshop conclusions, in the view of the authors of this paper it is of prime importance to develop reliable and clear (national) sustainability frameworks (based on African reality and existing legislation as well as sufficiently simple, not excluding smallholder farmers) in order to guide investments (i.e. market development) towards the establishment of a truly sustainable bioenergy sector to the benefit of the local population. This is a challenging (but rewarding) task which may need considerable support and advice from the international donor community.

Furthermore, the lack of trustworthy information on available sustainable bioenergy resources in Africa urgently needs to be addressed, mainly to avoid potential emerging food-fuel conflicts. This may be done with detailed mapping and zoning initiatives to identify available land resources, suitable feedstock varieties, as well as the potential of waste and residue resources.

IV Conclusion

With respect to the guiding questions issued by the organisers of the 4th International Conference on Biofuels in Africa for session 4 "Can bioenergies develop without strategy/ State intervention?" the following main conclusions may be drawn from the present paper.

Experiences during recent years in several Southeast African countries underline that purely market driven initiatives for the establishment of commercial bioenergy value chains failed in the absence of realistic, stable and long-term policy and regulatory frameworks for bioenergy development.

Reasons for such failure include sustainability concerns and public opposition especially due to actual and perceived negative social impacts such as conflicts over land ownership and displacement of rural communities. Furthermore, the financial crisis of recent years has affected the development of several biofuels projects. It became clear that several early investments had not been appropriately planned with a good understanding of the agricultural sector in African countries. Therefore, it is currently agreed upon to focus Government cooperation for bioenergy development on experienced companies with proven long-term business commitment active in established agricultural sectors of African countries.

The significant progress achieved in Mozambique shows that sufficient time, efforts and ambition of Governments are required to establish a realistic, stable and long-term policy and regulatory framework for the development of a sustainable bioenergy sector in African countries.

Thereby, implementation of reliable and clear (national) sustainability frameworks - based on African reality and existing legislation - is an important cornerstone for the development of an enabling business environment for investors. Compliance with clear sustainability requirements is not to be considered as detrimental to mobilising investment in commercial bioenergy value chains (as it contributes to investment security) and should be made mandatory by African Governments interested in the opportunities offered by modern bioenergy systems to diversify agricultural production and to stimulate socio-economic development.

Bibliography references

1. Janssen R., Rutz D. (eds.) (2012) Bioenergy for sustainable development in Africa. – Springer Science+Business Media B.V.; Dordrecht Heidelberg London New York; DOI 10.1007/978-94-007-2181-4; ISBN 978-94-007-2180-7
2. Rutz D., Janssen R. (eds.) (2013) Socio-economic impacts of bioenergy production. - Springer Science+Business Media B.V.; Dordrecht Heidelberg London New York; in press
3. Janssen R., Rutz D. (2012) Overview on bioenergy policies in Africa. – In: Janssen R., Rutz D. (eds.) Bioenergy for sustainable development in Africa. – Springer Science+Business Media B.V.; Dordrecht Heidelberg London New York; DOI 10.1007/978-94-007-2181-4_14; ISBN 978-94-007-2180-7
4. Janssen R., Rutz D., Khawaja C. (2013) Workshop Summary Report. Workshop “Sustainable Biomass Production in Southeast Africa”, 19-21 March 2013, Maputo, Mozambique, available at: <http://www.b2match.eu/biomass-workshop-2013-maputo>
5. Mataveia M.A. (2009) Biofuel Development in Mozambique, in: COMPETE Newsletter, Issue 4, April 2009, pp. 10
6. Government of Mozambique (2009) Resolucao n.o 22/2009, Aprova a Politica e Estsategia de Biocombustiveis, Boletim da Republica, Publicacao Oficial da Republica de Mozambique, 3.o Suplemento, 21 May 2009
7. Van der Hilst F., Faaij A.P.C. (2012) Spatiotemporal cost-supply curves for bioenergy production in Mozambique. Society of Chemical Industry and John Wiley & Sons, Ltd | Biofuels, Bioprod. Bioref. (2012); DOI: 10.1002/bbb
8. Neves H (2013) Promoting sustainable and poverty-reducing investments in biofuel production in Mozambique. Presentation held at Workshop “Sustainable Biomass Production in Southeast Africa”, 19-21 March 2013, Maputo, Mozambique, available at: <http://www.b2match.eu/biomass-workshop-2013-maputo>

9. Kalowekamo J. (2013) Bioenergy policies in Malawi. Presentation held at Workshop "Sustainable Biomass Production in Southeast Africa", 19-21 March 2013, Maputo, Mozambique, available at: <http://www.b2match.eu/biomass-workshop-2013-maputo>
10. Government of South Africa (2003) White Paper on Renewable Energy, Department of Minerals and Energy, November 2003
11. Government of South Africa (2007) Biofuels Industrial Strategy of the Republic of South Africa, Department of Minerals and Energy, December 2007

DU VIDE INSTITUTIONNEL AU PARTENARIAT MULTI-ACTEURS POUR LA DÉFINITION DE POLITIQUES EN FAVEUR DES AGROCARBURANTS EN AFRIQUE DE L'OUEST

C G. DJERMA ⁽¹⁾, M-H DABAT ⁽²⁾

(1) Collège d'études interdisciplinaires (CEI)
Université Paris Sud 11,
Laboratoire Biomasse Energie et agrocarburants (LBEB)
Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE),
01 BP 6309 Ouagadougou, Burkina Faso
Tel.: +226 70 30 26 29 / + 33 6 72 59 63 62
contact auteur : cdjerma@gmail.com

(2) Centre international de recherche agronomique pour le développement (CIRAD), UMR Art-Dev ,
Avenue Agropolis,
34398 Montpellier, France
Tel. : +33 4 67 61 59 92
contact auteur : marie-helene.dabat@cirad.fr

Mots clés: Agrocarburant, Afrique de l'Ouest, Politiques publiques, Jeu d'acteurs.

I Introduction

L'intérêt accru pour les agrocarburants (AC) observé à la suite de la crise énergétique de 2002 partout dans le monde, s'est traduit sur le terrain par le développement de nombreuses initiatives publiques ou privées dans de nombreux pays en développement (PED) avec des réussites diverses. Dix ans après ce boom des agrocarburants, une analyse comparative de leur développement dans plusieurs PED laisse apparaître une diversité de situations sectorielles et institutionnelles. Le développement des agrocarburants en Afrique révèle une situation contrastée entre, d'une part, les pays d'Afrique australe (comme le Mozambique ou la Tanzanie), à un niveau assez avancé dans la structuration des filières, des marchés et de la mise en œuvre de politiques d'accompagnement; et d'autre part, les pays d'Afrique Occidentale (comme le Bénin, le Burkina Faso ou le Sénégal) qui se trouvent à un stade initial de développement des filières [1,2]. En accord avec certains auteurs [3,4] qui reconnaissent le rôle joué par les acteurs publics et privés dans la structuration du secteur et la formulation des politiques publiques en Afrique Australe, on peut penser que les jeux d'acteurs, conflictuels ou coopératifs, et la forme du partenariat public-privé, ont permis d'aboutir à une diversité de trajectoires de développement des filières en Afrique de l'Ouest. Dès lors se pose la question de la nature des jeux d'acteurs et des arrangements dans les filières et les politiques agrocarburants.

Cet article tente de répondre à cette question tout en cherchant à comprendre dans quelle mesure le jeu d'acteurs qui sous-tend le développement des filières AC dans quatre pays d'Afrique de l'Ouest (Bénin, Burkina Faso, Mali et Sénégal) est en interaction avec le processus de construction des politiques publiques en la matière. A cet effet, ont été mobilisées des données d'enquêtes réalisées entre décembre 2011 et mars 2013 auprès des acteurs publics et privés de la filière dans les quatre pays ciblés, qui ont porté sur les discours et les objectifs des acteurs ainsi que sur leurs relations.

II Un paysage institutionnel hétérogène et des trajectoires différentes

2.1 Les modes d'émergence des agrocarburants dans chaque pays

Le transfert de politiques publiques et la mise en agenda des AC dans ces pays d'Afrique de l'Ouest se sont faits par différentes voies et par l'intermédiaire d'un certain nombre de « passeurs » selon l'acception de Saurruger et Surel [5]. Ces différents modes d'émergence de la filière ont débouché sur la production d'un certain nombre de textes de politiques publiques qui sont le résultat de jeu d'acteurs en toile de fond que nous examinerons par la suite.

Au Bénin, l'émergence de la filière a été assez rapide et s'est faite « par le haut » à la suite de la visite en 2007 du président béninois au Brésil. Ensuite, l'Etat a initié et soutenu la mise en place d'un protocole d'entente entre les deux pays et d'un comité agrocarburant en 2008 ainsi que la définition d'une loi en 2010 et d'une stratégie en 2011 qui vise l'exportation principalement et le marché national [6].

Au Burkina Faso, l'émergence a été plus progressive et « par canaux multiples » avec des rôles prépondérants joués par trois individus : un coopérant technique étranger au sein de la direction générale de l'Energie qui a fortement influencé la stratégie nationale de développement des AC en 2009 [7] [8]; un chercheur de l'Université qui a effectué des recherches techniques sur le JC depuis 1985¹ et devenu conseiller d'un investisseur privé; enfin un chef coutumier également député à l'Assemblée Nationale qui a investi à titre personnel dans la production de *Jatropha Curcas* (JC) et dans la transformation des graines. Il a suscité l'adhésion d'un grand nombre d'agriculteurs et effectué un fort lobbying auprès des responsables politiques pour un engagement public plus marqué dans la filière.

Au Mali, le processus s'est fait comme au Burkina Faso avec l'implication d'un grand nombre d'acteurs et la mise en place d'un partenariat public-privé, donnant lieu à une configuration institutionnelle plus aboutie [9]. La coopération Allemande (GTZ) fut l'un des premiers bailleurs à financer un projet d'énergie renouvelable et d'utilisation de la biomasse pour produire de l'énergie avec la CMDT² au Mali mais aussi au Burkina Faso dans les années 1980. Au Mali toujours, la création de l'ANADEB en 2009, puis la définition d'une politique nationale en 2011 et d'un cadre réglementaire semble être le fruit d'un processus de concertation entre acteurs.

1 Avec soutenance d'une thèse de 3^{ème} cycle.

2 Compagnie malienne pour le développement des textiles.

Au Sénégal, l'émergence a été progressive et impulsée « par le haut » également à partir de la double visite des Présidents brésilien au Sénégal et sénégalais au Brésil respectivement en 2005 et 2007 qui a donné lieu à une forte détermination de l'Etat pour développer les AC avec la création d'un ministère des Agrocarburants en 2007 et la définition d'une politique nationale et d'une stratégie nationale agrocarburants respectivement en 2008 et 2009.

2.2 Plusieurs types d'acteurs concernés et de filières en construction

La littérature scientifique s'est beaucoup intéressée à la typologie des filières agricoles en utilisant une grande variété de critères. Par exemple, Hugon et Griffon [10] ont privilégié le mode de régulation de la filière pour distinguer quatre grands types de filières agricoles et agro-alimentaires en Afrique. Plus spécifiquement aux filières AC en Afrique de l'Ouest, un rapport du ministère burkinabé de l'Energie et de la GTZ [11] fait cas de trois modèles de filières : courte, semi-industrielle et industrielle, en fonction de la dimension géographique des lieux de production et des lieux de consommation et du type d'équipements utilisés. Pour notre part, nous avons établi une typologie à partir de l'identification des acteurs impliqués dans ces productions et de trois variables de caractérisation, à savoir : le mode d'approvisionnement des graines (paysans sous contrats ou salariés), le type de transformation (artisanal avec une petite presse ou une grande unité), le type d'output (HVB, biodiesel, savon, etc.) et le débouché [Electrification rurale décentralisée (ERD), activités socio-économiques à partir de petits moteurs statiques, marché national, exportation, etc.]. Avec l'ajout de ces trois variables de caractérisation, on peut compléter la typologie précédente [11] de la façon suivante: (i) une filière locale de production d'HVB à base de graines de JC fournies par des paysans sous contrats et transformées à l'aide de presses artisanales généralement pour les projets d'ERD ou le développement d'activités socioéconomiques ; (ii) une filière industrielle de production de biodiesel à base de JC ou de tournesol produites en régie par des paysans salariés ou par des paysans sous contrats et transformées avec des équipements industriels à plus grande capacité pour généralement le marché national ou l'exportation ; enfin, (iii) une filière industrielle de production de bioéthanol avec des unités industrielles qui internalisent la production de canne à sucre, de manioc ou de sorgho sucrier, développent des technologies nécessairement à grande échelle pour être rentables et visent le marché national ou l'exportation.

Malgré la difficulté d'obtenir des données fiables dans le domaine (projets pas toujours bien définis, objectifs surestimés, dissimulation par les promoteurs, etc.) [12], nos missions de terrain ont essayé de recenser l'information utile à la caractérisation des filières et des pays. Il ressort qu'au Bénin, les acteurs sont plus orientés que dans les autres pays vers le développement de filières industrielles à partir de canne à sucre et de manioc. Un seul acteur (GERES) est investi dans le développement de filières courtes d'HVB. Les superficies affichées par les promoteurs pour la production d'AC dépassent les 30.000 ha si on totalise les trois projets connus. Au Burkina Faso, plus d'une douzaine de promoteurs sont engagés dans des filières courtes ou industrielles de production d'HVB ou de biodiesel à base de JC sur plus de 97.000 ha³ avec 62

3 A noter qu'un seul promoteur représenterait à lui seul plus de 90% de la superficie et du nombre de paysans impliqués et ses données paraissent surestimées.

000 paysans environ selon les informations collectées auprès des promoteurs et d'un rapport récent du ministère de l'énergie [13]. Ils ciblent le marché national pour l'ERD ou le transport et en moindre mesure le marché international. Plusieurs d'entre eux font des essais de tournesol pour diversifier les plantes énergétiques. Au Mali, la situation est proche de celle du Burkina Faso avec cependant une superficie en JC moindre, se situant entre 6.731 ha [14] et 20 000 ha⁴ selon l'Agence Nationale de Développement des Agrocarburants (ANADEB). Au Sénégal, la filière se construit actuellement autour du développement d'une production industrielle de biodiesel à partir de JC ou de tournesol et de bioéthanol à partir de canne à sucre pour le marché national et l'exportation. On estime à plus de 67.000 ha la superficie utilisée.

On remarque dans ces quatre pays une forte présence de filiales de multinationales et d'investisseurs étrangers en joint-venture avec des entreprises nationales. On note la présence marquée de multinationales chinoises au Bénin et italienne au Sénégal, tandis qu'au Mali, plusieurs opérateurs sont en *joint-ventures* avec des entreprises européennes.

Les trajectoires de développement des AC sont déterminées aussi par la mobilisation des acteurs publics et les stratégies qu'ils définissent. Dans ces quatre pays, les gouvernements se sont investis principalement au travers les ministères de l'Energie, leaders sur la question des AC. Il est du ressort des Directions générales de l'Energie (DGE) de piloter les actions en vue du développement des filières, de définir la stratégie AC et de coordonner sa mise en œuvre. Par la suite, la plupart des pays se sont dotés d'une structure interministérielle ou multi-acteurs qui a plus ou moins pris le relais de la DGE. Les autres départements ministériels, comme ceux de l'Agriculture ou de l'Environnement, font ainsi généralement partie de ces plateformes de concertation. On compte la création au Bénin en 2011 de l'Agence nationale de développement des énergies renouvelables (ANADER) ; au Burkina Faso en 2008 du Comité interministériel pour la coordination des activités de développement de la filière agrocarburant (CICAFIB); au Mali en 2010 d'une structure indépendante: l'Agence nationale du développement des agrocarburants (ANADEB). Enfin, au Sénégal, la stratégie a été différente avec dès 2006, la création d'un ministère chargé des Energies Renouvelables et des Agrocarburants [14] jusqu'au redécoupage ministériel de 2012. En 2010, un organe interministériel, appelé le Comité national des agrocarburants a été mis en place mais avec peu de visibilité auprès des acteurs privés.

Parmi les autres acteurs publics au niveau national, on compte la recherche agricole, les agences chargées de l'électrification rurale⁵ ; et au niveau sous régional, le Programme régional biomasse-énergie de l'UEMOA⁶ et le Programme régional de développement des bioénergies de la CEDEAO⁷.

La présence et le rôle joué par les collectivités territoriales diffèrent selon le pays. Si au Bénin elles ont été peu actives voire complaisantes (voir infra.), au Burkina Faso, plusieurs

4 Communication de l'ANADEB au séminaire « politiques publiques en faveur des agrocarburants à base de *jatropha* pour le mali et le Burkina Faso », Ouagadougou-27 au 29 novembre 2012 à Ouagadougou, Burkina

5 L'Agence béninoise d'électrification rurale et de maîtrise de l'énergie, le Fonds de développement de l'électrification (FDE) au Burkina Faso, l'Agence malienne pour le développement de l'énergie domestique et de l'électrification rurale (AMADER), l'Agence sénégalaise d'électrification rurale (ASER).

6 Dénommé PRBE, ce programme a débuté en 2005 avec pour objectif de contribuer à la gestion durable de la biomasse-énergie et à la promotion des énergies alternatives dans une optique de réduction de la pauvreté et de préservation de l'environnement.

7 Programme lancé en 2011 au sein du Centre Régional pour les Energies Renouvelables et l'Efficacité Energétique(CEREEC).

mairies ont mis en œuvre des projets communaux (Dori, Boni). Au Mali, les cercles ont organisé avec régularité des rencontres entre acteurs pour discuter et donner leurs avis notamment sur l'intérêt des projets de grande taille. Au Sénégal, ces collectivités ont été une interface entre les investisseurs étrangers et les paysans, contribuant à l'obtention de terres et à l'organisation de rencontres locales entre promoteurs et paysans.

Au niveau de la coopération bilatérale, le Brésil est le principal partenaire de l'ensemble de la sous-région via un mémorandum signé avec l'UEMOA en 2007, qui l'engage à fournir un soutien financier à des études de faisabilité pour développer les AC. La coopération taïwanaise, la GIZ, SNV et l'AFD, apportent également des aides ponctuelles et de niveaux différents aux pays ouest-africains dans ce domaine. L'Union Européenne avec son programme « *energy facility* » est l'autre bailleur important à la fois au niveau sous régional et au niveau national.

On note également dans le paysage des acteurs publics, l'opposition du ROPPA⁸ comme porte-parole des paysans ouest-africains avec un discours critique envers les AC [15] et l'intervention d'OP nationales qui sont parfois montées au créneau en défense des intérêts des paysans. Enfin, les organisations de la société civile se sont peu impliquées à ce stade dans les différents pays si ce n'est pour manifester leur intérêt pour un carburant moins cher à la pompe ; cependant elles ont parfois aussi été ponctuellement solidaires des agriculteurs.

III Des jeux d'acteurs explicatifs des modèles de filières

Trois formes de filières se développent actuellement dans les pays étudiés, à savoir des filières industrielles bioéthanol et biodiesel ciblant des marchés nationaux ou l'exportation et des filières courtes ciblant des marchés locaux. L'analyse de la confrontation des stratégies et des actions des différents acteurs permet de prendre la mesure de la façon selon laquelle les individus, les organisations, les projets ou les structures publiques, s'influencent mutuellement ou entrent en conflit. Ces jeux d'acteurs publics-privés, multi-niveaux et multisectoriels sont d'autant plus complexes à analyser que les acteurs peuvent avoir des visions et des objectifs très différents. Pourtant, ce sont ces jeux d'acteurs qui orientent *in fine* les formes de filières et le niveau de maturation des marchés.

3.1 Niveaux d'implication et poids des acteurs dans chaque pays

La confrontation des discours, des stratégies et des réalisations des acteurs directement impliqués et des acteurs influant les orientations et choix, participe à la construction des institutions et des politiques publiques [16]. Ce jeu d'acteurs « pertinents » se réalise dans des espaces ou des arènes de négociations complexifiées, d'une part du fait des niveaux de discussion qui peuvent être sectoriels (agriculture, environnement, économie, développement rural, etc.) et spatiaux (local, régional, national, international) ; et d'autre part, du fait de la multiplicité et de la divergence des objectifs poursuivis par

⁸ Réseau des Organisations Paysannes et de Producteurs Agricoles de l'Afrique de l'Ouest (ROPPA).

les acteurs liée à leurs représentations du réel. La dimension plurisectorielle des AC donne pleinement sens à cette idée de complexification.

Une analyse comparative des relations entre les acteurs impliqués montre l'existence de rapports de force. On remarque en effet dans les quatre pays que les ministères en charge de l'Energie imposent leurs visions du développement du secteur, souvent basées sur la rhétorique de l'accès à l'énergie de populations démunies, au détriment des points de vue ou parfois même face à l'inaction des ministères de l'Agriculture qui sont eux porteurs des intérêts des producteurs agricoles. Excepté au Mali où le ministère de l'Agriculture, notamment à travers la participation de ses structures déconcentrées, a joué un rôle majeur dans les choix effectués (notamment choix du JC sur la base d'informations fournies par la recherche agricole et du modèle filière courte), ce ministère dans les autres pays est plutôt en retrait.

Les intérêts des agriculteurs sont aussi portés par les organisations paysannes, qui dans les pays peuvent être assez discrètes ou sur l'expectative mais peuvent aussi monter au créneau. Ainsi, avec le soutien de l'opinion publique, elles se sont opposées au projet, initialement soutenu par l'Etat, d'utiliser du manioc pour produire du biodiesel au Bénin. Le combat qu'elles ont mené a été très médiatisé. Plus largement, on a assisté au Bénin à des coalitions entre plusieurs acteurs pour défendre l'intérêt des agriculteurs. Plusieurs projets (à capitaux étrangers ou béninois) ont eu recours à des intermédiaires, dont des cadres d'ONG de développement local, pour accéder à plusieurs milliers d'ha en vue de planter maïs, soja, palmier à huile et jatropha. Ces intermédiaires ont fait courir auprès des paysans, en particulier isolés, des rumeurs d'expropriation par l'Etat pour contractualiser avec eux l'utilisation de leurs terres avec la complicité d'élites locales corrompues (chefs d'arrondissement, famille royale...). Plusieurs organisations de la société civile appuyées à l'international ont porté un plaidoyer qui a pesé sur l'action publique : meilleures prise en compte de l'agriculture familiale et considération des organisations paysannes dans le Plan stratégique de relance du secteur agricole dont la version initiale faisait l'apologie de l'agrobusiness [12].

Au Sénégal, la situation a été conflictuelle également avec l'intervention des leaders d'OP et de certaines ONG qui se sont opposés à des projets industriels prévoyant d'utiliser de grandes superficies ou d'acheter des récoltes alimentaires. Ce fût le cas avec des promoteurs italiens dans les régions de Tambacounda et Saint Louis dans le bassin arachidier [17]. Au Mali, au contraire, les OP ont été partie prenante dans la définition de la politique et de la stratégie AC. Par contre, elles sont plutôt absentes des arènes de discussion au Burkina Faso et leurs discours sur la question est en cours de construction (rejet de la culture intensive par la Confédération Paysanne du Faso dont le discours tend à se rapprocher depuis peu de celui du ROPPA).

Les plateformes de concertation autour des AC ont eu des influences variées. Au Bénin, au Burkina Faso et au Sénégal, ces commissions ou comités interministériels ont eu des influences peu marquées sur l'orientation des politiques et la construction des filières tandis que la mise en place d'une plate-forme multi-acteurs au Mali a été essentielle.

S'agissant des opérateurs privés (entreprises, ONG ou associations), ils ont été déterminants dans la construction des filières au sein du cadre de concertation au Mali et ils portent pratiquement à eux seuls l'organisation de la filière au Burkina Faso. Par

contre, malgré l'exhortation de l'Etat, les initiatives privées sont plus rares au Sénégal et au Bénin. Ces opérateurs privés sont encore très peu en concurrence sur les marchés des AC (HVB, biodiesel, éthanol), encore faiblement développés. Cependant, on note une forte compétition, en particulier au Burkina Faso, pour s'approvisionner en graines de JC. Les promoteurs étrangers, sous forme de coopération publique ou d'investissements privés, ont joué un rôle important dans le choix des AC visés (plante et produit fini), des techniques utilisées et des marchés ciblés. Par exemple, l'influence de la coopération brésilienne qui a financé des projets-pilotes et des études de faisabilité en relation avec l'UEMOA est perceptible dans les quatre pays, contrebalancée depuis peu par l'appui de l'Union européenne dont les priorités sont sensiblement différentes. Autre exemple, l'appui de Taïwan au Burkina Faso a exclusivement porté sur la diffusion d'un équipement pour estérifier l'huile végétale et fournir le marché en biodiesel. Autre exemple encore, le renoncement d'une entreprise allemande partenaire de Belwetbiocarburant SA à s'approvisionner en graines de JC au Burkina Faso suite aux manifestations contre « la cherté de la vie » en 2007-2008, a obligé son partenaire, principal opérateur national, à se réorienter vers le marché intérieur [18]. Les influences extérieures sont particulièrement fortes au Sénégal [17] et au Bénin et de moindre ampleur au Mali et au Burkina Faso.

Au total, les jeux d'acteurs et les stratégies nationales paraissent relativement différents selon les pays. Les trajectoires au Sénégal et au Bénin sont plutôt orientées vers le développement de filières industrielles et les jeux d'acteurs sont très conflictuels. Les choix des acteurs paraissent plus consensuels au Mali et orientent plutôt les trajectoires vers le développement de filières très localisées. Au Burkina Faso, on note par contre un fort éclatement des interventions (faible concertation entre acteurs publics, faible action collective, stratégies individuelles dominantes...).

3.2 Essai de formalisation des interactions entre acteurs dans chaque pays

Le niveau d'implication et d'impulsion des acteurs ne sont pas les mêmes selon les pays, ce qui joue sur les configurations institutionnelles du secteur et sur le processus d'élaboration des politiques publiques. Nous dégageons ici des situations stylisées des principales interactions entre les acteurs. Afin d'estimer la force du partenariat public-privé et comment celui-ci contribue à expliquer la situation et le stade de développement de ces filières dans ces pays, nous proposons une grille d'analyse (grille des 4C) qui décline les jeux d'acteurs publics et privés en quatre types de relations : coordination entre départements ministériels, concertation public-privé, contractualisation entre acteurs privés, coopération internationale. Ensuite, la périodisation du développement des AC en trois phases distinctes (d'abord émergence de l'idée et de la volonté politique, puis élaboration et mise en œuvre de politiques de soutien du secteur, enfin développement du marché et impact sur l'économie nationale) [19,20], nous permet d'identifier les stades de développement des filières dans ces pays.

Absence de coordination de l'action publique au Bénin

Au Bénin, deux visions extrêmes s'opposent : d'une part, celle du ministère de l'Energie, allié à quelques promoteurs industriels, qui privilégie l'amélioration des recettes d'exportation ; d'autre part, celle des OP et de quelques promoteurs⁹ de filières locales qui mettent en avant les risques d'insécurité alimentaire et privilégient l'amélioration des revenus ruraux et l'accès à l'énergie, avec le soutien au poids moindre du ministère de l'Agriculture. Ainsi, le discours porté par le ministère de l'Energie pour promouvoir la culture en champs purs de JC, de sorgho sucrier ou de manioc en vue de la production de bioéthanol ou de biodiesel pour l'exportation, se trouve confronté depuis 2010 au plaidoyer et au lobbying de la Fédération des Unions de producteurs (FUPRO) et des promoteurs de filières locales. Un des responsables de la FUPRO rencontré, a résumé sa vision de la façon suivante « comment utiliser ce qu'on mange, et qui ne nous suffit pas, pour produire du carburant ? Remplissons d'abord le ventre... »¹⁰. Une controverse est née et a connu une certaine résonance dans l'opinion publique et du coup, a freiné les élans de l'Etat. Ce plaidoyer a été relayé par le ministère de l'Agriculture (MAEP) qui a donné un avis défavorable à l'utilisation du manioc pour la fabrication du bioéthanol. Outre ce rôle ponctuel joué par le MAEP, il n'arrive pas à influencer davantage la stratégie et la politique nationale. On note en particulier une insuffisance de coordination de l'action publique entre le MAEP et les autres ministères, celui de l'Energie en tête, favorables aux filières industrielles. Le comité agrocarburant mis en place pourrait jouer le rôle de coordination mais son ancrage au ministère de l'Energie ne lui permet pas d'avoir l'impartialité et l'efficacité nécessaires. Le manque de coordination de la sphère décisionnelle politique et le tiraillement dans l'orientation de la filière font que le pays ne dépasse pas le stade de la définition d'une politique pour aller vers l'émergence d'un marché des AC. Ainsi, selon la périodisation du développement des AC [19], le Bénin n'aurait pas dépassé la deuxième phase.

Attentisme de l'Etat et impulsion du secteur privé au Burkina Faso

Un fait marquant de la situation burkinabé est la dualité entre le dynamisme des acteurs privés et l'attentisme du secteur public. En effet, des initiatives privées ont été lancées tout azimut depuis 2006 sans encadrement et orientation de la part de l'Etat. La CICAFIB créée en 2008 sous le leadership du ministère de l'Energie n'a pas réussi à impulser d'action politique. Si un document cadre de stratégie de développement des AC a été établi, il semble exprimer la vision du seul ministère de l'Energie et on peut remarquer en 2013, qu'aucun document politique n'a encore été adopté par le gouvernement et qu'aucun processus de concertation ne s'est réellement mis en place.

Dans ce contexte, le secteur privé a porté seul la construction de la filière ; et l'«organisation spontanée » [21], qui en découle, est une filière morcelée dans laquelle chaque promoteur développe sa propre stratégie. En effet, on observe peu de concertation et de coordination horizontale entre acteurs privés au même niveau de la filière alors même que certains acteurs portent les mêmes visions et objectifs et que des alliances économiques pourraient être profitables dans la construction de filières durables¹¹. Par contre, la coordination verticale est très développée dans la filière comme moyen de se

9 Le promoteur GERES et l'ONG Jeunesse sans frontières.

10 Commentaire oral lors d'une interview le 6 décembre 2011 à Grand Popo au Bénin.

11 L'initiative JatroREF (projet FFEM-IRAM) œuvre dans ce sens-là.

protéger contre le risque amont lié à la concurrence sur le marché de la graine et contre le risque aval lié à l'incertitude des débouchés pour l'huile végétale. Les arrangements de type contrat entre les promoteurs et les paysans sont fréquents: contrats individuels ou collectifs, écrits ou oraux, qui définissent les conditions d'octroi des semences, d'encadrement des producteurs et de rachat des graines. Pour se protéger contre le risque lié à l'immaturation du marché de l'huile, les unités de transformations ont tendance à intégrer l'aval des filières dans leur recherche de débouchés et notamment les projets d'électrification rurale. En situation d'absence de politique et de marché comme lieu optimal de coordination [4], d'autres formes d'institutions et d'arrangements entre les acteurs s'avèrent indispensables [22]. La filière burkinabé se trouverait ainsi aussi à la deuxième phase selon la périodisation [19].

Volontarisme de l'Etat et défaillance de concertation avec le secteur privé au Sénégal

Au Sénégal, on remarque depuis 2006 une forte volonté publique de devenir un grand pays producteur d'AC [23] qui a eu peu d'écho et de concrétisation dans le secteur privé national. Les seules initiatives observées ont été les acquisitions dans certaines zones de grandes superficies de terres par des multinationales étrangères pour la culture du JC et la production de biodiesel. Face aux différents conflits fonciers liés à ces projets industriels [17], une opposition à la stratégie publique s'est manifestée et a entraîné l'interruption d'initiatives privées et un repositionnement de l'Etat sénégalais face à la menace sur la sécurité alimentaire. Il n'est plus question d'exporter la majorité de la production, l'Etat a fixé dans sa loi sur les agrocarburants de 2010 un maximum de 50% de production pour l'exportation et le reste pour le marché national (transport). De plus, l'Etat s'est engagé dans les activités primaires de production et de distribution de semences à travers l'ISRA¹². Mais la faible coordination et le déficit de concertation entre les acteurs public et privés peut expliquer l'absence de marché et un niveau de développement de la filière qui comme au Bénin et au Burkina Faso n'a pas dépassé la deuxième phase de développement [19].

Mise en place d'un partenariat multi-acteurs pour une filière intégrée et durable au Mali

Le cas malien est opposé au précédent en ce sens que l'Etat a construit avec le secteur privé un cadre de concertation pour définir les priorités et la stratégie nationale AC. Ce processus s'est incarné dans la création d'une structure multi-acteurs et multisectorielle : l'ANADEB. Les alliances qui ont pu être établies entre des acteurs privés de type ONG et petits opérateurs dans le but de tirer la filière vers des processus favorables aux agricultures familiales, ont influencé la structuration et la formulation de la stratégie nationale. Conformément à l'intérêt défendu par ces acteurs et à la volonté politique déjà affichée pour le développement rural et l'ERD, le développement de filières locales occupe une place importante dans la stratégie nationale et sur le terrain. La priorité donnée à ce type de filière a été portée par le ministère de l'Agriculture à la fois au sein de la sphère décisionnelle de l'Etat qu'au niveau de l'ANADEB. La mise en place du partenariat public-privé au sein de la filière a favorisé sa structuration grâce à la

¹² Institut Sénégalais de recherche agronomique

présence d'organisations de producteurs (la CNOP¹³ notamment), des autorités locales (Cercles), régionales et nationales. Les OP participent à des tables-rondes organisées au niveau du cercle et au niveau régional. L'existence d'arrangements institutionnels de type contractuel entre les promoteurs et les paysans, d'arènes de discussion entre les autorités publiques et le secteur privé, et plus généralement entre les différents acteurs de la filière AC à plusieurs échelles spatiales et d'organisation, sont en mesure d'expliquer le niveau avancé de développement de la filière. Même si la production de graines et d'huile est encore faible au Mali, le pays a entamé la troisième phase de développement des AC [19] : construction du marché à même d'avoir des effets sur l'économie nationale. La mise en place d'un partenariat multi-acteurs pour construire collectivement les activités de production permet de concilier les intérêts et visions des différents acteurs en vue de construire une filière intégrée et durable.

IV Conclusion

Les jeux d'acteurs dans les filières AC ont débouché sur l'émergence de stratégies politiques et de filière AC différentes dans les quatre pays Ouest Africains observés. Plusieurs conditions paraissent devoir être réunies pour espérer que ces filières se développent de façon durable et puissent avoir des impacts en matière de développement rural comme l'amélioration de l'accès à l'énergie, aux revenus et aux emplois ruraux pour les populations locales. Parmi ces conditions, et même s'il est largement prématuré de parler de réussite pour le cas malien, figure en bonne place la mise en œuvre d'un partenariat opérationnel entre acteurs pour des actions coordonnées dans la filière et des stratégies et politiques publiques consensuelles. L'analyse institutionnelle comparative menée montre l'intérêt de la coordination entre les deux ministères se disputant le leadership de la question AC (Energie et Agriculture), de la contractualisation entre les acteurs pour se prémunir contre les risques de rupture d'approvisionnement et de débouchés, de la coopération avec des partenaires financiers bilatéraux et multilatéraux pour le financement de la filière qui entre dans le cadre d'un programme ou d'une politique nationale, et de la concertation à un niveau local en particulier entre les acteurs publics et privés, au sein de la filière mais aussi au regard du développement des autres filières (vivrières, de rente et autres énergies).

On peut admettre que c'est dans un cadre de concertation multi-acteurs, multi-niveaux et multisectorielle que les filières AC sont en mesure d'offrir le maximum d'opportunités pour l'amélioration des conditions de vie des populations rurales et la réduction à la fois de la facture pétrolière et de la fracture énergétique de ces pays.

Le travail présenté ci-dessus a été réalisé avec le soutien de l'Union Européenne. Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité des auteurs et ne peut en aucun cas être considéré comme reflétant l'avis de l'Union Européenne.

13 Confédération nationale des organisations paysannes

Références bibliographiques

1. Jumbe CB, Msiska F, Madjera M. Biofuels development in Sub-Saharan Africa: Are the policies conducive? *Energy Policy* 2009;37:4980–6.
2. Amigun B, Musango JK, Stafford W. Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011;15:1360–72.
3. Bréchet J-P, Schieb-Bienfait N. Projets et pouvoirs dans les Régulations concurrentielles La question de la structuration d'une filière biologique. colloque XIVième Conférence Internationale de Management Stratégique, Angers, France: 2005, p. 26.
4. Griffon M. Filières agroalimentaires en Afrique—Comment rendre le marché plus efficace. Paris: Ministère Français Des Affaires Étrangères, Direction Générale de La Coopération Internationale et Du Développement 2001.
5. Saurugger S, Surel Y. L'eupéanisation comme processus de transfert de politique publique. *Revue Internationale de Politique Comparée* 2006;13:179–211.
6. Badarou R. Le Benin: programme de développement des agrocarburants. Ministère des mines, de l'énergie et de l'eau du Bénin, Direction Générale de l'Energie; 2006.
7. MMCE. Document cadre de développement des agrocarburants au Burkina Faso 2009.
8. Laude J-P. Situation de la filière Jatropha au Burkina Faso. Perspectives pour le court terme 2009.
9. Favreto N, Lindsay C., Andrew J., Dougill. Policy and institutional frameworks for the promotion of sustainable biofuels in Mali. *Sustainability Research Institute*; 2012.
10. Hugon P, Griffon M. Meso-economic analysis filière and competitiveness in Africa. Economics of agricultural policies in developing countries, vol. 55, Paris, France: Benoit-Cattin, M. Griffon, P. Guillaumont; 1996.
11. Blin J, Dabat M-H, Maitre D'Hotel E, Hanff E, Weisman N. Opportunités de développement des agrocarburants au Burkina Faso. Ouagadougou, Burkina Faso: Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques et la GTZ; 2008.
12. Dabat M-H. Les nouveaux investissements dans les agrocarburants. *Afrique Contemporaine* 2011;97–109.
13. MMCE. Etude d'identification des opérateurs, élaboration de cahier de charge, d'un protocole de collaboration et de transfert de projets pilotes agrocarburant. Ouagadougou, Burkina Faso: Ministère des mines, des carrières et de l'énergie (MMCE); 2012.
14. Burnod P, Gazull L, Gauthier D. Les agrocarburants au Mali: nouveau produit, vieilles recettes? Une analyse de l'émergence et des enjeux du système d'innovation «agrocarburant». 2010.
15. ROPPA. Quelques préoccupations du ROPPA sur les questions des agrocarburants 2011.
16. Gabas J-J. Acteurs et politiques publiques, *Mondes en développement* 2003:33–47.
17. ActionAid, IPAR. Impact des investissements agricoles italiens dans les biocarburants au Sénégal. Études de cas dans les zones de Fanaye (St Louis), de Nétéboulou et de Ndogo Babacar (Tambacounda). Dakar: 2012.

18. Blin J, Weisman N, Hanff E, Dabat M-H. Vers une stratégie nationale de développement des filières agrocarburant : le cas du Burkina Faso. *Liaison Energie-Francophonie* 2011;37–42.
19. Friedrich M. A worldwide review of the commercial production of biodiesel—a Technological, economic and ecological investigation based on case studies. Master's Thesis. Institute fur Technologie und Nachhaltiges produktmanagement, 2004.
20. Amigun B, Sigamoney R, Von Blotnitz H. Commercialisation of biofuel industry in Africa: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2008;12:690–711.
21. Williamson OE. Economic institutions: spontaneous and intentional governance. *JL Econ & Org* 1991;7:159.
22. Wade I. Systèmes d'information de marché, coordination et gestion des risques dans les filières agricoles: cas des produits maraîchers au Sénégal. Montpellier 1, 2009.
23. Dia D, Sakho-Jimbira MS, Fall CS, Ndour A, Dieye PN. Crise énergétique et recomposition de l'espace agricole au Sénégal: cultures traditionnelles vs biocarburants? 2010.

PROMOTING *JATROPHA CURCAS* FOR BIOFUEL PRODUCTION IN MALI : POLICY AND INSTITUTIONAL FRAMEWORKS

N. FAVRETTO, L.C. STRINGER, A.J. DOUGILL

Sustainability Research Institute,
School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK
Author e-mailcontact: n.favretto@see.leeds.ac.uk, nicola.favre@libero.it

Keywords: *Jatropha curcas*, Mali, energy security, rural development, policy analysis

Introduction

Biofuel investments have been fostered as an attempt to mediate the energy crisis and climate change, and to foster rural development (Janssen and Rutz, 2012). Great hopes have been pinned on the oil-bearing, “drought resistant” non-edible tree *Jatropha* to deliver benefits through both small and large scale cultivation (Dyer *et al.*, 2012; Gilbert, 2011; Jongschaap *et al.*, 2007). However, the *Jatropha* sector is still young and empirical analyses of the potential impacts on rural livelihoods and improved access to energy are largely lacking. Mali – where roughly 99% of the population lacks modern energy services (COMPETE, 2009) – is one of the few sub-Saharan countries with policies that encourage *Jatropha* cultivation.

In Mali traditional biomass (*i.e.* wood and charcoal) fuels comprise 81% of total energy use. Of the rural population, 93% lack access to electricity, and household energy consumption accounts for more than 70% of the total energy consumed (GoM, 2009). Mali’s energy sector is dependent on outside sources for the supply of conventional energy, and in 2008, the national bill for imported fossil fuels corresponded to 78% of the Malian export revenue (GoM, 2009). Mali thus provides a useful country context in which to explore the challenges and opportunities associated with *Jatropha* and address a key empirical data gap.

This paper presents multi-level assessments of the implications of the Malian Strategy for Biofuels Development (NSBD) for the promotion of *Jatropha* as a sustainable development tool in Mali. It aims to advance understanding of the role of policy by answering the following research questions:

- (i) Who are the main stakeholders supporting biofuels (*i.e. Jatropha*) policy in Mali?
- (ii) What are the policy goals concerned with biofuels in Mali and why is *Jatropha* prioritised in the NSBD?
- (iii) To what extent is the NSBD achieving its intended outcomes and what are the key barriers to the achievement of policy goals?

I Institutional framework within the Malian *Jatropha* activities

The stakeholders promoting biofuel production in Mali are outlined in Figure 1. The arrows highlight the collaborative relationships among stakeholders in relation to the following types of links: funding, *Jatropha*-related research, policy elaboration (where the stakeholder affects the decisions taken in the elaboration of energy policy) and policy implementation (where the stakeholder is directly in charge of implementing concrete actions in the achievement of energy policy goals).

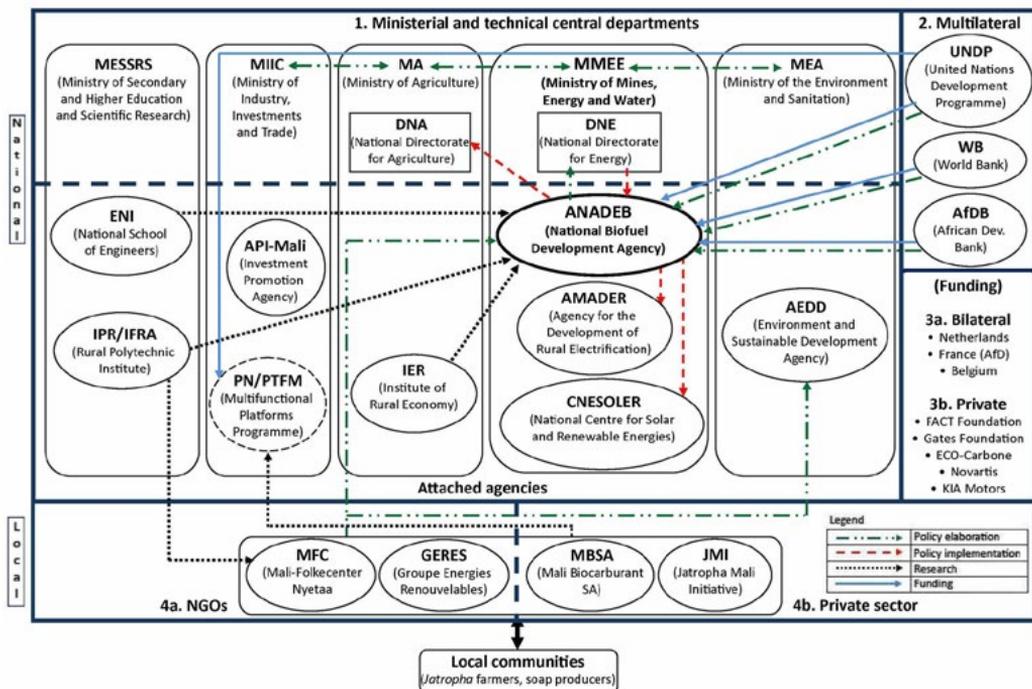


Figure 1. Key stakeholders in Mali's *Jatropha* activities

The institutional context of *Jatropha* in Mali is complex and involves multiple groups¹. *Jatropha* production and use are promoted by the Ministry of Mines, Energy and Water (MMEE) through its specialised agencies:

¹ Since President Touré was deposed in a military coup in March 2012, the country has been facing political instability. This might have an impact on the institutional and regulatory frameworks presented in this document.

- National Biofuel Development Agency (ANADEB);
- Agency for the Development of Domestic Energy and Rural Electrification (AMADER);
- National Centre for Solar and Renewable Energies (CNESOLER).

ANADEB is responsible for the implementation of the National Strategy for Biofuels Development (NSBD) and coordinates Mali's overall biofuel operations. Its mandate is to promote biofuels, largely produced from *Jatropha*, at two levels: (i) local – in order to meet the energy needs of rural communities, and (ii) national – in order to reduce the country's high dependence on oil imports. ANADEB was created in 2008 with the following objectives, to: (i) establish a centralised and harmonised framework for biofuel promotion; (ii) increase the number of professionals working in the biofuels field; (iii) enact production licensing requirements and technical quality standards for biofuels; (iv) create a dialogue between main public and private actors in the field; and (v) maintain trade between international partners in biofuels. Prior to ANADEB's creation, various biofuel activities were developed under the CNESOLER. Between 2004 and 2009, the CNESOLER implemented the National Programme for the Energetic Valorisation of *Jatropha* (PNVEP), which aimed to create technical and organisational capacity to generate *Jatropha*-based electricity to the benefit of the rural and peri-urban population in four southern regions of Mali.

Creation of AMADER in 2003 reaffirmed the will of the Malian government to develop a coherent institutional framework to address major energy and development priorities. The twofold aim of AMADER is to contribute to socio-economic development through increasing the population's access to electricity and reducing poverty, in line with the Millennium Development Goals. In collaboration with the Multifunctional Platforms (MFPs) National Programme², AMADER installs the platforms and decentralized power grids used to provide rural villages with electricity. In 2011, AMADER signed an agreement with ANADEB which aimed to increase rural access to electricity through the use of *Jatropha*-based biofuel.

As concerns rural development, national promotion of *Jatropha* is linked with activities carried out by the Ministry of Agriculture (MA), which promotes *Jatropha* uptake through awareness-raising, farmer support and improvement of production at the village level. A project to support the development of the *Jatropha* supply chain in five southern Malian regions (PADFP) was launched by the National Directorate for Agriculture (DNA) in 2008. The PADFP objectives are to: (i) provide training on farming techniques, (ii) facilitate the commercialisation of the seeds on the market, (iii) promote local use of *Jatropha* oil and foster community level development, (iv) organise local farmers' cooperatives and (v) promote food security. As of 2011, 65 DNA extension officers per region have been involved in the following activities: (i) provision of theoretical training (regional level) and technical training (village level) to farmers, and (ii) awareness-raising in non-grower villages.

2 A Multifunctional Platform (MFP) consists of a stationary diesel engine which can power a variety of tools, including husker, welding equipment, cereal mill, battery charger, power generator and pump (Nygaard, 2009).

At the national level, a variety of *Jatropha* Research and Development (R&D) activities are carried out under the supervision of both the MA – through the attached Institute of Rural Economy (IER), the research of which focuses on ecotypes and production techniques – and the Ministry of Secondary and Higher Education and Scientific Research (MESSRS), which orients the work of two high education schools: the Rural Polytechnic Institute (IPR/IFRA) and National School of Engineers (ENI). The IPR/IFRA is active in agronomic research on *Jatropha* as well as in testing the use of the oil on engines, while the ENI carries out engine performance testing under a formal collaboration signed with ANADEB. Interviews with MA, IPR/IFRA and ANADEB (2011) indicate that similar R&D activities are carried out by multiple stakeholders, but they often lack visibility. Despite ANADEB being in charge of collecting, processing and storing statistical data on biofuels development, the data collection and analysis system is still weak and the agency does not have comprehensive access to information on past activities. These constraints translate into a limited capacity to carry out harmonised on-the-ground activities in the achievement of common *Jatropha*-related goals (interview data, 2011). More broadly, overlapping mandates on renewable energy, mainly among the MMEE, MA and MEA constrain the development and implementation of coherent frameworks of action and hamper the achievement of policy goals. The MMEE promotes controls and monitors, the renewable energy sector, where specific *Jatropha* activities are carried out by its specialised agencies. The MA aims to support the MMEE by carrying out independent activities with similar goals (*i.e.* improvement of agriculture through promotion of renewable energy) but which are not controlled by the MMEE. Promotion of renewable energies (*i.e.* biofuels) is also a priority action of the MEA. An effort to create a framework of cooperation and coordination for the promotion of biofuels, in line with the priorities set in the National Strategy for the Development of Renewable Energy (NSREN) as well as in the NSBD, was made through the creation of ANADEB, but this institution is still in a learning-by-doing phase. Strengthening the data collection and monitoring system, the institutional framework, as well as clarifying the mandates of the main national directorates and agencies operating in the renewable energy, rural development and environmental sectors is essential for the successful promotion of *Jatropha* production and use.

II The private sector and NGO community

Different organizations have undertaken a range of pilot projects linked to the production, extraction, transformation and utilization of *Jatropha* in Mali. These operate in direct collaboration with beneficiary communities and include the following major actors:

- NGO community: Mali-Folkecenter and GERES Mali (promotion of *Jatropha*-fuelled rural electrification);
- Private sector: Malibiocarburant SA and *Jatropha* Mali Initiative (fuel production and commercialisation).

The start-up and implementation of such activities rely on substantial financial (and often technical) support provided by major bilateral donors (see Figure 1).

These initiatives offer potential to provide renewable energy and foster development.

Since 2007, the NGO Mali-Folkecenter project “Garalo Bagani Yelen rural electrification using *Jatropha* oil” has provided public lighting and refrigeration to the village of Garalo, as well as favouring the development of small-scale business activities. Between 1996 and 2011, the Multifunctional Platform (MFP) National Programme promoted by UNDP has installed 1,000 platforms (UNDP, 2004, 2011a). According to UNDP (2011b) about 10 hectares of *Jatropha* can produce enough oil to operate one platform each year. One pilot oil extraction unit has been installed by GERES in the region of Koury.

Nevertheless, full achievement of oil production and rural electrification potential are hampered by major institutional, financial and organisational constraints. Project developers and institutions have limited ability to adequately support smallholder farmers (both technically and financially) in *Jatropha* agriculture (Favretto *et al.*, in press). This translates into low availability of feedstock and consequently, processed oil, on the market. To date the MFC’s power generator is predominantly fuelled by regular diesel and *Jatropha* oil has been used only for testing and demonstration. Similarly, among the 1,000 MFPs installed as of 2011, less than 30 were operating on *Jatropha* oil (UNDP, interview data, 2011). In 2011, the oil press installed by GERES was not yet fully operational. Major constraints in oil production, both at local and national level, need to be overcome, in order to maximise local benefits and meet national fossil fuel substitution policy targets.

III Policy framework for biofuels promotion

Biofuels have been promoted since the 1990s by the Malian government in key national and sector-specific policy papers (Table 1):

Table 1: Key policies and strategic documents where *Jatropha* development is of cross-cutting relevance

Year	Acronym	Title
1998	PNPE	National Environmental Protection Policy
1998	NAP	UNCCD National Action Programme
2002	SDDR	Rural Development Master Plan
2006	LOA	Agricultural Orientation Law
2006	PEN	National Energy Policy
2006	NSREN	National Strategy for the Development of Renewable Energy
2006	G-PRSP	2007-2011 Poverty Reduction and Growth Strategy Paper
2007	NAPA	National Adaptation Programme of Action to Climate Change
2008	MDGs Plan	Ten Years Action Plan to Achieve the MDGs 2006-2015
2008	NSBD	National Strategy for Biofuels Development
2011	PNCC/SNCC	National Climate Change Policy, Strategy and Action Plan

Use of *Jatropha* has been prioritised with the following aims, to:

- Increase energy security and reduce poverty: The NSBD states: “The use of vegetable oil [from *Jatropha*] will not only substantially contribute to the improvement of energy access ... but also to the increase of revenues and employment” (GoM, 2008: 29). Under the Multifunctional Platforms National Programme – and as supported by the PEN and NSREN – strong focus on gender empowerment is given through promotion of MFPs fuelled by locally-produced *Jatropha* oil (UNDP, 2004);
- Promote food security: Ensuring food security “to preserve and improve the population’s living conditions” is a priority of the PNPE, SDDR, LOA and G-PRSP. In achieving this objective, the NSREN (GoM, 2006: 28), and similarly the NSBD, state: “the energetic valorisation of biomass and the *Jatropha* tree [will directly contribute to the achievement of] food security and agricultural diversification”;
- Preserve the environment: According to the NSBD, *Jatropha* agriculture will sequester carbon and restore degraded land, while the SDDR and NAPA reaffirm *Jatropha*’s potential for restoring and maintaining soil fertility as well as combating soil erosion.

The NSBD is the key policy document in the promotion of *Jatropha* production and use. It aims to increase local energy production by developing biofuels to meet the country’s socio-economic needs and substitute imported oil (GoM, 2008). The NSBD sets ambitious quantitative targets for *Jatropha* production (Table 2).

Table 2: Quantitative targets for *Jatropha* production and fossil fuel substitution outlined in the National Strategy for Biofuels Development

Timeframe	Replacement of diesel with <i>Jatropha</i> oil	Quantity of <i>Jatropha</i> oil (million litres)/year	Seeds productivity (T/ha)	Equivalent <i>Jatropha</i> (ha)
2008-2013	10%	39	3.125	71,680
2014-2018	15%	56	6.25	53,760
2019-2023	20%	84	9.375	47.787

IV Towards the achievement of sustainable biofuels: key policy implementation challenges

Since the 1990s, the commitment of Mali to expand renewable energy production and use so as to fight the major environmental, socio-economic and energy challenges faced by the country has been expressed at political (Table 1), institutional (Figure 1) and technical levels. Relevant policies have been approved, and ambitious national programmes for both rural and national energy access expansion, have been implemented. Between 2008 and 2010, national spending in the renewable energy sub-sector rose from US\$3.3 million to US\$6.7 million (representing 0.23% of the national budget) (WB and GoM, 2011). In this context *Jatropha*-based biofuel has played an increasingly relevant role, with government spending accounting for roughly US\$2 million in 2010 (UNDP, 2011b). The Malian government has proven capable of integrating priorities on sustainable development and energy, as outlined in the global discourse (UN, 1992, 2006 and

2012), into its national policies. This has placed Mali among the best candidate countries towards which the international community is willing to provide monetary, institutional and technical support towards the implementation of improved renewable energy activities. Mali was one of six countries selected to benefit from the “Scaling-up Renewable Energy Program for Low Income Countries” (SREP) under the World Bank’s Clean Investment Fund umbrella. A total of US\$40 million funding has been allocated through the SREP (WB and GoM, 2011), exceeding 2010 national spending in the sub-sector 6-fold. Three projects are promoted under the SREP, these foster the development of (i) solar photovoltaic Independent Power Producers (IPP), (ii) rural electrification through hybrid solar PV / biofuel systems and (iii) micro / mini hydroelectricity. Table 3 shows the planned SREP allocations across the three projects and the additional planned contributions from other partners, for a total estimated budget of US\$258.4 million (which has not yet been disbursed).

Table 3: SREP sources of financing and estimated allocations across projects (US\$ millions)

Project	GoM	SREP	AfDB	AfDB PS	WB*	IFC*	Private Sector	Other resources**	Total
Solar PV IPP	-	12.0		15.0		15.0	18.0		60.0
Hybrid rural electrification	3.1	15.5			16.2		5.0	16.2	57.9
Mini/Micro hydro	10.0	10.0	25.0				15.0	76.5	136.5
Strategic coordination	1.0	2.5						0.5	4
Total	14.1	40.0	25.0	15.0	16.2	15.0	38.0	93.2	258.4

* Including Trust Funds

** Including other development partners, Trust Funds, Carbon Credits, etc.

Source: WB and GoM (2011)

As of September 2013, US\$3.85 of SREP funding has been disbursed for project preparation grants, while the approval for a disbursement of US\$14.9 million for the “Hybrid rural electrification” project is under discussion. In 2011, the SREP activities were accompanied by the preparation of a US\$6.7 million UNDP project proposal which aims to develop and promote a sustainable model for the production and use of *Jatropha* oil in the country (UNDP, 2011b).

Projects focusing on the use of *Jatropha* for rural electrification offer promising opportunities to provide easier access to fuel and reduce domestic chores by providing local pressing facilities, power generators and MFPS. However, there are difficulties in establishing successful small-scale plantations due to a perceived lack of project support, labour shortages and lack of agricultural equipment (Favretto *et al.*, in press), which ultimately translate into low feedstock availability on the market. This limits the capacity to produce sufficient quantities of *Jatropha* oil, which to date has been mainly

used only for testing and demonstration. Financial and organisational constraints faced by project developers (the activities of which are heavily dependent on the monetary support from external donors), as well as a lack of coordination among institutional actors and overlapping roles, hamper the achievement of policy goals.

At the national level, in 2011 the total *Jatropha* land cover and actual yields accounted for 5,000 ha (excluding minor ongoing initiatives and the area covered by living fences) and 1.5 T/ha (Favretto *et al.*, 2012). These figures are notably smaller than those foreseen in 2013 by the NSBD (respectively 70,000 ha and 3.125 T/ha). This raises concerns about the feasibility of reaching the ambitious national fossil fuel substitution targets. Interviews with government officials revealed that use of irrigation is foreseen in the establishment of commercially viable large-scale plantations. These are required to allow policy objectives to be met (ANADEB regional workshop, Sikasso, 2010). This contrasts with claims that *Jatropha* flourishes in marginal land with limited water supply and poor soil – as stated in the biofuels strategy: “(*Jatropha*) can also grow on poor lands and has a good resistance to dryness” (GoM, 2008: 17). Interviews also suggested that attraction of foreign private investors is envisaged to allow industrial activities to be developed (API-Mali, Bamako, 2010). Access to land is legally regulated by the Agricultural Orientation Law (LOA) approved in 2006. *Jatropha*-related concessions in the Office du Niger (the main area of irrigated land used for food production in the country) are observed by the Oakland Institute (2011). Document analysis informed that a land acquisition pre-agreement between the ON and a private agro-investor aiming to set up a 10,000 ha *Jatropha* plantation was signed in 2009 (UNDP, 2011b). The investor is not following-up with the expected activities due to unspecified reasons. However, these observations raise concerns about the emergence of future food security and land acquisition threats. ANADEB envisages supervising future large-scale land acquisitions in order to guarantee the preservation of productive agricultural land as well as the socio-economic and environmental sustainability of these operations.

Livelihood assessments indicated that smallholder farmers are not replacing food production with *Jatropha* cultivation (Favretto *et al.*, 2013). Current pilot operations carried out by the private sector and NGOs have promoted the establishment of agroforestry systems – intercropping *Jatropha* with food crops – allowing agricultural diversification and guaranteeing that land used for food is not entirely shifted to biofuel production. No large-scale activities were reported to be taking place in the country at the time of interview. Whether *Jatropha* will threaten food security or encourage unsustainable operations (in terms of land and water use) within the country will not depend on the presence of small-scale agroforestry systems but on the way in which the large-scale activities fostered by policy are developed. Establishment and enforcement of clear binding rules supported by appropriate legal and institutional frameworks – a key priority in most of the Malian policies (Table 3) and for which support is being provided by the World Bank, UNDP and African Development Bank – will play a key role in avoiding unsustainable practices.

The gaps and implementation challenges we have identified could be addressed in various ways that could help improve policy coherency and achieve better impacts in the promotion of a sustainable path for biofuels in Mali. The government, particularly the MMEE and MA, should consider accompanying the development of a *Jatropha* biofuel industry that meets pro-poor development objectives with the initiatives outlined in Table 4.

Table 4. Major implementation challenges in Mali's biofuel development and proposed ways forward

Major implementation challenges	Proposed ways forward
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poor data collection and analysis system for monitoring the implemented <i>Jatropha</i> activities. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Put in place an appropriate data collection and analysis system for monitoring programmes, projects and the achievement of policy goals. This will increase coherence in the operations of different actors and facilitate the replication of successful experiences.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Multiplicity of institutional stakeholders in <i>Jatropha</i> promotion, overlapping roles and lack of coordination. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strengthen ANADEB's capacity to create a framework of cooperation and coordination for the promotion of biofuels (a priority for both the NSREN and NSBD). ▪ Improve integration and communication among stakeholders and clarify the roles and mandates of the main national directorates and agencies operating in the energy, agricultural and environmental sectors.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gaps between policy targets, land cover and actual yields. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Set realistic targets: revise ambitious energy policy targets in relation to land cover, yields and fossil fuel substitution based on actual achievements and feasibility of achieving future goals.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Limited feedstock availability hampers the production of higher quantities of <i>Jatropha</i>-based biodiesel used to fuel rural power generators. ▪ Low yields are due to major challenges faced by smallholder farmers. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conduct monitoring studies on the local perceptions of the impacts of <i>Jatropha</i> agriculture to help identify actions needed to overcome major barriers. ▪ Improve farmer support at the local level to increase village-level productivity: reinforcing extension networks will help farmers to address their difficulties in <i>Jatropha</i> cultivation.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inadequate funding mechanisms: financial and organisational constraints limit the project developers' ability to support farmers technically/financially. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Strengthen state partnerships with international organisations and donors to improve access to financial and technical support. ▪ Improve support to project activities in the field.
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Large-scale plantations (currently not in place) are required to meet land cover and fossil fuel substitution targets. ▪ Unattractive business environment to investors: lack of regulatory and fiscal frameworks for biofuels. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promote a competitive business environment: ANADEB's Investment Promotion Department, in cooperation with the API-Mali, should establish and enforce motivating regulatory and fiscal frameworks governing private biofuel investments (e.g. tax and customs incentives for biofuels).
<ul style="list-style-type: none"> ▪ The elaboration of a national strategy alone does not guarantee the sustainability of operations: large-scale plantations driven by ambitious land cover targets set within national policies could risk land use shifts away from food towards biofuel production. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Providing clear rules on the conditions for access to farm land and water resources will help to attract investments as well as to ensure the socio-economic and environmental sustainability of the biofuels operations (for which ANADEB is responsible).

Conclusions

This paper has explored the challenges and opportunities associated with the production and use of *Jatropha* in Mali. The lessons learnt will be useful to other countries facing similar socio-economic and environmental challenges in the development of sustainable biofuels. Mali's overall biofuel operations are coordinated by the National Biofuel Development Agency (ANADEB) and guided by the National Strategy for Biofuels Development (NSBD). The NSBD sets ambitious targets for national fossil fuel substitution with *Jatropha* oil. A range of pilot *Jatropha* projects are implemented by private sector organisations (aiming at oil production and sale) and NGOs (aiming at improving rural access to energy and development). Despite the potential benefits arising by these activities, major institutional, financial and organisational constraints hamper full achievement of oil production and increased access to fuel. Gaps between policy targets, actual yields and land cover are identified. *Jatropha* oil supplies remain insufficient for improving access to fuel and substituting national consumption. Ambitious land cover targets set within national policies could risk land use shifts away from food towards biofuel production. The findings show the importance of establishing a cohesive mix of country-specific policies that integrate rural development concerns with the private sector needs and international policy / donor priorities in the achievement of sustainable outcomes. Mainstreaming internationally agreed principles into national policies is key to attract the monetary, institutional and technical support needed from international organisations and donors.

Bibliography References

1. COMPETE. 2009. *Report on potential projects for financing support*. Third Periodic Activity Report – Annex 2-3-3. The Netherlands: COMPETE.
2. DYER, J.C., L.C. STRINGER and A.J. DOUGILL. 2012. *Jatropha curcas*: Sowing local seeds of success in Malawi? In response to Achten et al. (2010). *Journal of Arid Environments*. **79**, pp. 107-110.
3. FAVRETTO, N., L.C. STRINGER and A.J. DOUGILL. [in press]. Unpacking livelihood challenges and opportunities in energy crop cultivation: perspectives on *Jatropha curcas* projects in Mali. *The Geographical Journal*. In Press. doi: 10.1111/geoj.12053.
4. FAVRETTO, N., L.C. STRINGER and A.J. DOUGILL. 2012. *Policy and institutional frameworks for the promotion of sustainable biofuels in Mali* [online]. Centre for Climate Change Economics & Policy Working Paper No. 103. London and Leeds. Available from: <http://www.cccep.ac.uk/Publications/Working-papers/Papers/100-109/WP103-policy-sustainable-biofuels-mali.pdf>
5. GILBERT, N. 2011. Local benefits: The seeds of an economy. *Nature*. **474**, pp. 18-19.
6. GoM. 2006. *Strategie nationale pour le developpement des energies renouvelables*. Bamako. Ministere des Mines, de l'Energie et de l'Eau.
7. GoM. 2008. *Strategie nationale pour le developpement des biocarburants*. Bamako: Ministère des Mines de L'Energie et de l'Eau.
8. GoM. 2009. *Systeme d'information energetique du Mali*. Bamako: SIE Mali'

- Ministère des Mines de L'Energie et de l'Eau.
9. JANSSEN, R. and D.D. RUTZ. eds. 2012. *Bioenergy for sustainable development in Africa*. London: Springer.
 10. JONGSCHAAP, R.E.E., et al. 2007. *Claims and facts on J. curcas. L*. Wageningen: Plant Research International.
 11. NYGAARD, I. 2009. Institutional options for rural energy access: exploring the concept of the multifunctional platform in West Africa. *Energy Policy*. **38**(2), pp. 1192-1201.
 12. OAKLAND INSTITUTE. 2011. *Comprendre les investissements fonciers en Afrique. Rapport: Mali*. The Oakland, US: Oakland Institute.
 13. UN. 1992. *United Nations Framework Convention on Climate Change* [online]. Treaty Doc. No. 102-38, 1771 U.N.T.S. 107. [Accessed 21 May 2013]. Available from: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
 14. UN. 2006. Report on the fourteenth session of the United Nations Commission on Sustainable Development. In: *United Nations Commission on Sustainable Development, 22 April 2005 and 1-12 May 2006, New York*. [online]. [Accessed 31 August 2013]. Available from: [http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/CN.17/2006/15\(SUPP\)&Lang=E](http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=E/CN.17/2006/15(SUPP)&Lang=E)
 15. UN. 2012. *Sustainable Energy for All - A Framework for Action*. New York: United Nations.
 16. UNDP. 2004. *Reducing Rural Poverty through Increased Access to Energy Services - A Review of the Multifunctional Platform Project in Mali*. Bamako: UNDP.
 17. UNDP. 2011a. *Multi-use engines drive empowerment in 1,000 Mali villages* [online]. [Accessed 6 April 2013]. Available from: <http://www.undp.org/content/undp/en/home/presscenter/articles/2011/04/07/multi-use-engines-drive-empowerment-in-1000-mali-villages.html>
 18. UNDP. 2011b. *Promotion of the production and use of Jatropha oil as sustainable agrofuel in Mali* [online]. [Accessed 2 April 2013]. Available from: http://www.ecowrex.org/sites/default/files/documents/projects/mali_undp_revised_09102012.pdf
 19. WB and GoM. 2011. *SREP MALI - Scaling up renewable energy in Mali, investment plan Volume I*. Washington, D.C.; Bamako: World Bank and Malian Ministry of Mines, Energy and Water.

DEVELOPMENT AND PROSPECT OF BIOENERGY IN TAIWAN

S-N CHEN

Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs
12F., No. 2, Fu-Hsing North Road, Taipei 104, Taiwan R.O.C.

Author email contact : snchen@moeaboe.gov.tw

Key words: Bioenergy, Biofuels, Renewable Energy

I Introduction

The world energy supply is facing a diverse and broad set of challenges. Demand for petroleum continues to increase, but the rate of new crude oil discoveries is declining. Concerns over climate change related to carbon emissions are affecting many countries' policies and strategies. Combined with other drivers, these factors are putting increased focus on renewable energy and sustainable hydrocarbon fuels made from biomass. As many countries highly concern the development of bioenergy and policies and strategies applied on the promotion of using biofuels, the objective of this paper is, therefore, to provide West Africa countries with Taiwan's experience in the development of biofuels and the prospect of bioenergy in the future.

II Taiwan's Energy Supply and Consumption

Taiwan's energy supply is highly dependent on imported energy. Due to lack of indigenous energy, 97.97% of total energy supply was imported in year 2011. Most of the energy supply is fossil fuel, and total renewable energy only accounted for 1.81% [1], as shown in Figure 1. Fossil fuels account for 90.05% of Taiwan's total energy supply. 78.35% of Taiwan's electricity supply is generated from fossil fuel, and electricity from high carbon coal fired plants takes into account of 49.91% [2].

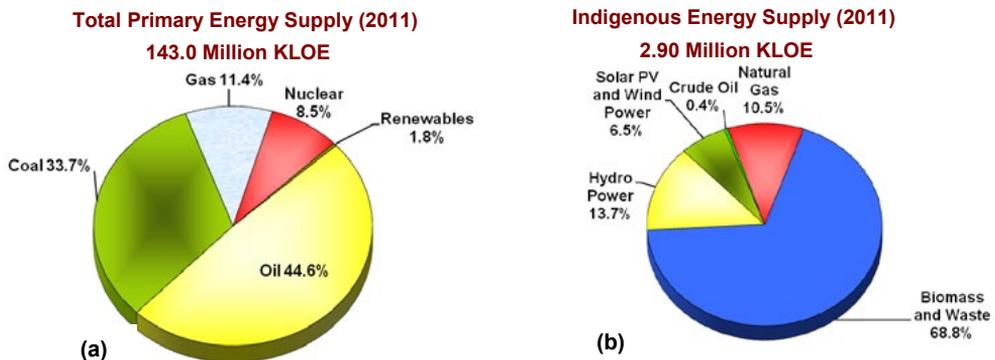


Figure 1 : (a) Taiwan energy supply, and (b) indigenous energy supply.

Taiwan energy productivity has increased since 2001, as shown in Figure 2. Industry sector, the major consumer of energy in Taiwan, accounts for 39.26% of energy consumption. Energy consumptions in service and residential sectors are increasing with growth rates of 4.46% and 3.66% respectively in the past decade. However, energy intensity has decreased 1.73% annually [1]. Yet there is still room to improve energy efficiency as compared with developed countries.

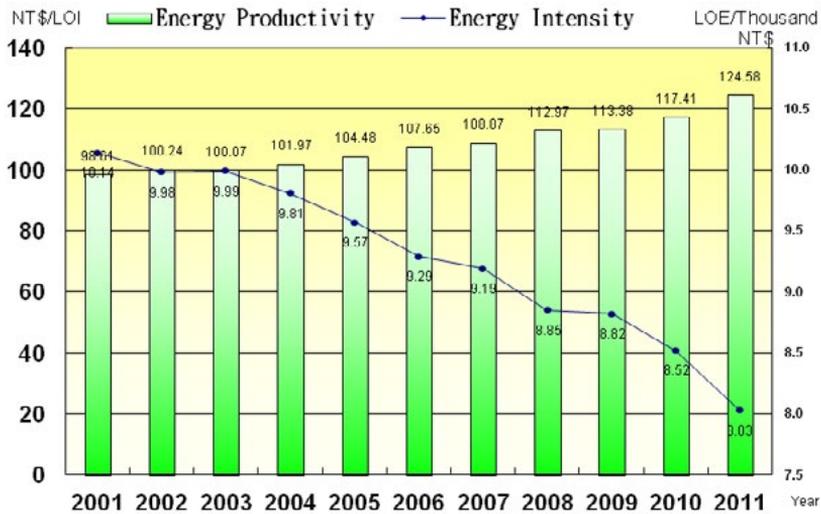


Figure 2 : Energy Intensity and Productivity (2011) in Taiwan.

Taiwan emitted 261 million tons of CO₂ in 2011. The average growth rate of CO₂ emission has slowed down significantly in the past decade, Figure 3. The growth rate of CO₂ emission has grown 1.76% annually after year 2000, slower than the annually economic growth rate of 3.87%, Figure 4.

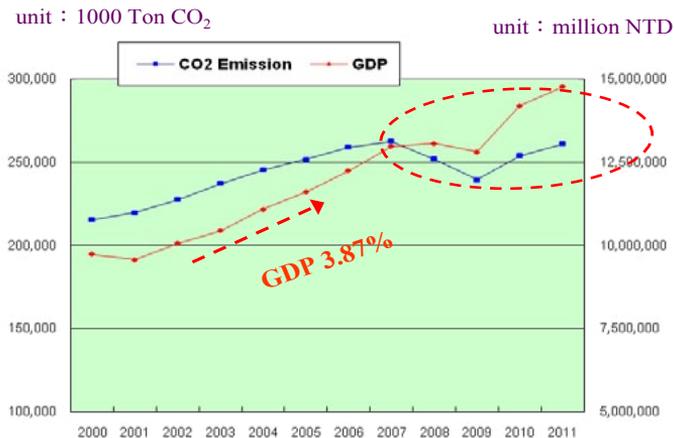


Figure 3 : CO₂ Emission and GDP of Taiwan (2011).

unit : kg CO₂/1000 NTD

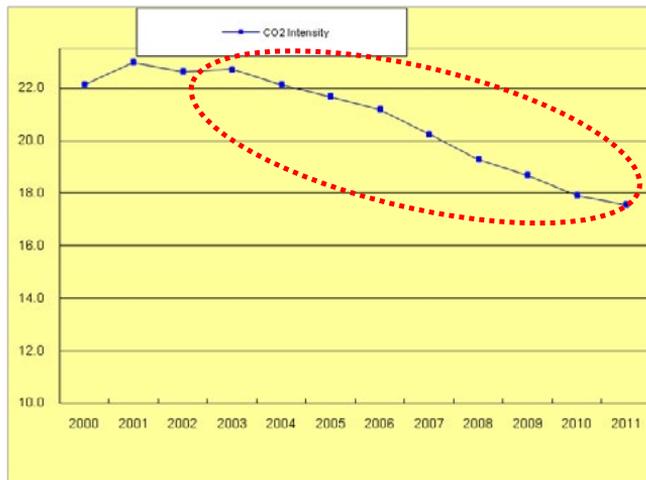


Figure 4 : CO₂ Intensity of Taiwan (2011).

III Sustainable Energy Policy

Framework of sustainable energy policy is directed by cleaner energy supply and rationalized energy demand. A two-high and two-low energy consuming and supplying system is set as follows.

- High efficiency: high energy and transformation efficiency.
- High value-added: high value-added per unit energy used.
- Low emission: low carbon, low pollution energy supply and consumption system.
- Low dependency: low imported fossil energy.

3.1 Policy directions and targets under the “New Energy Policy Framework”

- Target expansion and overall development strategy: due to the geographical environment and natural resource limitations, renewable energy with matured technology and low power generation costs will have priority in government development policy. Moreover, the authorities will encourage the industry players to consolidate their R&D and manufacturing capabilities. Thus, Taiwan can be one of the green power exporting countries.

- Target of the promotion of renewable energy: According to the “Renewable Energy Development Act”, the target of renewable energy installation shall increase up to 6,500MW in 17 years. To correspond with the upcoming goals for GHG reduction, energy diversification, and renewable energy expansion, the revised renewable energy installation target will reach 12,502 MW by 2030. In other words, a more aggressive target is set for developing the renewable energy in Taiwan.

Master plan on energy conservation and emission reduction is deployed. The objective of the master plan is three dimensions, (a) energy efficiency: to reduce energy intensity by 2% per annum and totally reduce 20% in 2015, further reducing energy intensity by 50% in 2025 with technological breakthrough and administrative measures. (b) emission reduction: to reduce CO₂ emission to year 2005 level in 2020, and further reduce to year 2000 level in 2025. (c) low carbon energy: to increase share of low carbon energy in electricity system to 55% by 2025.

3.2 Renewable Energy Development Act

Renewable Energy Development Act was approved by Congress on June 12, 2009, and the goal of 6.5GW~10GW renewable energy was set. Mechanism applied to fulfill this goal is: (a) by referring to German experiences, this Act adopts the fixed feed-in tariffs (FIT) mechanism for renewable electricity. (b) a committee is formed to decide feed-in tariffs and calculation formula for renewable electricity. Tariffs and formula should be reviewed annually. Renewable power technologies in the early stage of development with future potentials are entitled of demonstrative incentives. (c) companies obligated for grid connection are responsible for operating grid and buying in renewable electricity. (d) power companies and owners of self-usage power production that reach a certain level of capacity of non-renewable energy shall pay a certain amount to the Fund annually, serving as the budget source for subsidies. Government shall also arrange budget for the Fund if necessary.

IV Development of Bioenergy in Taiwan

4.1 Bio-power

Potential of bio-power in Taiwan is 1,840 MW as shown in Table 1. A goal of bio-power of 1,400 MW by 2030 is set. Strategy to achieve this goal is (a) transforming incineration plants into center of biomass energy, (b) applying biomass energy in base-load power electricity and co-generation system, (c) producing biogas from wastewater treatment plant.

Table 1. Potential of bio-power in Taiwan and goal set by 2030

Potential : 1,840 MW		Goal: 1,400 MW by 2030
Waste	<ul style="list-style-type: none"> Urban garbage: 1,260 MW Rural garbage : 207 MW (present and those in plan), 261 MW (additional), 468 MW (in total) 	<ul style="list-style-type: none"> Urban garbage: 1,083 MW Rural garbage : 286 MW
Biogas	<ul style="list-style-type: none"> Present Landfills : about 25MW Others : 87 MW 	Reach about 31 MW

4.2 Bio-diesel

Taiwan government applied mandatory B2 scheme in June 2010, blending 2% of bio-diesel into regular diesel, which could reduce 0.26 million ton CO₂ emission annually. Waste cooking oil is the main feedstock for domestic production. Consumption of biodiesel in Taiwan is 100 ML per year, Figure 5.



Figure 5 : Development of bio-diesel scheme in Taiwan.

4.3 Bio-ethanol

E3 demonstration has been made in Taipei and Kaohsiung cities since July 2009. No fuel ethanol plant is in Taiwan now and looks for cellulosic ethanol technology. Mandatory E3 is under planning. Compatibility with old vehicles and scooters is the major concern for E3.



Figure 6 : Demonstration of bio-ethanol in Taiwan.

There are 4 benefits for using bio-fuels in Taiwan, (a) energy dimension: to increase indigenous energy, promote sustainable energy development and reduce fossil fuels. (b) agricultural dimension: to utilize fallow land by planting energy crops, create farmer's jobs and boost rural economy and tourism. (c) environmental dimension: to reduce GHG emissions and local air pollution, re-use of waste, protect environment by biodegradable product. (d) Industrial dimension: to establish domestic technology, develop renewable energy industries, export technology & develop foreign markets.

V Prospect of Bio-energy in Taiwan

Prospect of bio-energy and barriers needed to overcome to achieve the goal of bio-energy are identified.

- Increasing the availability of domestic feedstock: in addition to the availability of waste cooking oil in Taiwan (60,000 tons per year), more efforts are made for set-aside land (220,000 hectare) which can be used for growing energy crops.
- Multiple feedstocks for biofuels: to increase feedstocks from agricultural, industrial and municipal wastes, and cultivation of algae and new energy crops.
- New formula biofuel: butanol is similar to gasoline in terms of energy content, octane number and combustion parameters.

- Bio-fuels compatibility with present vehicle: 28 out of 35 in 2001~2006 car models are suitable for B5 fuel and 93 out of 96 in 2001~2006 vehicle models are suitable for E3 fuel. However, E3 fuel is not suitable for 12 million scooters in Taiwan.
- Technologies for advanced bio-fuel processing: to develop technologies for cellulose ethanol, pyrolysis derived bio-oil, and renewable alkanes via hydrogenation or Fischer-Tropsch synthesis.
- Vehicle and scooter technologies: flex fuel system is required for vehicle and scooter. New engine management system, auto sensor for ethanol concentration and emission control system are needed.

VI Conclusion

The key to reduce vulnerability of energy supply in Taiwan is to accelerate the development of indigenous and diversified energy supply. This acknowledges the importance of renewable energy and bio-energy. In view of the above-mentioned discussion, the development and prospect of bio-energy in Taiwan are summarized as follows.

- A more aggressive bioenergy program in Taiwan is required to reduce emission of CO₂, pursue sustainability of energy supply and independence of energy resource.
- Taiwan government has set the renewable energy target of 12,502 MWe by 2030 with bio-power capacity of 1,400 MWe.
- Review the safety of nuclear energy and national energy policy and cut down the dependence on nuclear power generation by referring to Fukujima Nuclear Crisis. It is estimated that renewable energy will account for 9.5% of overall electricity generation by 2030 (compared to 4.4% in 2010).
- The assistance from all government units especially in making and executing renewable energy laws is quite important to create a renewable energy friendly environment in Taiwan.
- Building up a Reviewing System to review progress of technical development and regularly revise the bioenergy targets.

Bibliography references

1. Taiwan Energy Statistics 2012.
2. Energy Balances in Taiwan, 2011.

CADRE STRATÉGIQUE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE DES BIOCARBURANTS AU BURKINA FASO

R. N. SAWADOGO

Directeur Général de l'Energie
Ministère des Mines et de l'Energie
01 BP 4461 Ouagadougou 01
Contact email auteur : sawadogo_nar@yahoo.fr

Mots clés : biocarburant-sécurité alimentaire-vision-stratégie-fiscalité

I Introduction

Le Burkina Faso est un pays enclavé de l'Afrique de l'Ouest non producteur de pétrole, mais qui dispose d'importantes ressources énergétiques dont la valorisation contribuera à alléger la facture pétrolière. La politique nationale de sécurisation de l'approvisionnement en énergie électrique conjuguée à celle du développement de l'électrification rurale, du secteur du transport et de la mécanisation agricole susciteront une importante demande en hydrocarbures, qui pèsera énormément sur la balance des paiements. De nos jours, le Gouvernement mobilise d'importantes ressources financières pour assurer un approvisionnement sécurisé en hydrocarbures.

Pour faire face à la forte demande en produits pétroliers et à la flambée des prix des hydrocarbures, l'Etat burkinabé s'est engagé dans une politique de développement durable des filières biocarburant et bioénergie dans le respect de la sécurité alimentaire et de la protection de l'environnement.

Dans le cadre de la valorisation des potentialités nationales en énergies renouvelables, l'Etat a mis en place des synergies avec les promoteurs et la société civile pour un développement durable de la filière biocarburant. A cet effet, le Ministère en charge de l'énergie accompagne les promoteurs en matière d'appui en équipements industriels et de renforcement des capacités en technique de production agricole, de valorisation des tourteaux, de production industrielle et de distribution de biocarburants.

La présente stratégie se propose de donner une vision du Gouvernement en matière de développement de la filière biocarburant au Burkina Faso et les mesures (réglementaires, fiscales, ...) qui seront adoptées pour une valorisation des avantages économiques d'une substitution des hydrocarbures importés pour la production d'électricité et de force motrice.

II Etat des lieux

Au regard du contexte pédoclimatique national, les plantes potentiellement intéressantes pour la production de biocarburants sont le Jatropha, le coton, le tournesol, l'arachide,

le soja, la canne à sucre et le sorgho sucrier. Pour des raisons de sécurité alimentaire, de droits fonciers et de disponibilité de terres pour une production agricole à l'échelle industrielle, les projets de la filière biocarburant au Burkina Faso se concentrent sur la production d'huile végétale brute (HVB) et de biodiesel à base de Jatropha et visent le marché national.

2.1 Le marché national

La consommation nationale des hydrocarbures est évaluée en 2012 à 947 000 m³ soit environ 760 kTep [1] et se répartit comme suit :

- 24 % pour le transport léger ;
- 42 % pour le transport lourd et la mécanisation ;
- 22 % pour les besoins en production électrique ;
- 12 % pour les besoins du trafic aérien, l'éclairage des campagnes et du secteur informel par le pétrole lampant et l'énergie de cuisson par le gaz butane.

L'estimé du marché potentiel des différents types de biocarburants à développer [2] se présente comme suit :

- un marché des Huiles Végétales Brutes (HVB) de 20 kTep en substitution du fuel lourd pour la production d'électricité dans les centrales thermiques alimentant le réseau électrique national ;
- un marché des HVB de 5 à 50 kTep pour la production de force motrice et le développement de l'électrification rurale ;
- un marché de biodiesel de 90 kTep dans le cadre d'un mélange pour une proportion de 30 % au gasoil ;
- un marché de bioéthanol de 20 kTep dans le cadre d'un mélange pour une proportion de 10 % à l'essence super.

Le développement de ces trois marchés des biocarburants [3] dépendent fortement de la capacité de mobilisation des terres arables, de l'organisation des filières de production agricole, et des investissements dans les technologies industrielles de transformation des matières premières en produits finis.

2.2 Les acteurs de la filière

Le développement de la filière biocarburant repose sur les acteurs tels que :

- Les acteurs institutionnels constitués des ministères en charge de l'énergie, de l'agriculture, de l'environnement, de l'économie et des finances, du commerce, de l'administration territoriale et de la justice et chargés de définir un cadre réglementaire et des mesures fiscales pour assurer la sécurité des investissements des acteurs et la mise en place des normes qui garantissent la qualité des produits au niveau des utilisateurs ;
- Les centres de recherche représentés par des instituts comme 2iE, IRSAT, INERA, CNRST ou CIRAD chargés de la codification de certains principes et de la définition de standards pour les huiles HVB ;
- la commission interministérielle de facilitation de l'approche multi sectorielle dans le domaine de l'énergie (CIFAME) dont la mission principale consiste à superviser et à adopter le document projet de la stratégie nationale de l'énergie ;

- le comité interministériel chargé de la coordination des activités de développement des filières biocarburants du Burkina Faso (CICAFIB) dont la mission principale est la mise en œuvre de la politique de promotion des biocarburants au Burkina Faso ;
- les partenaires techniques et financiers chargés d'apporter un appui financier pour l'installation des différents maillons de la filière par une politique de mise en place d'instruments de financement adaptés et équitables au vue des enjeux macro-économiques liés au développement de la filière ;
- les paysans, les producteurs agricoles et les agro-industriels chargés de la production suffisante des matières premières ;
- les promoteurs chargés d'assurer la production de base en biocarburants (HVB, biodiesel, bioéthanol) ;
- la SONABHY, les marketeurs et les agents attirés chargés de la distribution des biocarburants.

III. La politique de développement de la filière

3.1 La vision

Soucieux de la forte pression des coûts d'approvisionnement du pays en hydrocarbures sur la balance commerciale et de l'insécurité alimentaire, le Gouvernement a orienté sa politique de développement des biocarburants en vue de promouvoir le développement de l'utilisation des ressources énergétiques endogènes et de baisser les coûts de production entravant le développement économique du pays.

La vision stratégique du développement durable des biocarburants se définit comme [2] suit :

« Pour une indépendance accrue de l'approvisionnement énergétique envers les importations d'hydrocarbures, par le développement d'une production durable de biocarburants contribuant au renforcement de l'économie et du bien-être du monde rural, dans le respect de la sécurité alimentaire et de la protection de l'environnement ».

Les objectifs de développement des biocarburants au Burkina Faso sont :

- la réduction de l'impact des coûts d'approvisionnement en hydrocarbures sur l'économie du Burkina Faso ;
- la valorisation des avantages de production des biocarburants pour un développement de l'économie nationale et une amélioration des conditions de vie du monde rural ;
- la réduction de la pauvreté en milieu rural par le biais de développement des filières de production d'HVB pour une consommation locale (force motrice, électricité, irrigation, pompe d'eau potable) ;
- la création d'emploi par le biais de l'organisation et de la professionnalisation des filières de production des biocarburants au Burkina Faso.

3.3 Le cadre réglementaire et fiscal

Cadre règlementaire

Pour garantir une utilisation sécuritaire des biocarburants, des procédures d'homologation et de certification pour les produits biocarburants et les laboratoires en charge de les contrôler seront développées en étroite coopération avec la profession.

L'organisation de la profession est un dispositif réglementaire important de l'approche de dynamisation des filières biocarburants. Pour ce faire, il sera créé des organisations professionnelles représentant les différents intérêts de la filière biocarburants. Un régime de déclaration du nombre d'hectares réservés à la production énergétique sera établi de façon à pouvoir suivre l'évolution de l'offre.

Pour permettre un développement harmonieux et une information suffisante des différents acteurs, le CICAFIB reprendra ses activités de veille pour le développement de la filière. Un protocole de suivi associant le CICAFIB, les autorités de tutelle sur le terrain et les acteurs/opérateurs du secteur sera établi.

Fiscalité

En termes économiques, la production de biocarburants se traduit par des avantages très substantiels sur la balance commerciale et par une importante création de valeurs ajoutées directe et indirecte, qui favorisent la dynamisation de l'économie nationale tant au niveau du monde rural par la production de matières premières, que dans le secteur secondaire de la transformation de ces matières premières en biocarburants.

A ce titre, l'Etat burkinabé élaborera un mécanisme de régulation des prix des biocarburants dont les principes sont les suivants :

- la prise en compte de l'ensemble des bénéfices liés à la production des biocarburants et aux problèmes auxquels pourraient être confrontés les acteurs de la filière ;
- le prélèvement d'une taxe équitable permettant de compenser le manque à gagner des taxes sur les hydrocarbures substitués tout en préservant les avantages d'une réduction du coût de l'énergie sur l'économie et prenant en compte l'accroissement de l'assiette fiscale générée par la valeur ajoutée créée sera instauré ;
- l'octroi d'une subvention qui sera alloué dans les cas de figure où le coût des biocarburants excède le coût hors taxes de l'hydrocarbure substitué. Le coût de cette subvention devra toutefois rester inférieur aux bénéfices économiques liés à la production des biocarburants ;
- l'exonération de la production d'HVB villageoise pour la consommation locale.

3.4 Les préconisations pour l'atteinte de la vision

Les marchés potentiels de développement de la filière biocarburants nécessiteront la mobilisation d'au moins 500 000 ha soit 5% des terres cultivable au Burkina Faso. Ce niveau de mobilisation est acceptable et ne met pas en danger la mobilisation des terres pour les besoins de sécurité alimentaire.

Toutefois, la possibilité de développer des filières courtes pour la consommation locale du monde rural sur 50 ha soit moins de 10 % du terroir villageois est également préservée par la politique nationale.

La culture de Jatropha se faisant sur le principe des cultures intercalaires avec d'autres cultures, une veille scientifique a été érigée afin de se pencher sur les thèmes suivants :

- l'empreinte hydrique qui est la consommation d'eau par litre de biocarburant produit (monocultures) ;
- le type de culture, principalement pour assurer un retour d'expériences et une codification de différents types de cultures associées au Jatropha en termes de rendement ;
- l'utilisation des tourteaux de Jatropha comme engrais et les aspects de contamination des sols;
- le rendement des plants de Jatropha et la sélection des espèces;
- le développement d'autres cultures oléagineuses annuelles telles le tournesol ou le soja dont le tourteau peut être valorisé comme aliments pour bétail et qui répondent à la fois au marché énergétique ou celui des huiles alimentaires.

La production et l'utilisation locales de biocarburants à base de Jatropha contribueront à l'intensification et à la diversification des productions agricoles, au-delà de la conservation et de la valorisation agroalimentaire.

IV. Le cadre stratégique de développement de la filière biocarburants

4.1 Le cadre institutionnel

Les documents clés

- La Vision 2020, qui décline la vision du pays en matière d'accès aux services modernes d'énergies en milieu urbain et rural ;
- La Stratégie de Croissance accélérée et de développement durable (SCADD) qui prône la mise en valeur du potentiel énergétique national ;

Sur le plan institutionnel

- La Direction Générale de l'Energie a en son sein une Direction des Energie Renouvelables et des Energies Domestique (DERED) chargée de la promotion des Energies Renouvelables;
- La création d'un Comité Interministériel chargé de la Coordination des Activités de Développement des Filières Biocarburants au Burkina Faso (CICAFIB) en 2009.

Il n'existe pas à l'heure actuelle de dispositions législative dans le sous secteur des biocarburants et des bioénergies. A cet effet, le Ministère des Mines et de l'Energie a pris un certain nombre de mesures pour renforcer les aspects institutionnels du développement de la filière biocarburant, qui sont entre autres :

Recommandation 1 :

Privilégier la contribution « *approvisionnement paysan* », en organisant l'agriculture

paysanne traditionnelle sur le modèle de la coton-culture avec une ou plusieurs organisations faitières. Les différents promoteurs devront respecter un cahier des charges qui organise la production d'oléagineux, en vue d'assurer son intégration dans le cycle des rotations agricoles et un revenu monétaire stable à la paysannerie traditionnelle.

Cette organisation type est à privilégier au détriment des grands complexes industriels, pour éviter la concurrence au niveau ressources foncière et hydrique, pour relancer les cultures de rente au niveau local et contribuer au renforcement du monde rural par l'organisation de groupements de producteurs et/ou de coopératives de transformation.

Recommandation 2

Dans le cadre du développement de l'agrobusiness et en vue de sécuriser l'approvisionnement de grandes unités de production industrielle (production de bioéthanol ou de biodiesel), des dispositions devront être prises pour encadrer un tel développement et associer un approvisionnement de la matière première par les paysans installés dans la zone, ce qui permettrait l'intensification et le développement des systèmes de productions familiaux. Les aspects fonciers de cette option doivent faire l'objet d'une attention particulière afin de prendre en compte les droits fonciers locaux (terres pastorales).

Recommandation 3

En matière de financement, l'obtention de garanties bancaires pour les institutions de financement nationales par les organismes internationaux de financement du développement tels le FMI ou la Banque Mondiale, doit être promue afin d'assurer l'accès à un crédit équitable à la fois pour le promoteur et les paysans et pour permettre de lisser la trésorerie des operateurs.

Recommandation 4

Mettre en place un cadre législatif et fiscal garantissant le rendement des investissements effectuée que ce soit au niveau de la production, de la transformation ou de la distribution des produits biocarburants.

4.2 La stratégie

La stratégie nationale est de développer un marché national des biocarburants pour la production de force motrice et d'électricité, à travers l'organisation de la chaine de production et d'approvisionnement, la mise en œuvre des unités de production industrielle de biocarburants et l'homologation et la certification des produits biocarburants.

A cet effet, les prérogatives du CICA-FIB seront renforcées afin de redynamiser les secteurs de production agricole, de transformation des matières premières, de valorisation des tourteaux et de distribution des biocarburants. Le CICA-FIB devra définir et adapter les critères de durabilité susceptibles d'améliorer la sécurité alimentaire, le développement rural, les droits fonciers, la protection de l'environnement, la réduction

de la pauvreté et les impacts macroéconomiques.

Par ailleurs, il est prévu la création d'une agence nationale des énergies renouvelables qui sera chargée de l'organisation pour un développement durable de la filière biocarburants dans le respect de la sécurité alimentaire, des titres fonciers et de la protection de l'environnement.

V Les risques

Comme risques identifiés, il y a :

- Le non-octroi de la subvention, qui est vital pour permettre l'arrivée sur le marché de l'HVB de Jatropha, si les conditions économiques de production de l'HVB ne sont pas tout à fait acquises (un coût de production légèrement supérieur au prix économique de l'hydrocarbure substitué) ;
- Le coût de la logistique de transport des matières premières, qui suppose des choix en termes d'approvisionnement et d'optimisation des filières ;
- La qualité des huiles, qui devrait être garantie par l'établissement de standards, de protocoles de contrôle et d'homologation de laboratoires ;
- La disponibilité des terres pour une production à l'échelle industrielle des biocarburants dans le cadre des marchés de production d'électricité et de transport ;
- Le délai de paiement entre les acteurs, qui pour certains peut atteindre 90 jours, ce qui demande le développement de facilités de crédit à court terme, pour soutenir la trésorerie et permettre de payer les paysans dans un délai raisonnable.

VI Conclusion

L'intérêt pour les pays africains importateurs nets d'hydrocarbures comme le Burkina Faso de s'investir dans le développement durable des biocarburants en substitution aux produits pétroliers liquides a été établi depuis les précédentes conférences internationales.

Le développement des biocarburants pourra permettre (i) de réduire la dépendance énergétique de notre pays vis à vis des hydrocarbures importés, (ii) d'améliorer la balance des paiements, (iii) d'offrir des opportunités de création d'emplois, de revenus et donc un vecteur de lutte contre la pauvreté, (iv) d'accroître l'accès aux services énergétiques modernes en zone rurale et isolée et (v) d'assurer la sécurité alimentaire nationale par la diversification des techniques et technologies agricoles et de fertilisation de sols.

Références bibliographiques

1. Rapport d'activité de la SONABHY, année 2012
2. E. Nonyarma et J-P Laude, Cadrage de la politique de développement des biocarburants au Burkina Faso, décembre 2010
3. Document Cadre de Politique de Développement des Biocarburants au Burkina Faso du Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie, octobre 2009

Index des auteurs

A

AUDOUIN Sarah

Institut International d'Ingénierie de l'eau et de l'environnement (2IE),
Centre Commun de Recherche Énergie et Habitats Durables (CCREHD),
Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB),
Fondation 2IE, rue de la science, 01 BP 594, Ouagadougou, Burkina Faso
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne,
UMR PRODIG , 2 rue valette, 75005 Paris, France
Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UR 105 B&SF
Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, France

Contact : sarah.audouin@cirad.fr ; audouin.sarah@gmail.com

Sarah Audouin est doctorante en géographie, inscrite aux écoles doctorales de Paris 1 et 2IE, sous la direction de Bernard Tallet (Paris1) et Laurent Gazull (CIRAD). Sa thèse porte sur les liens entre les innovations agricoles, telles que les agrocarburants, et leur insertion territoriale au Burkina Faso. Elle est ingénieur agro-économiste, spécialisée en agronomie tropicale et en politiques publiques, diplômée de l'Institut Supérieur d'Agriculture de Lille puis de Montpellier SupAgro. Son parcours l'a mené à questionner les relations entre les pratiques paysannes et les systèmes de production agricoles dans les pays du Sud avant de s'intéresser à la dimension spatiale.

B

BLIN Joël

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE),
Centre Commun de Recherche Énergie et Habitats Durables (CCREHD),
Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB),
Fondation 2IE, Rue de la Science 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso.
Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
UPR Biomasse Energie, TA B-42/16, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Contact : joel.blin@cirad.fr, joel.blin@2ie-edu.org

Joël Blin est chercheur en conversion énergétique de la biomasse au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad). De formation universitaire en chimie et en biochimie à Grenoble en France, il est titulaire d'un doctorat en chimie organométallique obtenu en 2000 à Saarbrücken en Allemagne. En 2001 il rejoint l'unité de recherche en bioénergies du Cirad. Durant la dernière décennie, il s'est spécialisé dans l'analyse des mécanismes chimiques mis en jeu dans les procédés de conversion énergétique de la biomasse.

Depuis 8 ans, Joël est accueilli par l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) de Ouagadougou, au sein de l'équipe de recherche et enseignement en énergie. En 2007, il a créé le « Laboratoire Biomasse Energie et des Biocarburants » (LBEB), laboratoire conjoint 2IE et Cirad. Depuis lors, il dirige ce laboratoire qui rassemble une équipe internationale de recherche de 24 personnes.

C

CHAPUIS Arnaud

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE),
Centre Commun de Recherche Énergie et Habitats Durables (CCREHD),
Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB),
Fondation 2iE, Rue de la Science 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso.
Université de Toulouse, Mines Albi, CNRS UMR 5302, Centre RAPSODEE,
Campus Jarlard, F-81013 Albi Cedex 09, France
Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD), UPR
Biomasse Energie, TA B-42/16, 73 rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Contact : arnaud.chapuis@mines-albi.fr

Arnaud Chapuis est ingénieur en génie des procédés, spécialité énergétique, issu de l'Ecole des Mines d'Albi et est également titulaire d'un master recherche en énergétique et transferts thermiques de l'Université de Toulouse. Après avoir travaillé en Suisse sur le thème de la planification énergétique en zone urbaine, il s'installe au Burkina Faso pour préparer un doctorat sur le développement durable des biocarburants au sein du Centre Commun de Recherche Energie et Habitat Durable (CCREHD) à 2iE. Ce projet de doctorat rassemble de nombreux partenaires, dont l'EPFL, CETIOM/CREOL et Mines Albi. La soutenance est prévue pour avril 2014.

CHEN Shih-Nan

Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs
12F., No. 2, Fu-Hsing North Road, Taipei 104, Taiwan R.O.C.

Contact: snchen@moeaboe.gov.tw

Shih-Nan Chen is graduated from Soochow University in Taiwan. He is currently the Section Chief of Energy Technology Division, Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs. Previously he was inspector of Personnel Department, Bureau of Energy (1991-1998) and inspector of Energy Technology Division, Bureau of Energy from 1998 until 2012. His professional specialties are energy planning and policy analysis, International energy study.

D

DABAT Marie Hélène

Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
UMR ArtDev , Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, France

Contact : dabat@cirad.fr

Marie-Hélène Dabat détient un doctorat en Sciences économiques de l'Université de Montpellier 1. Elle a effectué des recherches pendant douze années au Centre d'études de projets au sein de cette université sur les méthodologies d'évaluation des projets et des politiques publiques, et a intégré ensuite le CIRAD en 1999, elle se situe actuellement dans l'Unité Mixte de Recherche Acteurs, ressources et territoires dans le développement (ART-Dév). Elle a travaillé pendant cinq années à Madagascar et vient de terminer un séjour de six années au Burkina Faso. Elle analyse les marchés et les filières agroalimentaires et énergétiques dans une perspective d'intégration des agricultures aux marchés locaux et globaux et d'articulation des politiques sectorielles et territoriales.

DERRA Salif

SupAgro, UMR Innovation,
2 place Pierre Viala, 34060 Montpellier, France
Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
UMR Innovation, Avenue Agropolis, 34398 Montpellier, France

Contact : salif.derra@cirad.fr

Salif Derra conduit actuellement une thèse en sciences économiques au sein de l'UMR Innovation du CIRAD. Il détient un diplôme d'ingénieur agronome de l'école nationale d'Agronomie de Meknès (Maroc). Il est également titulaire d'un master en économie (Agriculture Alimentation et Développement Durable) de Supagro Montpellier. Son domaine de recherche couvre notamment l'analyse et l'évaluation de l'innovation dans le secteur agricole. Il analyse en effet dans le cadre de sa thèse, les déterminants qui expliquent l'innovation pour la production de biocarburants dans les pays d'Afrique Subsahariens.

F

FAVRETTO Nicola

Sustainability Research Institute, School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK

Contact: n.favretto@see.leeds.ac.uk, nicola.favre@libero.it

Nicola Favretto is a Research Fellow at the Sustainability Research Institute, University of Leeds, UK. He has a Master in International Economic Integration and a Bachelor in Economics and Social Sciences.

He is completing a PhD thesis in Environmental Sustainability at the University of Leeds (submitted on October 2013). Nicola has relevant experience in the use of participatory research tools focused on agro-ecosystems and livelihoods across Sub-Saharan Africa, Southern Africa and Latin America. Prior to his PhD, Nicola had work experience at the European Commission in Brussels and at the United Nations Development Programme in New York. Nicola's main research interests include sustainable energy, environment, agriculture and rural development.

FEINTRENIE Laurène

CIRAD, UR B&SEF Biens et Services des Écosystèmes Forestiers tropicaux,
Département Environnements et Sociétés,
CIRAD-direction régionale d'Afrique Centrale,
BP 2572, rue Joseph Essono Balla,
Yaoundé, Cameroun.

Contact: laurene.feintrenie@cirad.fr

Laurène Feintrenie a rejoint l'équipe [B&SEF](#) en Décembre 2011, pour étudier les interactions entre les forêts, l'agriculture et l'élevage. Avant cela elle a été accueillie pendant 4 ans au CIFOR (Centre de Recherche International en Foresterie, membre des CGIAR), en Indonésie. Elle travaillait en Indonésie sur les dynamiques paysagères et les conséquences socio-économiques de la conversion des agroforêts en plantations monospécifiques. Le développement du palmier à huile était un de ses sujets de recherche. Elle s'intéresse maintenant à l'Afrique Centrale, et aux différentes sources de pression de conversion des forêts du Bassin du Congo: agriculture familiale, développement de l'agro-industrie et de plantations à large échelle (en particulier de palmier à huile), exploitation minière.

G

GATETE DJERMA Charly

Collège d'études interdisciplinaires (CEI) / Université Paris Sud 11
Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE),
Centre Commun de Recherche Énergie et Habitats Durables (CCREHD),
Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburants (LBEB),
Fondation 2iE, Rue de la Science 01 BP 594, Ouagadougou 01, Burkina Faso.

Contact : cdjerma@gmail.com

Charly Gatete Djerma est doctorant en économie de l'Université Paris Sud 11 (France) et de l'Institut International d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) au Burkina Faso. Ses thématiques de recherche concernent l'analyse des jeux d'acteurs dans l'émergence des filières agrocarburants, dans la construction des cadres institutionnels et politiques et dans la structuration des formes de filières en Afrique de l'Ouest. Sa thèse cherche à expliquer comment la perception des différents acteurs sur leurs intérêts et positions ont guidé leurs actions et les modes de coordination qui ont conduit au développement de plusieurs formes de filière au Burkina Faso.

GAZULL Laurent

Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD),
Département Environnements et Sociétés, UR Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux,
TA C-105/D
Campus International de Baillarguet
34398 Montpellier Cedex 5 – France

Contact: laurent.gazull@cirad.fr

Laurent Gazull est agronome, docteur en géographie et chercheur au CIRAD dans l'unité propre de recherche «Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux». Il est spécialisé dans l'analyse des filières bioénergies et l'estimation des potentiels de production de biomasses dédiées à l'énergie dans les pays tropicaux.

GIRAUDY François

Eco-Carbone
15 avenue de Ségur
75008 Paris, France

Contact : f.giraudy@eco-carbone.com

52 ans, ingénieur agronome. Il a passé la plus grande partie de sa carrière en Afrique, d'abord dans la recherche forestière, puis oléagineux. Ensuite, il a passé 9 ans sur le terrain dans les filières coton de Guinée et du Mali étant notamment en charge du suivi-évaluation. Puis durant une dizaine d'années à Paris chez CFDT/Dagris il était en charge du suivi des filiales du groupe, du suivi-évaluation, du commerce équitable et des relations avec les organisations de producteurs. Depuis 2008 il est en charge des projets africains d'Éco-Carbone et notamment directeur général de Jatropha Mali Initiative au Mali et de Fasol (tournesol) au Burkina Faso.

H

HAVARD Michel

CIRAD, UMR Innovation,
73, rue Jean-François Breton, 34398 Montpellier

Contact : michel.havard@cirad.fr

Michel Havard est chercheur à l'UMR Innovation au CIRAD et ingénieur agronome de formation spécialisé en machinisme agricole et sciences économiques connexes. Depuis plus de trente ans, il mène des recherches, réalise des expertises et assure des formations en Afrique de l'Ouest et Centrale sur la traction animale, la motorisation de la production agricole, la transformation des céréales, et le conseil aux exploitations agricoles.

J

JAMET Jean-Paul

Contact : jean-paul.jamet@cnpa.asso.fr

1965-1968 : Ingénieur Agronome de l'Institut National Agronomique de Paris

1968-1981 : Chargé d'Etudes, puis Directeur Adjoint de l'Institut de Formation des Cadres Paysans (IFOCAP).

1977-1984 : Chargé de Mission au Commissariat Général du Plan.

1985-1994 : Directeur Adjoint, puis Directeur de l'Organisation Nationale Interprofessionnelle des Oléagineux (ONIDOL)

1993-1994 : Chargé de Mission à la Délégation à la Prospective (DADP) de l'INRA

1995-2006 : Directeur Général du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL).

Depuis 2007, Secrétaire Général du Centre National pour la Promotion des Produits Agricoles et Alimentaires (CNPA).

Jean-Paul Jamet est membre de l'Académie d'Agriculture de France.

JANSSEN Rainer

WIP – Renewable Energies
Sylvensteinstr. 2, D - 81369 Munich, Germany

Contact: rainer.janssen@wip-munich.de

Dr. Rainer Janssen, Head of Unit, is Senior Expert in the biomass field. Since more than 10 years he is involved in the production, distribution and market penetration of liquid, gaseous, and solid biofuels with special emphasis on sustainable value chains and the development of supportive framework conditions and policy regulations in the EU and emerging economies. He has coordinated a variety of international and European bioenergy projects has been invited expert for the European Commission (DG RTD, DG ENER), IEA (International Energy Agency) Bioenergy, and GIZ. Since 2009, he is a member of working group 4 on "Policy and Sustainability" of the EBTP and leader of working group 4 on "Market & Policies Development" within the Biomass Panel of the RHC TP. Finally, since 2012 he is Vice-President of EUREC Agency, the European Renewable Energy Research Centres Agency.

M

MIARO III Ludovic

Fonds Mondial pour la Nature (WWF), Bureau Régional Programme Afrique Centrale (CARPO)BP 6776
Yaoundé, Cameroun

Contact : lmiaro@wwfcarpo.org

Ludovic Miaro with an Engineer degree in Rural Development and Environment has worked over 10 years in the field of environment and social safeguard specifically in central Africa Region.

Before joining WWF in 2012 as the 1st Regional Palm Oil Programme Coordinator for WWF regional office in Central Africa, M. MIARO has worked:

- 5 years (2007-2012) with Central Africa State Development Bank (Banque de Developpement des Etats de l'Afrique Centrale) in Brazzaville (Republic of Congo) and he was the 1st environmental engineer in charge of Environment Unit of this regional financing Institution.
- 7 years (2001-2007) in gas/oil field in Chad as Environment and Community relations Supervisor for Exxon Mobil, EnCana and china National Petroleum Corporation (CNPC).
- 3 years (1997-2000) working with Medecins Sans Frontrieres Belgique (humanitarian NGO) as WASH officer (Water Analysis, Sanitary and Health).

M. Miaro has relevant experience with humanitarian, private sector, regional institution and international NGO over Central Africa and has relevant experience to face challenges such as conciliation between economic growth and conservation of biodiversity hotspots.

N

NITIEMA née YEFANOVA Svitlana

Université de Ouagadougou, Laboratoire de Chimie Analytique Environnementale et Bioorganique
03 BP 7021 Ouagadougou 03 Burkina Faso

E-mail. : snitiema@gmail.com et bonziy@univ-ouaga.bf

Svitlana Yefanova Nitiema est née en Russie en 1976. Elle est mariée et mère de trois enfants. Elle est enseignante à temps plein à l'Institut des Sciences (Ouagadougou) et titulaire d'un master en chimie organique (Université de Dniepropetrovsk, Ukraine), d'un DEA en chimie organique à l'Université de Ouagadougou et présentement doctorante en Chimie Organique à l'Université de Ouagadougou. Ses domaines de recherche sont les bioénergies et l'optimisation des procédés de production du biodiesel.

R

RANDRIANTSEHENO Tsilavina

CIRAD,
Département Environnements et Sociétés,
UR Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux, TA C-105/D
Campus International de Baillarguet
34398 Montpellier Cedex 5 – France

Contact: tsilavina.randriantseheno@cirad.fr

Tsilavina Randriantseheno est doctorante en Sciences Economiques à l'Ecole Doctorale d'Economie et Gestion de Montpellier. Elle réalise ses travaux de recherche au sein du CIRAD (Centre de Coopération International en Recherche Agronomique pour le Développement) dans le cadre de sa thèse intitulée « le rôle de l'électricité dans l'amélioration du bien-être des populations rurales à Madagascar ». Elle est diplômée de l'Institut Catholique de Paris en Master Sciences Sociales et Economiques avec une spécialisation en économie solidaire et logique de marché ; et de l'Université d'Evry Val d'Essonne Paris en Master Sciences Humaines et Sociales, filière coopérations et solidarités internationales.

RIVIER Michel

CIRAD, UMR QualiSud, TA B-95/15
73 rue JF Breton, 34398 Montpellier cedex 5, France

Contacts : michel.rivier@cirad.fr ; jean-michel.meot@cirad.fr

Michel Rivier est ingénieur en génie mécanique, en poste au Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement à Montpellier. Affecté à l'Unité de Recherche Qualisud, il s'est spécialisé en recherche et développement de procédés et de technologies de transformation agroalimentaire pour la valorisation des productions agricoles dans les pays du Sud.

Au cours de nombreuses interventions en Afrique subsaharienne, il a acquis une grande expérience du secteur de la transformation agroalimentaire, consolidée par une expatriation de 5 années au Burkina Faso où il est intervenu en appui sur les filières de transformation de la mangue, des céréales, du karité, du poisson.

Michel Rivier prépare aujourd'hui un doctorat en Sciences des Procédés sur l'optimisation multi-objectifs d'un procédé de transfert thermique et de séchage avec utilisation de bioénergies.

ROMIJN Henry A.

School of Innovation Sciences, Eindhoven University of Technology
IPO Building, P.O. Box 513, 5600MB EINDHOVEN, The Netherlands

Contact: h.a.romijn@tue.nl

Henry A. Romijn is an Associate Professor of Technology & Development Studies at the School of Innovation Sciences of Eindhoven University of Technology, Netherlands. Her research and teaching focuses on sustainable pro-poor innovation in the global South, especially in Sub Saharan Africa. Before joining the university, she worked for the International Labour Organisation on small enterprise development projects in East Africa and South Asia. She is currently coordinating a research programme that draws lessons from the recent adverse experiences with jatropha biofuel in Tanzania and India. The research aims to identify scope for better biofuel policies and financially viable biofuel business models that are also socially and environmentally responsible. Details can be found on: http://w3.ieis.tue.nl/en/groups/tis/tis_education/ctdg/tdg_research/biofuel_research/

S

SAWADOGO Rimnogo Narcisse

Directeur Général de l'Energie
Ministère des Mines et de l'Energie
01 BP 4461 Ouagadougou 01

Contact : sawadogo_nar@yahoo.fr

Mr Rimnogo Narcisse Sawadogo est le Directeur Général de l'Energie au Ministère des Mines et de l'Energie du Burkina Faso. Ingénieur électricien-mécanicien de formation, il a commencé sa carrière professionnelle au sein de la Société Nationale d'Electricité du Burkina (SONABEL) en 1988 où il a occupé successivement les postes de Chef du Département Distribution de la Région Ouest du Burkina Faso de 1989 à 2000, puis ingénieur d'études de 2000 à 2001 au siège, Chef du Service Etudes et Travaux et Directeur des Etudes, de la Planification et de l'Equipement de 2001 à 2011.

Depuis 2012, Mr Rimnogo Narcisse SAWADOGO a rejoint le Ministère des Mines et de l'Energie où il occupe le poste de Directeur Général de l'Energie et, à ce titre, il est chargé de la conception des plans et politiques énergétiques du pays ainsi que du suivi de leur mise œuvre.

Mr Rimnogo Narcisse SAWADOGO a contribué à l'élaboration du livre Blanc de la CEDEAO dans le domaine de l'énergie, du Livre Blanc National, du Schéma Directeur du réseau de transport du West African Power Pool (WAPP), de l'Etude Prospective Burkina 2025 dans le secteur de l'Energie. En outre, il a participé à plusieurs séminaires, ateliers et débats internationaux sur la problématique de l'accès à l'énergie en Afrique, du développement des énergies renouvelables en Afrique et la protection de l'environnement.

T

TRAORE S. Alfred

Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN). Laboratoire de Microbiologie et de Biotechnologie ; Université de Ouagadougou.
03 BP 7131 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Contact : astraore@yahoo.fr - astraore@univ-ouaga.bf

Docteur d'Etat en Biochimie/Microbiologie, Biotechnologie microbienne et cellulaire.

Fonctions :

- Ancien Recteur de l'université de Ouagadougou
- Ancien Chancelier-Président de l'Université de Ouagadougou
- Directeur du Centre de Recherche en Sciences Biologiques, Alimentaires et Nutritionnelles (CRSBAN)
- Président du Réseau Ouest africain des Biotechnologies
- Directeur de l'Ecole Doctorale Régionale des Biotechnologies
- Coordonnateur du Pôle Régional d'Excellence de Biotechnologie de Ouagadougou (PREBO)
- Ancien membre du Conseil scientifique de l'Agence universitaire de la Francophonie (AUF)
- Membre fondateur et ancien Président de la Conférence des Recteurs des Universités Francophones d'Afrique et d'Océan Indien (CRUFAOCI)

Depuis 2007, 2iE, le CIRAD et le Ministère des Mines et de l'Énergie du Burkina Faso organisent tous les deux ans les «Conférences Internationales sur les Biocarburants de Ouagadougou» pour accompagner le développement des biocarburants en Afrique. L'objectif de ces conférences est de fournir aux gouvernements et aux décideurs des pays de la sous-région une évaluation objective du potentiel des biocarburants en Afrique de l'Ouest. Ces conférences sont un moment privilégié pour faire le point sur les connaissances et les avancées dans ce domaine. Ce sont à chaque fois plus de 300 personnalités, experts, décideurs, entreprises et représentants d'ONG, issus de tous les continents qui sont réunis à Ouagadougou.

Du 21 au 23 novembre 2013 a été organisé la 4ème édition de la conférence biocarburants/bioénergies dont les objectifs étaient de :

- Mettre en exergue les retours d'expérience sur les filières en construction pour repérer les contacts et les modes d'organisation qui paraissent les plus prometteuses
- Mettre en évidence les modes de valorisation qui permettent une rentabilité de la production
- Discuter des apports des bioénergies pour la production agricole et des politiques publiques à mettre en place pour favoriser le développement des bioénergies

Le présent document regroupe les articles présentant les travaux qui ont servi de base pour les échanges entre les participants lors de cette 4ème édition des Conférences Internationales sur les Biocarburants de Ouagadougou.

2iE, along with the CIRAD (Centre for International Cooperation in Agronomic Research for Development) and Burkina Faso's Ministry for Mines and Energie organize every other year the International Conference on Biofuels in Ouagadougou to support the development of biofuels in Africa. The Conferences aim to provide regional governments and policy-makers with an objective assessment for the potentials of biofuels in West Africa. These conferences represent a relevant framework to consider research findings and prospects in this field. Every year, over 300 participants, experts, policy makers, business and NGO representatives, from all over the world, attend the event in Ouagadougou.

The 4th edition of the Conference on Biofuels/Bioenergy was held on November 21-23, 2013 and the objectives were to:

- Highlight feedbacks on prospective fields in order to identify contacts and promising organizational methods
- Emphasize the valorization methods with cost-effective production
- Discuss the contribution of bioenergy for agricultural production and governmental policies to implement in order to promote bioenergy development

This document includes articles on the conference sessions which gather the key arguments that were presented by participants to the fourth edition of the International Conference on Biofuels in Ouagadougou

