

UNION ECONOMIQUE ET MONETAIRE
OUEST AFRICAINE

La Commission

DEPARTEMENT DE L'ENERGIE, DES MINES, DE L'INDUSTRIE,
DE L'ARTISANAT ET DU TOURISME



PROJET N° 004 /2005/CR/COM/UEMOA

***ETUDE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA FILIERE
"ETHANOL / GEL FUEL" COMME ENERGIE DE CUISSON
DANS L'ESPACE "UEMOA"***

RAPPORT PROVISOIRE



BTG Biomass Technology Group B.V.
Colosseum 11, 7522 PV Enschede
BP 217, 7500 AE Enschede, Pays-Bas
Tél : + 31 53 486 1186
Fax : + 31 53 486 1180
Frederiks@btgworld.com

EPM Consulting
Durgerdamstraat 19 – 1507 JL Zaandam
The Netherlands
Tel : + 31 75 631 55 61
Fax : + 31 75 631 54 61
ddiop@antenna.nl – www.epmconsult.com



Septembre 2006

Etude sur le développement de la filière Ethanol / Gel fuel comme Energie de cuisson dans l'espace « UEMOA »

Colophon

Auteurs:

ir. Piet VISSER, ir. Bart FREDERIKS

Demba DIOP

BTG biomass technology group BV

P.O.Box 217

7500 AE Enschede

The Netherlands

Tel. +31-53-4861186

Fax +31-53-4861180

www.btgworld.com

office@btgworld.com

EPM Consulting

Durgerdamstraat 19

1507 JL Zaandam

The Netherlands

Tel. +31-75-6315561

Fax +31-75-6315461

www.epmconsult.com

ddiop@antenna.nl

Avec des contributions de:

Mr. Raouf BADAROU (Bénin)

Mr. François De Sales SOME (Burkina Faso)

Mr. Pacôme N'CHO (Côte d'Ivoire)

Mr. Fernando José BENICIO (Guinée Bissau)

Mr. Cheikh Ahmed SANOGO (Mali)

Mr. Issouffou ADAM MELLY (Niger)

Mr. Lamine NDIAYE (Sénégal)

Mr. Tcharabalo ABIYOU (Togo)



Remerciements

L'équipe BTG et EPM Consulting remercie chaleureusement la Commission de l'UEMOA et plus particulièrement l'Unité de coordination du Programme Régionale de Biomasse Energie (PBRE) pour le soutien et le monitoring tout au long de ce projet. En effet, l'équipe du PBRE a accompagné la mission du Consultant durant toutes les étapes, facilitant l'accès à certains documents, le contact avec les autorités locales et surtout les échanges fructueux pour déterminer les choix stratégiques et méthodologiques dans chacun des pays concernés par cette étude.

Nous remercions également l'équipe d'experts locaux sur les quels nous nous sommes reposés en ce qui concerne la collecte des informations dans les pays respectifs. Ces experts ont également eu la disponibilité de nous accompagner physiquement dans les missions dans chaque pays visité.

Résumé

Dans le contexte de la lutte contre la déforestation, la réduction de la dépendance énergétique et des émissions de gaz à effet de serre, la Commission de l'UEMOA a l'intention de stimuler le développement des secteurs des combustibles domestiques à base d'éthanol (gel fuel et/ou éthanol) et des biocarburants (éthanol et biodiesel) dans son espace. La première phase du projet est la réalisation d'une étude régionale des filières éthanol et biocarburant.

Les objectifs de la présente étude sont de déterminer et de quantifier les opportunités du marché, la mise sur pied d'un système d'approvisionnement, la faisabilité technologique, économique et financière d'unités de production de l'Ethanol/Gel Fuel dans l'espace UEMOA. Dans les pays disposant de faibles potentiels pour la production d'éthanol (canne à sucre, anacardier et manioc) soit par une pluviométrie insuffisante soit par l'absence de plantations consistantes, les possibilités de produire le biodiesel à partir de la pourghère ont été évaluées.

Le marché

Dans chaque pays, une étude du marché des énergies domestiques a été réalisée avec le but de pouvoir positionner les combustibles à base d'éthanol. Le tableau X-1 donne un aperçu des prix sur le marché.

Tableau X-1 Prix des combustibles et carburants dans les pays membres de l'UEMOA

Pays	Bois (FCFA/kg)	Charbon (FCFA/kg)	Kérosène (FCFA/l)	Butane (FCFA/kg)	Essence (FCFA/l)	Gasoiil (FCFA/l)
Bénin	22	72	400	385	450	440
Burkina Faso	65	100	286	415	604	536
Côte d'Ivoire	N/A	141	250	470	615	545
Guinée Bissau	40	100	533	430	736	478
Mali	24	150	320	500	615	510
Niger	35	100	542	254	593	555
Sénégal	N/A	150	276	439	648	555
Togo	25	74	280	375	525	515

Sources: Données collectées au niveau des experts locaux et vérifiées lors des visites de terrain, rempli avec des données de www.izf.net

Le potentiel en matières premières valorisables

Le potentiel pour la production d'éthanol (prioritairement) et de biodiesel, a été évalué en termes de disponibilité des matières premières valorisables.

D'un point de vue régional, le potentiel de production agricole pour la filière éthanol et biocarburant est très consistant avec les grands ensembles écologiques autour des fleuves Niger, Sénégal et Gambie. Une coopération avec les organisations chargées de la mise en valeur de ces ensembles sous régionales pourra permettre la mise en œuvre de projets. Il s'agit entre autre :

-
- de l'OMVS (qui comprend le Sénégal, le Mali, la Mauritanie et la Guinée Conakry) avec l'aménagement de plus de 600 000 hectares (240 000 hectares sont déjà disponibles pour le Sénégal).
 - de l'OMVG (Sénégal Gambie, Guinée Conakry et Guinée Bissau) : 50 000 hectares pourraient être exploités.
 - Quant à l'Office du Niger au Mali, les estimations de terres irrigables sont de 800 000 hectares.

Les options préliminaires par pays sont les suivantes :

- Le Bénin - La matière première la plus appropriée pour la production d'éthanol/gel fuel est le manioc. Avec une production moyenne de 2,8 millions de tonnes de manioc par an, le Bénin pourrait être en mesure de produire 20 000 m³ d'éthanol en valorisant seulement 5% des récoltes (pas de concurrence avec les besoins alimentaires).
- Le Burkina Faso - La canne à sucre semble être actuellement la matière première la plus abordable pour la production d'éthanol, sur la base de nouvelles cultures de canne. Si les 5 000 ha que possède SOSUCO étaient utilisés à ces fins, on peut raisonnablement estimer la production d'éthanol à 20 000 m³ par an. L'énergie nécessaire pour la conversion du jus de canne en éthanol pourrait provenir de la bagasse résiduelle. Comme potentialité dans ce pays, on peut citer également le sorgho sucrier si l'aménagement prévu dans la Vallée du Sourou devient une réalité. Au niveau des biocarburants, la SN CITEC (groupe Dagrif) envisage sur le court terme de monter une usine de production de biocarburant d'une capacité de 10 000 tonnes par an à partir de la graine de coton.
- La Côte d'Ivoire - Le pays possède un grand potentiel pour produire de l'éthanol avec la disponibilité de la mélasse à faible coût pouvant permettant une production rentable d'éthanol, de gel fuel et/ou de biocarburant. Le potentiel de production d'éthanol à partir des usines de sucre existantes est de 19 000 m³/a. Les coûts de production sont respectivement estimés à 121, 165 et 122 FCFA/l pour l'éthanol, le gel fuel et le biocarburant.
- La Guinée Bissau - la pomme d'anacardier semble actuellement être la matière première la plus susceptible d'être utilisée pour la production d'éthanol. La production annuelle est estimée à 400-600 mille tonnes, dont seulement 30% est transformée en jus pour la production de vin et d'eau-de-vie. Si les 70% restantes pouvaient être employées à la production d'éthanol, le potentiel de production d'éthanol serait environ de 8 400-12 600 m³/a.
- Le Mali - Le vrai potentiel de production résidera principalement dans la nouvelle sucrière de Markala. La capacité de production prévue de 170 000 tonnes de sucre permettra de disposer de 61 000 tonnes de mélasse, pouvant être transformée en 18 000 m³ d'éthanol par an.
- Le Niger - Le potentiel pour la production de l'éthanol est très faible au Niger par l'absence de production de canne à sucre et une pluviométrie faible. Cependant, il y a un intérêt particulier pour la production du biodiesel à partir de la pourghère de la part de quelques industriels locaux. Les estimations initiales des coûts de production indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au gasoil.

- Le Sénégal – Le potentiel pour la production de l'éthanol au Sénégal est considérable. La Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) produit approximativement 35 000 tonnes de mélasse avec un fort contenu en sucre, qu'elle projette de transformer en 2 500 m³ de l'éthanol industriel (96%) et de 10 000 tonnes (12 500 m³) d'éthanol anhydre comme biocarburant. En ce concerne le biocarburant, plusieurs promoteurs de projets ont été identifiés.
- Le Togo - En dépit de la présence d'une petite industrie de sucre, le potentiel immédiat pour la production d'éthanol est faible à moins de développer des nouvelles plantations de canne à sucre. Cependant, comme au Niger, le secteur privé présente un intérêt particulier pour la production de biodiesel à partir de la pourghère. Les estimations préliminaires des coûts de production indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au gasoil (prix inférieur de 5%). Un point d'attention demeure néanmoins la disponibilité de la graine de pourghère à un niveau concurrentiel.

Faisabilité de la production d'éthanol

Concernant la faisabilité de la production d'éthanol comme combustible domestique, le Tableau X-2 indique les niveaux des prix estimés par MJ.

Tableau X-2 Prix par MJ de l'éthanol et des combustibles domestiques

Pays	Matière première	Ethanol	Prix butane réel		Prix butane non subv.	
		(FCFA/MJ)	(FCFA/MJ)	(%) ^a	(FCFA/MJ)	(%) ^a
Bénin	Manioc	17,8	8,7	103%	13,0	37%
Burkina Faso	Canne à sucre	17,7	6,3	183%	12,7	39%
Côte d'Ivoire	Mélasse	9,1	5,5	67%	13,0	-30%
Guinée Bissau	Pomme d'anacardier	25,2	11,7	117%	11,7	117%
Mali	Mélasse	14,4	7,0	106%	12,0	20%
Sénégal	Mélasse	11,7	6,0	94%	12,6	-7%

Les chiffres démontrent que dans les conditions actuelles du marché, les combustibles domestiques à base d'éthanol ne peuvent pas concurrencer le butane. Les niveaux des prix du bois et du charbon de bois, par unité d'énergie, sont nettement inférieurs à ceux du gaz de butane, et ne sont pas inclus dans la comparaison. Les estimations de coûts de production du gel fuel sont généralement de 20 à 30% plus élevés que ceux de l'éthanol, et ne sont pas inclus dans la comparaison.

Cependant, au Sénégal et en Côte d'Ivoire, l'éthanol pourrait concurrencer le gaz butane quand (i) les subventions sur le butane auront été abandonnées ou (ii) des subventions égales auront été introduites sur l'éthanol. Par ailleurs, dans tous pays étudiés, la production de l'éthanol anhydre (voir le Tableau X-3 ci-dessous) serait plus profitable. En fait, suivant les résultats des analyses financières de cette étude, la valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 36-70% en dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant ; un alignement au niveau des prix non-subsventionnés donnerait 4-47%. Le Tableau X-3 indique les coûts de production des biocarburants (l'éthanol anhydre et le biodiesel).

Tableau X-3 Prix par MJ de l'éthanol anhydre, du biodiesel et des carburants fossiles

Pays	Matière première	Produit	Prix (FCFA/MJ)	Prix essence (FCFA/MJ)	(%) ^a
Bénin	Manioc	Ethanol anhydre	15,0	13,6	11%
Burkina Faso	Canne à sucre	Ethanol anhydre	15,1	18,2	-17%
Côte d'Ivoire	Mélasses	Ethanol anhydre	9,3	18,6	-50%
Guinée Bissau	Pomme d'anacardier	Ethanol anhydre	22,6	22,2	2%
Mali	Mélasses	Ethanol anhydre	12,2	18,6	-34%
Niger	Pourghère	Biodiesel		15,2 ^b	-11%
Sénégal	Mélasses	Ethanol anhydre	10,2	19,5	-48%
Togo	Pourghère	Biodiesel		14,1 ^b	-5%

A l'exception du Bénin et de la Guinée Bissau la production locale de l'éthanol anhydre pourrait concurrencer l'essence. Le Bénin souffre surtout du commerce illicite des hydrocarbures en provenance du Nigeria alors que l'étroitesse du marché ne permet pas des économies d'échelle en Guinée Bissau. Les coûts des facteurs de production sont également assez élevés en Guinée Bissau (coût de la collecte et de la transformation primaire de la pomme d'anacardier) et porte préjudice à l'industrie en général.

En revanche la production d'éthanol anhydre comme énergie de substitution par rapport aux carburants importés devrait être spécialement stimulée pour la Côte d'Ivoire (-50%), le Sénégal (-48%), le Mali (-34%), le Burkina Faso (-17%). Ces pays disposent d'importantes ressources et pourraient économiser sur les importations d'hydrocarbures en valorisant les ressources locales.

Concernant la production de biodiesel au Niger et au Togo, les calculs préliminaires indiquent que ce combustible peut être concurrentiel avec le gasoil. Les coûts de production de biodiesel sont 5 à 11% moins chers que ceux du gasoil avec une forte sensibilité par rapport au prix des graines de pourghère.

En somme, les combustibles domestiques à base d'éthanol ne pourront devenir concurrentiels par rapport au gaz que si une véritable politique d'accompagnement et d'incitation est mise en place dans chacun des pays étudiés. Dans toutes les hypothèses, les autres formes d'utilisations d'éthanol telles que pour le biocarburant seront beaucoup plus profitables. Le Tableau X-4 donne un résumé des opportunités qui pourraient être reprises dans un programme d'urgence sur le court terme pour lancer les filières bioénergie.

Tableau X-4 Projets potentiels dans les pays UEMOA

Pays	Type projet/potentiel	Echelle des unités	Investissement	Remarques
Bénin	20 000 m ³ /an éthanol à base de manioc	1 000 - 10 000 m ³ /an	FCFA 337 mio (pt taille) FCFA 2,6 mld (gnd taille)	biocarburant (11% plus chère qu'essence)
Burkina Faso	20 000 m ³ /an éthanol à base de canne à sucre	20 000 m ³ /an	FCFA 5,3 mld	biocarburant (17% moins chère qu'essence)
Côte d'Ivoire	19 000 m ³ /an d'éthanol à base de mélasse	10 000, 5 000 et 4 000 m ³ /an	FCFA 2,1 mld FCFA 1,2 mld FCFA 966 mio	Biocarburant (50% moins chère qu'essence)
Guinée Bissau	~10 000 m ³ /an d'éthanol à base de pomme d'anacardier	1 000 m ³ /an	FCFA 652 mio	biocarburant (2% plus chère qu'essence)
Mali	18 000 m ³ /an d'éthanol à base de mélasse	18 000 m ³ /an	FCFA 4,8 mld	biocarburant (34% moins chère qu'essence)
Niger	Biodiesel à base de pourghère	10 000 m ³ /an	FCFA 500 mio (usine) FCFA 3,5 mld (plantation)	Biodiesel est 11% moins chère que gasoil
Sénégal	15 000 m ³ /an d'éthanol à base de mélasse	15 000 m ³ /an	FCFA 3,2 mld	Biocarburant (48% moins chère qu'essence)
Togo	Biodiesel à base de pourghère	10 000 m ³ /an	FCFA 500 mio (usine) FCFA 3,5 mld (plantation)	Biodiesel est 5% moins chère que gasoil
Total Général	Ethanol (93 000 m³/an) et biodiesel (20 000 m³/an par pays)	Ethanol : 1 000 - 20 000 m³/an ; Biodiesel : 10 000 m³/a	Ethanol : FCFA 23,2 mld (EUR 35,4 mio) Biodiesel : FCFA 8,0 mld (EUR 12,2 mio)	Substitution de 57 100 m³ d'essence et 19 000 m³ de gasoil. Forex épargné FCFA 20,6 mld (EUR 31,4 mio)

Recommandations

La recommandation principale est de poursuivre le développement d'une filière biocarburant dans la région de l'UEMOA. Le potentiel pour produire l'éthanol anhydre et/ou le biodiesel à partir de matières premières locales est existant et prometteur dans tous les pays membres. Cependant, une volonté de reformer le secteur des hydrocarbures et de prendre des mesures incitatives pour permettre les investissements seront nécessaires.

Les recommandations spécifiques pour les étapes à suivre sont :

1. Organisation d'un atelier de validation pour regrouper tous les porteurs projets identifiés ; ce qui aura l'effet de sensibiliser d'avantage les autorités publiques et les institutions financières sur le besoin de mettre des moyens financiers et institutionnels conséquents sur le secteur.
2. Adoption de directives communautaires pour développer le marché. L'adoption des directives pour la promotion de la filière bioénergie inciterait les pays membres à prendre les dispositifs réglementaires et fiscaux appropriés pour promouvoir la production et la consommation locale.
3. Mise en oeuvre d'un programme de soutien pour développer la connaissance, pour assister le secteur privé à pouvoir mener des études de faisabilité techniques et financières pour boucler des dossiers d'investissement, de faciliter les transferts de technologies et de développer la recherche au niveau des institutions spécialisées locales, en somme assurer la veille technologique.
4. Mise en place de véritables politiques d'agro énergie visant le long terme afin de viabiliser les énormes atouts en terme de terres disponibles pour la production d'une grande variété d'espèces pour fabriquer de l'éthanol et du biodiesel. Cette politique devra également régler la question foncière afin de faciliter l'investissement privé. La Banque Mondiale, l'Union Européenne et le Gouvernement du Brésil pourraient être mis en contribution.
5. Création d'un fonds de promotion de la filière bioénergie, destiné à stimuler un climat propice aux investissements dans le secteur, et à financer directement le secteur privé dans la création d'unités de production. L'UEMOA pourrait s'associer avec les institutions financières sous régionales telle que la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) et le Fonds Africain de Garantie et de Coopération Économique (FAGACE).
6. Prévoir des activités d'accompagnement et suivi de la mise en œuvres de projets portés par le secteur privé et public visant la création d'un climat favorable au développement du marché. A cet effet, le PRBE pourrait être institutionnalisé en une agence sous régionale chargée de coordonner et stimuler le développement des filières bioénergie dans la région ouest africaine.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	1
1.1	CONTEXTE	1
1.2	OBJECTIFS	2
1.3	MÉTHODOLOGIE	3
1.3.1	<i>Phase de collection des données</i>	3
1.3.2	<i>Analyse des données</i>	3
2	L'ETHANOL, LE GEL FUEL, LES BIOCARBURANTS	6
2.1	PROPRIÉTÉS DE L'ÉTHANOL ET DU GEL FUEL	6
2.1.1	<i>L'éthanol</i>	6
2.1.2	<i>Le gel fuel</i>	7
2.1.3	<i>Comparaison avec d'autres combustibles</i>	8
2.2	PRODUCTION D'ÉTHANOL ET DE GEL FUEL	8
2.2.1	<i>Description générale du processus</i>	8
2.2.2	<i>Technologies de production</i>	9
2.2.3	<i>Matières premières possibles</i>	10
2.2.4	<i>Autres inputs</i>	13
2.2.5	<i>Incidences sur l'environnement</i>	14
2.3	UTILISATION	15
2.3.1	<i>Réchauds</i>	15
2.3.2	<i>Moteurs de combustion</i>	17
2.3.3	<i>Emballage, stockage et distribution</i>	17
2.4	PRODUCTION DE BIODIESEL	18
3	EVALUATION PAYS : LE BENIN	20
3.1	INTRODUCTION	20
3.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	21
3.2.1	<i>Analyse de l'offre et de la demande</i>	21
3.2.2	<i>Les prix des énergies domestiques</i>	24
3.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	24
3.3	PRODUCTION POTENTIELLE	25
3.3.1	<i>Industrie sucrière - SUCOBE</i>	25
3.3.2	<i>Manioc</i>	26
3.3.3	<i>Pomme d'anacardier</i>	28
3.3.4	<i>Autres matières premières</i>	29
3.4	EVALUATION FINANCIÈRE	29
3.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	29
3.4.2	<i>Coûts de production</i>	30
3.4.3	<i>Analyse financière</i>	31
3.5	CONCLUSIONS	35

4	EVALUATION PAYS : LE BURKINA FASO	36
4.1	INTRODUCTION	36
4.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	37
4.2.1	<i>Analyse de l'offre et de la demande</i>	37
4.2.2	<i>Le prix des énergies domestiques</i>	40
4.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	40
4.3	PRODUCTION POTENTIELLE	41
4.3.1	<i>Industrie sucrière - SOSUCO / SOPAL</i>	41
4.3.2	<i>Autres matières premières</i>	44
4.4	EVALUATION FINANCIÈRE	44
4.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	44
4.4.2	<i>Coûts de production</i>	45
4.4.3	<i>Analyse financière</i>	46
4.5	CONCLUSIONS	50
5	EVALUATION PAYS : LA COTE D'IVOIRE	51
5.1	INTRODUCTION	51
5.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	52
5.2.1	<i>Analyse de l'offre et de la demande</i>	52
5.2.2	<i>Les prix des énergies domestiques</i>	55
5.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	55
5.3	PRODUCTION POTENTIELLE	56
5.3.1	<i>Industrie sucrière</i>	56
5.3.2	<i>Pommes d'anacardier</i>	58
5.3.3	<i>Autres matières premières</i>	59
5.4	EVALUATIONS FINANCIÈRES	59
5.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	59
5.4.2	<i>Coûts de production</i>	60
5.4.3	<i>Analyse financière</i>	62
5.5	CONCLUSIONS	65
6	EVALUATION PAYS : LA GUINEE BISSAU	67
6.1	INTRODUCTION	67
6.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	68
6.2.1	<i>Analyse de l'offre et de la demande</i>	68
6.2.2	<i>Les prix des énergies domestiques</i>	69
6.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	70
6.3	PRODUCTION POTENTIELLE	71
6.3.1	<i>Pomme d'anacardier</i>	71
6.3.2	<i>Autres matières premières</i>	73
6.4	EVALUATION FINANCIÈRE	74
6.4.1	<i>Coûts des investissement</i>	74
6.4.2	<i>Coûts de production</i>	74
6.4.3	<i>Analyse financière</i>	75
6.5	CONCLUSIONS	79

7	EVALUATION PAYS : LE MALI	80
7.1	INTRODUCTION	80
7.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	81
7.2.1	<i>L'analyse de la demande et l'offre</i>	82
7.2.2	<i>Les prix des énergies domestiques</i>	83
7.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	84
7.3	PRODUCTION POTENTIELLE	84
7.3.1	<i>Industrie sucrière - SUKALA / MARKALA</i>	84
7.3.2	<i>Autres matières premières</i>	87
7.4	EVALUATION FINANCIÈRE	87
7.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	87
7.4.2	<i>Coûts de production</i>	87
7.4.3	<i>Analyse financière</i>	89
7.5	CONCLUSIONS	92
8	EVALUATION PAYS : LE NIGER	93
8.1	INTRODUCTION	93
8.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	95
8.2.1	<i>L'analyse de la demande et de l'offre</i>	95
8.2.2	<i>Les prix des combustibles domestiques</i>	96
8.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	97
8.3	PRODUCTION POTENTIELLE	98
8.3.1	<i>Production de biodiesel</i>	98
8.4	EVALUATION FINANCIÈRE	99
8.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	99
8.4.2	<i>Coûts de production</i>	100
8.4.3	<i>Analyse financière</i>	101
8.5	CONCLUSIONS	102
9	EVALUATION PAYS : LE SENEGAL	103
9.1	INTRODUCTION	103
9.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	105
9.2.1	<i>Analyse de l'offre et de la demande</i>	105
9.2.2	<i>Le prix des énergies domestiques</i>	105
9.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	106
9.3	PRODUCTION POTENTIELLE	107
9.3.1	<i>Industrie sucrière - CSS</i>	107
9.3.2	<i>Pomme d'anacardier</i>	109
9.3.3	<i>Autres matières premières</i>	109
9.4	EVALUATION FINANCIÈRE	110
9.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	110
9.4.2	<i>Coûts de production</i>	110
9.4.3	<i>Analyse financière</i>	111
9.5	CONCLUSIONS	115

10	EVALUATION PAYS : LE TOGO	116
10.1	INTRODUCTION	116
10.2	LE MARCHÉ DES ÉNERGIES DOMESTIQUES	118
10.2.1	<i>L'analyse de l'offre et de la demande</i>	118
10.2.2	<i>Les prix des énergies domestiques</i>	119
10.2.3	<i>Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique</i>	119
10.3	PRODUCTION POTENTIELLE	120
10.3.1	<i>Production d'éthanol/gel fuel</i>	120
10.3.2	<i>Production de biodiesel</i>	121
10.4	EVALUATION FINANCIÈRE	122
10.4.1	<i>Coûts des investissements</i>	122
10.4.2	<i>Coûts de production</i>	122
10.4.3	<i>Analyse financière</i>	123
10.5	CONCLUSIONS	125
11	STRATEGIE DE MISE EN OEUVRE DES PROJETS	126
11.1	CONCEPTS DE PROJET POTENTIELS	126
11.2	ACTEURS	127
11.2.1	<i>Acteurs privés</i>	127
11.2.2	<i>Acteurs institutionnels</i>	129
11.2.3	<i>Autres acteurs</i>	130
11.3	STRATÉGIE DE MISE EN OEUVRE	131
11.3.1	<i>Les barrières identifiées</i>	131
11.3.2	<i>Implémentation</i>	132
12	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	133
12.1	CONCLUSIONS	133
12.1.1	<i>Marché de l'énergie</i>	133
12.1.2	<i>Les matières premières disponibles</i>	133
12.1.3	<i>Évaluations financières</i>	135
12.2	RECOMMANDATIONS	137

Abréviations et Unités

kW	kilowatt	MJ	mégajoule = 1 million joule
MW	mégawatt	GJ	gigajoule = 1 milliard joule
kWh	kilowattheur	TEP	Tonnes Equivalent Pétrole
MWh	megawattheur	PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
m ³	mètre cubique = 1000 litres	%pd	pour cent a base de poids
m ²	mètre carré	pa.s	pascal seconde
km	hectare = 10 000 m ²		
ha	kilomètre = 1 000 m		
t	tonne = 1000 kg	moi	million
l	litre	mld	milliard
a	année		
GPL	gaz de pétrole liquéfié	CO ₂	dioxyde de carbone
MEK	cétone méthy-éthylelique		
FCFA	franc CFA	EUR	euro
kFCFA	mille de FCFA	kEUR	mille d'euro
MFCFA	million de FCFA	MEUR	million d'euro
TRI	Taux de Rendement Interne	TTC	Toutes Taxes Compris
TRS	Temps de Retour Simple	HT	Hors Taxe
TVA	Taxe sur la Valeur Ajouté	Forex	Devises étrangères
ETP	Equivalent Temps Plein		
UEMOA	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine		
PRBE	Programme Régionale de Biomasse Energie		
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques		
BOAD	Banque Ouest Africaine de Développement		
FAGACE	Fonds Africain de Garantie et de Coopération Économique		
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal		
OMVG	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Gambie		
ONG	Organisation Non Gouvernementale		
SBEE	Société Béninoise d'Energie Electrique		
CEB	Compagnie Electrique du Bénin		
SONACOP	Société Nationale de Commercialisation des Produits Pétroliers		
SUCOBE	Sucrière de Complant du Bénin SA		
PREDAS	Programme Régional de promotion des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel		
SONABHY	Société Nationale Burkinabé d'Hydrocarbures		
SONABEL	Société Nationale Burkinabé d'Electricité		
SOSUCO	Société Sucrière de la Comoé		

SOPAL	Société de Production d'Alcools
SOGPEPE	Société de Gestion du Patrimoine du Secteur de l'Electricité
SOPIE	Société d'Opération Ivoirienne d'Electricité
ANARE	Autorité de Régulation du Secteur de l'Electricité
BNETD	Bureau Nationale d'Etudes Techniques et de Développement
SIR	Société Ivoirienne de Raffinage
OEI	Société Ocean Energy International
PETROCIE	Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire
SUCAF-CI	Compagnie Sucrière d'Afrique - Côte d'Ivoire
PETROGUI	Pétrole de Guinée
DICOL	Distribuidora de Combustiveis e Lubrificantes
MDRA	Ministère du Développement Rural et de l'Agriculture
EAAGB	Electricidade e Aguas de Guinée-Bissau
DGRA	Direction Générale des Ressources Hydrauliques
DGE	Direction Générale de l'Energie
CREE	Commission de Régulation de l'Electricité et de l'Eau
ONAP	l'Office National des Produits Pétroliers
ONAREM	Office National des Ressources Minières
CTFED	Technique de Coordination des Foyers Améliorés
SNCC	Société Nigérienne de Commercialisation du Charbon Minéral
CNE	Commission Nationale de l'Energie
CNH	Comité National des Hydrocarbures
ASER	Agence Sénégalaise pour l'Electrification Rurale
RENES	Redéploiement Energétique du Sénégal
PROGEDE	Programme de Gestion durable Participative des Energies Traditionnelles et de Substitution
CSS	Compagnie Sucrière Sénégalaise
CEET	Compagnie d'Energie Electrique du Togo
CEB	Communauté Electrique du Bénin
GPP	Groupement Professionnel des Pétroliers
STE	Société Togolaise d'Entreposage
STSL	Société Togolaise de Stockage de Lomé
ODEF	Office pour le Développement de l'Exploitation des Ressources Forestières
DPF	Direction des Productions Forestières

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Dans les pays membres de l'UEMOA, la biomasse représente plus de 80% des besoins en énergie de cuisson ; principalement le bois de chauffage et le charbon de bois. La part de la biomasse dans la consommation d'énergie nationale pour chaque pays est comprise entre 60 et 95%. Cette forte demande accélère la déforestation et l'érosion des sols, particulièrement dans les régions arides et semi-arides.

Un des moyens pour combattre la déforestation est l'introduction et la promotion des combustibles alternatifs. Ainsi des alternatives fossiles ont été promues et supportées par les politiques régionales; par exemple le gaz butane et le kérosène. Parmi les avantages de ces combustibles, on peut mentionner la haute densité énergétique, la facilité d'emploi et l'existence d'une infrastructure d'approvisionnement performante. Parmi les inconvénients, on peut citer le coût élevé (et croissant) de ces combustibles ; ce qui explique la politique de subvention du gaz pour le rendre compétitif avec les combustibles de cuisson traditionnels. En tout cas, ces combustibles doivent être importés importés à l'exception de la Cote D'Ivoire où une production partielle existe ; ce qui accable les balances nationales des paiements et renforce la dépendance énergétique des pays de l'UEMOA. Par ailleurs, l'usage des combustibles fossiles contribue aux problèmes environnementaux, notamment à l'effet de serre.

A coté des combustibles domestiques d'origine fossile, il y a aussi différents types de combustibles à partir de biomasse autre que le bois. Dans plusieurs pays, les industries agricoles produisent des résidus qui peuvent être utilisés pour produire des combustibles domestiques. Des exemples sont le charbon produit à partir de la tige du coton ou de la bagasse, l'éthanol produit à partir des produits contenant des sucres et de l'amidon. Ces combustibles ont plusieurs avantages :

- Ils peuvent être produits à partir de résidus agricoles et de biomasse autre que le bois. Ils ne contribuent pas à la déforestation.
- Ils sont produits localement, supportant l'économie nationale et peuvent partiellement substituer les importations de combustibles et réduire la dépendance énergétique.
- Ils sont d'origine biomasse. Les émissions nettes de gaz à effet de serre associées sont donc nulles.

Dans ce contexte, l'UEMOA a l'intention de stimuler le développement des secteurs du combustible domestique éthanol (gel fuel et/ou éthanol) et des biocarburants (éthanol et biodiesel) dans la région de l'UEMOA. La réalisation de cette étude de faisabilité régionale est la première phase du projet.

1.2

Objectifs

L'objectif de cet étude était de déterminer et à quantifier les opportunités du marché, la mise sur pied d'un système d'approvisionnement, la faisabilité technologique, économique et financière d'unités de production de l'Ethanol/Gel Fuel dans l'espace UEMOA. Les objectifs spécifiques étant :

- Réduction de la pression sur les forêts de la région UEMOA et la réduction des émissions de CO₂ dus à l'usage d'énergie domestique.
- Supprimer les barrières techniques, organisationnelles et financières pour une substitution croissante des combustibles de cuissons traditionnels par des combustibles domestiques à base d'éthanol, en identifiant des lieux potentiels de production, des participants potentiels au projet et des investisseurs, et d'évaluer les besoins futurs d'assistance.
- Améliorer les conditions de vie des ménages par la mise en place d'un combustible domestique propre, sûr et abordable.
- Améliorer la situation économique des pays de l'UEMOA, en réduisant la nécessité de subventionner les combustibles domestiques importés.

Au cours de la collecte des informations initiales par les consultants locaux, il est apparu que dans certains pays, le potentiel pour la production d'éthanol sur le court terme était faible à cause de l'indisponibilité de matières premières appropriées ou de l'absence de secteurs spécifiques. En conséquence, au cours du briefing de la mission, l'UEMOA a demandé spécifiquement à l'équipe de consultants internationaux d'élargir le cadre de la mission en incluant également d'autres biocarburants, comme le biodiesel issu de l'huile de Pourghère.

Les biocarburants ont plusieurs avantages communs aux combustibles domestiques à base d'éthanol. Les biocarburants produits localement réduisent la dépendance aux importations de combustible fossile et améliorent le solde de paiement de la production. Leur production introduit un nouveau secteur complet d'activités qui contribueront au développement économique. Du fait qu'ils soient issus de la biomasse, leur utilisation provoque la réduction d'émissions de gaz à effets de serre provenant du secteur des transports.

A la place de faire un rapport sur des concepts de projets avec peu ou pas de chance d'implémentation, cette approche pragmatique a permis d'améliorer les chances d'identification de projets avec un réel potentiel d'implémentation.

Bien que la priorité de l'étude soit de traiter l'éthanol et le gel fuel comme sources d'énergie pour les ménages, le potentiel emploi de l'éthanol comme carburant des véhicules à moteur a été inclus dans l'évaluation. Dans les pays où il n'a pas été possible d'identifier la moindre possibilité de production d'éthanol, les opportunités de produire le biodiesel à partir de pourghère ont été évaluées à la place. L'évaluation des biocarburants a été moins poussée que celle des combustibles domestiques.

1.3 Méthodologie

1.3.1 Phase de collection des données

La collecte d'information a eu lieu à plusieurs niveaux :

- Collecte initiale de données par les consultants locaux. Dans chaque état membre de l'UEMOA, un consultant local a été recruté pour rassembler les données de base, en particulier pour le marché de l'énergie domestique (modèles de consommation et niveaux de prix des combustibles domestiques ; politique énergétique ; acteurs du marché) et la disponibilité des matières premières potentielles (industries du sucre ; industries de transformation de fruits ; récoltes agricoles spécifiques) et d'autres besoins (coûts des facteurs de production tels que l'énergie, l'eau, le personnel, le transport).
- Collecte de données supplémentaires par l'équipe d'experts locaux et internationaux, durant la mission circulaire dans les pays de l'UEMOA. Basée sur les rapports initiaux des consultants locaux, l'équipe a fait une sélection des organismes potentiellement intéressants et des personnes à rencontrer. Au cours de ces réunions, des informations supplémentaires ont été recueillies, et des discussions concernant les possibilités de commencer les projets de productions d'éthanol pour le biodiesel ont eu lieu.
- Autres données. Beaucoup d'informations issues d'études précédentes ont été fournies par le consultant. A chaque fois que c'était nécessaire, des informations complémentaires ont été rassemblées à partir de publications et d'Internet.

1.3.2 Analyse des données

Compilation et structuration des informations de base

Les informations de base ont été recueillies avant et durant les missions du consultant et à partir d'autres sources (études antérieures et internet). Il s'agit des informations sur les marchés des énergies combustibles, les coûts des facteurs de production et les attributs techniques précis des différentes matières premières. Dans certains cas, des informations de différentes sources ont été combinées afin d'uniformiser les données (par exemple pour les propriétés spécifiques des matières premières et leurs potentiels de production de carburant).

Les données ont été compilées et structurées, pour être utilisées comme base pour d'autres analyses (par exemple au chapitre 2) et comme point de départ pour des évaluations complémentaires.

Etudes de marché

Pour chaque pays, des modèles (qualitatifs et quantitatifs) concernant les niveaux des prix et de consommation des combustibles domestiques ont été étudiés afin d'évaluer le marché potentiel de l'éthanol et du gel fuel comme combustible domestique. La plupart du temps, le butane a été pris comme point de référence, car les niveaux des prix du bois

et du charbon de bois sont tout simplement très bas et le kérosène, quoique généralement plus cher que le gaz, est difficilement accepté comme combustible de cuisson.

Les comparaisons sont faites sur une base de valeur énergétique suivant le combustible. Cela signifie que les Pouvoirs Calorifiques Inférieures (PCI) de différents combustibles sont utilisées pour calculer les niveaux des prix par unité d'énergie (n FCFA/MJ). Puisque la valeur de remplacement du biodiesel est quelque peu différente (voir UFOP (2004)), les comparaisons sont faites pour un litre en s'accordant sur le fait qu'un « facteur de remplacement » soit inclus dans les éventuelles analyses.

Les évaluations du marché résultent d'une série d'indices de prix, pour chaque carburant domestique et pour les véhicules à moteur, ce qui aurait comme conséquence des coûts égaux pour l'utilisateur. Les résultats des analyses sont présentés dans les premières sections de chacun des chapitres concernant les pays de l'Union (les chapitres 3-10).

Analyses techniques

Les informations concernant la disponibilité des matières premières et leurs attributs ainsi que leurs conversions potentielles en combustibles (comme celles présentés dans le chapitre 2), ont été combinés afin de déterminer le potentiel de production total d'éthanol dans les secteurs les plus appropriés. Une sélection des différentes matières premières a été effectuée sur la basé de :

- la pertinence du potentiel de production (en termes de volume par an) ;
- une évaluation des prix des matières premières, en combinaison avec le potentiel de production (par unité) d'éthanol de cette matière première particulière ;
- des interférences potentielles avec la sécurité alimentaire.

Basé sur l'analyse de la disponibilité des matières premières et du niveau du développement du secteur spécifique, un ou plusieurs scénarios de production ont été évalués pour l'éthanol (à 95%, obtenu uniquement par distillation), pour le gel fuel (contenant 85% d'éthanol et un gélifiant supplémentaire) et pour l'éthanol anhydre (à 99,7%, nécessitant une étape de déshydratation après distillation). Puisque la base du processus de chacun de ces trois produits est identique (production d'un éthanol à 95-96%), le solde de cette étape a été pris comme référence. Le rendement éventuel de production des autres produits dépend de la teneur en éthanol du produit final. Le gel fuel contient moins d'éthanol par unité que l'éthanol 95%, l'éthanol anhydre contenant plus d'éthanol.

Pour les évaluations de production de biodiesel (au Niger et au Togo), des paramètres standards ont été utilisés, provenant d'exemples de productions réelles et de publications, et les scénarios de production en série ont ainsi pu être établis. Les détails spécifiques de l'opération de plantation et de collection des graines de pourghère ne sont pas pris en compte car ne faisant pas partie des termes de références. Seul le coût d'acquisition des graines sur le marché est pris en compte.

Analyses financières et économiques

Les analyses économiques et financières ont été réalisées comme suit:

Les coûts d'investissement des unités de production de l'éthanol (anhydre) et du gel fuel ont été évalués grâce aux données réelles des fournisseurs d'équipements. Les informations ont été croisées avec d'autres sources d'information (publications et internet). Les évaluations des coûts d'investissement des plantations de pourghère ont été faites en utilisant des données provenant de différentes sources (asiatiques et africaines). Les coûts d'investissement d'une usine de Biodiesel sont basés sur les informations fournies par les fournisseurs d'équipement.

Les coûts de production de produits issus de l'éthanol sont basés sur les niveaux des prix actuels des matières premières, de l'énergie, de l'eau, des intrants et du personnel. Afin d'arriver à des prix pouvant être comparés à ceux d'autres carburants, les coûts d'emballage, de transport et une marge fixe pour la distribution ont été inclus, ainsi que la TVA. Les coûts de production du biodiesel sont basés sur les coûts (estimés) des graines de pourghère et des besoins des processus de transformation, sur les coûts énergétiques spécifiques des différents pays engagés ainsi que sur des évaluations grossières de divers autres coûts. Des frais financiers sont dans tous les cas calculés sur la base de 10 ans avec un retour fixe.

Les prix du produit vendu, comprenant le transport, la distribution et la TVA, sont comparés aux indices des prix des carburants conventionnels. Parfois, si cela est approprié, les niveaux de subvention sont évalués ce qui permet une comparaison avec des carburants conventionnels non subventionnés. Dans les cas où les prix du produit vendus rivalisent correctement avec ceux des carburants conventionnels, des calculs supplémentaires sont faits pour réévaluer le Taux de Rentabilité Interne (TRI) et selon le Temps de Retour Simple (TRS) appliqué dans le cas où les prix de ventes sont élevés par rapport à ceux du carburant conventionnel (pour un même rendement énergétique).

Les indices de prix d'utilisation de l'éthanol à des fins industriels ont été estimés. Bien que les prix de l'éthanol industriel soient généralement largement supérieurs à ceux des combustibles domestiques, ils n'ont pas été compris dans l'équation. La demande (locale) d'éthanol industriel étant limitée, on suppose que seule une petite partie de l'éthanol pourrait être vendue sur ce marché.

Des analyses de sensibilité ont été menées sur chacun des cas. Des paramètres ont été choisis, ceux qui contribuent le plus aux coûts de production.

Des évaluations économiques ont été faites sur l'effet de la production d'éthanol/biodiesel sur les importations des combustibles fossiles classiques, en particulier les effets sur les dépenses nationales. D'autres effets économiques ont aussi été examinés.

Stratégie et applications

Le chapitre 11 présentera les résultats des différentes analyses, combiné avec les résultats de la mission du consultant et les idées perçues au niveau des différents acteurs (institutionnels et privés) rencontrés. Ce chapitre est surtout conçu pour servir de point de départ pour les discussions de l'atelier de validation (c'est-à-dire la partie finale du projet).

2.1 Propriétés de l'éthanol et du gel fuel

2.1.1 L'éthanol

L'éthanol (alcool éthylique) est un liquide inflammable, insipide, sans couleur et légèrement toxique. L'éthanol est généralement obtenu par une conversion microbiologique des sucres et des amidons¹ fermentescibles. Indépendamment de son utilisation dans les boissons alcoolisées, sous une forme plus pure il est employé couramment comme combustible, dissolvant, désinfectant et matière première dans l'industrie chimique. Le Tableau 2-1 ci-dessous donne une vue d'ensemble de quelques propriétés de l'éthanol et des mélanges eau-éthanol (95% et 85%).

Tableau 2-1 Propriétés de l'éthanol

Propriétés	100%	95%	85%
Valeur calorifique nette (MJ/kg)	26,9	24,8	21,0
Densité (kg/l)	0,79	0,81	0,85

L'éthanol est employé comme source d'énergie depuis plus d'un siècle, pour cuire les aliments, comme source d'éclairage ou comme combustible de moteur. L'éthanol dans les concentrations au-dessus de 50% peut être employé comme un combustible pour la cuisson. Il est facile d'emploi et peut être appliqué directement dans les cuisinières. Il brûle sans fumée et ne crée pas de pollution à l'intérieur. Cependant, l'éthanol comme source d'énergie de cuisson s'est limitée principalement pour des applications de loisirs (navigation, camping et cuisine), bien que son introduction comme combustible régulier de ménage ait été tentée dans plusieurs pays (par exemple en Inde et au Burkina Faso).

A l'heure actuelle, la principale application à des fins énergétiques de l'éthanol se situe au niveau du carburant pour moteur. L'éthanol peut être employé comme carburant dans des moteurs à combustion interne modifiés et la plupart des constructeurs d'automobiles l'intègre dans le design des nouveaux modèles. L'éthanol « anhydre » de grande pureté (de 99,7% ou plus) peut être mélangé avec l'essence pour donner un combustible « plus vert » avec de meilleures propriétés de combustion. Jusqu'ici, particulièrement le Brésil et les États-Unis mélangent de grandes quantités d'éthanol dans leur essence; l'Europe est en cours d'augmenter sa production pour un mélange de 5,75% à 20% dans les carburants traditionnels.

Afin d'empêcher l'éthanol d'être consommée comme boisson alcoolique et pour éviter les niveaux élevés de taxes (l'alcool est fortement taxée), l'éthanol doit être dénaturé et coloré pour servir à des fins d'énergie. Il est rendu non comestible en ajoutant une

¹ L'éthanol peut aussi être produit chimiquement, par hydratation d'éthène ; cependant, ce processus n'est pas employé couramment

substance toxique (par exemple, méthanol) et en lui donnant un goût amer (par exemple en ajoutant le benzoate de benatonium).

2.1.2 Le gel fuel

Le gel fuel est un combustible à base d'éthanol auquel on donne une consistance comparable à celle d'un gel en y ajoutant certains additifs de modification de la rhéologie. Le Gel fuel a plusieurs avantages par rapport à d'autres combustibles domestiques:

- faible probabilité de fuite, d'incendie et d'accident par rapport aux combustibles liquides.
- faible évaporation par rapport aux combustibles liquides : le gel forme une couche qui réduit le taux d'évaporation.
- utilisation et manipulation aisées, par rapport aux combustibles solides : le gel peut être stocké, transporté et distribué sous forme d'un liquide.

Les propriétés typiques du gel fuel sont les suivantes :

Tableau 2-2 propriétés typiques de gel fuel

Composition		
Ethanol	75-85%	
Eau	15-20%	
Agent gélifiant	0,5-5%	Ex : Cellulose méthylique modifiée
Agents dénaturants	1-5%	Ex : méthanol, benzoate de denatonium (Bitrex)
Propriétés		
Pouvoir Calorifique Inférieur (MJ/kg)	22-23	
Densité (kg/l)	0,84-0,86	
Viscosité (Pa.s)	5-15	Consistance entre le sirop et la mayonnaise

Source: Visser et al (2005)

Le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) du gel est pour une grande partie déterminée par sa teneur en eau², bien que le pouvoir de combustion des agents dénaturants et du gélifiant puisse également s'ajouter au total. Le pouvoir calorifique du gel fuel est entre 22-23 MJ/kg, ce qui est approximativement 30% plus élevé que celui du bois sec (16,4 MJ/kg), mais 15% en dessous de celui du charbon de bois (27 MJ/kg) et approximativement la moitié de celui du gaz de butane (45,7 MJ/kg).

La gélification peut être réalisée en ajoutant des types spécifiques de liants de cellulose aux mélanges d'éthanol et d'eau. Juste comme l'éthanol, le gel fuel doit être dénaturé afin d'empêcher la consommation. Les mêmes substances peuvent être employées que celles employées pour dénaturer l'éthanol.

² La forte teneur en eau a un effet défavorable sur le pouvoir calorifique inférieur (PCI) de deux manières : il réduit directement la quantité de matière combustible par kilogramme, mais également l'énergie requise pour son évaporation pendant la combustion provoque une réduction du PCI.

2.1.3 Comparaison avec d'autres combustibles

Le Tableau 2-3 donne une vue d'ensemble des propriétés de l'éthanol, du gel fuel et de plusieurs combustibles ménagers traditionnels et des combustibles automobiles.

Tableau 2-3 Propriétés typique de l'éthanol, des combustibles et carburants traditionnels

Fuel	Densité (kg/l)	PCI (MJ/kg)	PCI (MJ/l)
Ethanol (95%)	0,81	24,8	20,19
Gel fuel	0,85	22,3	18,96
Bois (10% humide)	N/A	16,4	N/A
Charbon de bois	N/A	27,0	N/A
Gaz butane	0,57	45,7	26,18
Kérosène	0,80	43,9	35,25
Essence	0,74	44,8	33,15
Ethanol anhydre	0,79	26,9	21,36
Biodiesel	0,88	37,3	
Gasoil	0,84	43,4	36,61

Sources: IEA (2004), Visser et al (2005), Matthewson (1980), Elsayed et al (2003)

2.2 Production d'éthanol et de gel fuel

2.2.1 Description générale du processus

La manière la plus commune de produire l'éthanol est par la conversion biologique (fermentation) des sucres ou des amidons, par exemple le jus de betteraves et de canne à sucre, ou les amidons transformés du maïs, du blé ou des pommes de terre. S'il y a lieu, l'éthanol produit peut être purifié par une ou plusieurs étapes de séparation. Le processus général de la conversion de la biomasse en éthanol pur peut être divisé en cinq phases distinctes :

1. **Rendre disponibles les ressources de sucre ou d'amidon.** Une grande partie des sucres disponibles ou des amidons sont confinées dans la biomasse (maïs, canne à sucre, etc...), signifiant qu'elles ne sont pas facilement disponibles. En décomposant les structures, les sucres deviennent disponibles.
2. **Hydrolyse des sucres polymères.** Avec l'hydrolyse, les sucres polymères sont réduits en sucres monomériques. Les méthodes pour l'hydrolyse sont entre autres: application de chaleur, d'acides, d'enzymes ou une combinaison de ceux-ci.
3. **Fermentation.** La conversion des sucres en éthanol de nos jours est faite par l'utilisation de monocultures de levure. Les paramètres importants de la fermentation sont un teneur en alcool élevée et une faible consommation d'énergie et une réduction de la durée de l'opération.
4. **Distillation.** La distillation est une technologie bien connue pour la séparation des mélanges des liquides avec différents points d'ébullition. La distillation permet d'obtenir un contenu en éthanol jusqu'à 96% par unité de volume.
5. **Déshydratation.** Dans cette dernière étape l'éthanol est séparé de l'eau pour obtenir une teneur en eau de moins de 0,3% par unité de volume, signifiant un éthanol avec

plus de 99,7% de pureté. Pour cette séparation, des technologies habituelles sont employées comme des membranes ou des tamis moléculaires.

Selon la matière première utilisée et la pureté exigée de l'éthanol, une ou plusieurs étapes peuvent être omises. Par exemple, des matières de base contenant du sucre peuvent être directement fermentées si les sucres sont disponibles, alors que des produits amidonnés doivent d'abord être hydrolysés (étape 2). Pour la production de combustible domestique éthanol ou de gel fuel, la déshydratation (étape 5) n'est pas exigée.

Un schéma typique du processus complet est montré dans la Figure 2-1 ci-dessous :

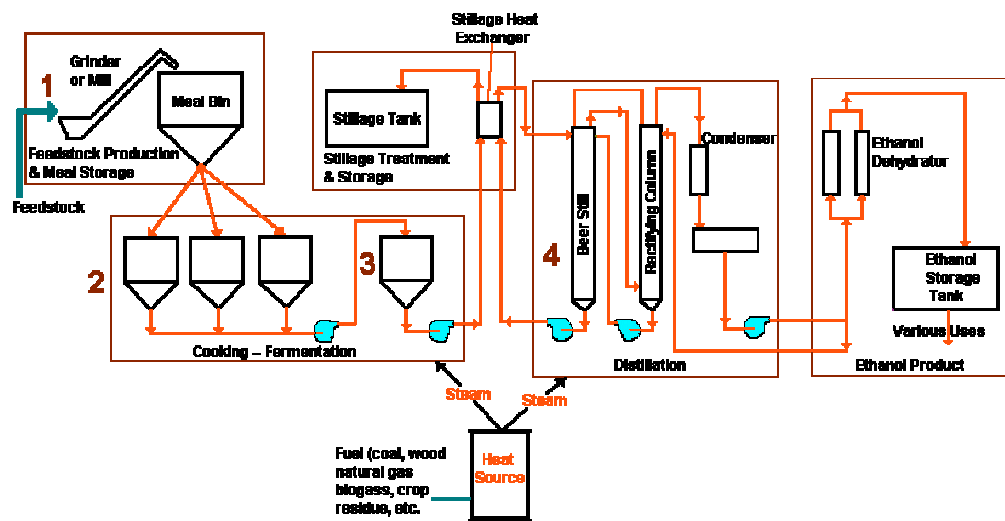


Figure 2-1 Procédé typique de production d'éthanol

Pour produire un gel fuel à partir de l'éthanol, un mélange d'eau-éthanol avec 75-85% d'éthanol doit être réalisé, ce qui peut alors être mélangé à l'agent gélifiant. Selon le type de gélifiant, un mélange intense est exigé. Après mélange, le gel doit reposer pendant un certain temps avant qu'il puisse être transféré dans des récipients d'emballage ou de transport.

2.2.2 Technologies de production

La production de l'éthanol peut avoir lieu à n'importe quelle échelle, de très petite (quelques dizaines de litres par jour) à très grande (million de litres par jour ou plus). Une différenciation utile peut être faite selon la technologie :

1. Systèmes à échelle réduite (artisanal)

Ces types de systèmes sont caractérisés par leur petite échelle (milliers de litres par an, ou douzaines de litres par jour), et leur construction de type artisanal. Les installations ne sont pas généralement optimisées en terme de matériel et d'efficacité énergétique. Elles sont généralement directement approvisionnées par du bois ou du charbon de bois. L'éthanol produit est généralement prévu pour la consommation humaine (eau de vie).

2. Systèmes pour la taille d'une ferme (semi industriels)

Les installations pour une ferme sont toujours d'une échelle relativement petite (jusqu'à plusieurs milliers de litres par jour), bien qu'elles utilisent des installations (semi) industrielles pour la fermentation et/ou la distillation. En Europe, ces types d'installations sont habituellement bien conçues et optimisées, bien que moins complexe que les installations industrielles à grande échelle. Le matériel et l'efficacité énergétique sont légèrement limités par la taille. Les coûts d'investissement spécifiques sont dans la gamme de 400-600 EUR/t.

3. Systèmes à grande échelle (industrielle)

La plupart de l'éthanol produit aux Etats-Unis, au Brésil et en Europe est produite dans des usines de grande taille (centaines de millions de litres par an). Ces systèmes sont complexes, fortement automatisés et très efficaces en terme de rendement en éthanol par unité de matière première et d'énergie utilisée. Les coûts d'investissement spécifiques, selon la taille, sont dans la gamme de 300-500 EUR/t.

2.2.3 Matières premières possibles

Pour la production biochimique de l'éthanol, fondamentalement trois types de matières de base existent : les sucres, l'amidon et la cellulose. Une vue d'ensemble des caractéristiques et des rendements d'éthanol typiques de différentes sources est présentée dans le Tableau 2-4 ci-dessous.

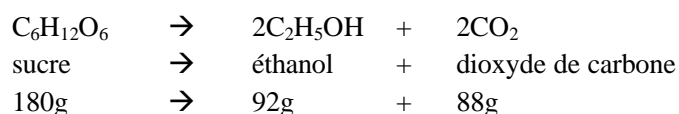
Tableau 2-4 Caractéristiques et rendements d'éthanol typiques de différentes matières premières

Matériel	Contenu de sucre / amidon (%pd)	Rendement d'éthanol (l/t)	Rendement d'éthanol (l/ha)
Canne à sucre	14%	80	5 500
Sorgho sucré	17%	60	4 000
Pomme d'anacardier	7%	30	73
Mélasses	50%	290	N/A
Blé	65%	400	2 000
Mais	62%	400	3 000
Manioc	22%	140	2 100

Sources: Bullock (2002); Berg (2004); Kavalov (2004); La Van Kinh et al (1996); Lu Nan et al (1994); Grassi et al (2002) ; International Starch Institute (1999)

1. Sucres

Les types le plus communs de matière première pour la production de l'éthanol sont des matières sucrées. Des matières sucrées peuvent être directement fermentés par des types spécifiques de levure. Dans le procédé de fermentation, les molécules de sucre sont coupées en deux molécules de CO₂ et en deux molécules d'éthanol selon la formule Gay-Lussac :



L'équation montre que de 180 grammes de sucre, 92 sont convertis en éthanol, ce qui est égal à 51% en poids. Ce taux de conversion est le maximum imaginable et ne peut pas être réalisé dans des conditions pratiques. En réalité une efficacité de conversion d'environ 90% peut être réalisée avec des processus industriels, signifiant un taux de conversion pratique de sucre en l'éthanol de 46%pd.

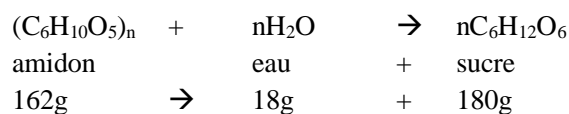
La plupart des sources de sucre généralement utilisées pour la production d'éthanol sont :

- La canne à sucre - particulièrement utilisée en Amérique du Sud et en Inde. La canne à sucre contient typiquement environ 14% de sucres fermentescibles (Bullock, 2002), qui, après extraction, peuvent être directement convertis en éthanol. Un sous-produit est la bagasse fibreuse de canne à sucre, qui peut être employée pour la production de l'énergie. Le rendement moyen d'éthanol est environ 80 litres par tonne de canne ; au Brésil, le rendement moyen d'éthanol par ha de canne est 5 500 l/ha (Berg, 2004).
- Betteraves à sucre - particulièrement utilisées en Europe. La betterave contient typiquement environ 17% de sucre, ayant pour résultat un rendement d'éthanol d'environ 100 litres par tonne de betterave (Kavalov, 2004). Le sous-produit, pulpes betteraves, peut être employé en tant qu'alimentation des animaux. Les rendements d'éthanol en Europe peuvent être aussi élevés que 7 000 l/ha (Berg, 2004).
- Mélasses - un résidu de la transformation du jus de canne ou de betterave. Le rendement potentiel d'éthanol de la mélasse dépend de la quantité de sucres fermentescibles, qui est typiquement dans la gamme de 45% jusqu'à 60% (Bullock, 2002) : la production d'éthanol par tonne de mélasse contenant 50% des sucres est de 300 litres d'éthanol en moyenne.
- Fruits - beaucoup utilisés dans le monde entier, en particulier pour l'alcool de consommation. D'un intérêt spécifique dans le contexte de cette étude, la pomme d'anacardier, un sous-produit de la production d'anacarde, fut l'objet d'une attention particulière en Guinée Bissau. Les pommes d'anacardier contiennent approximativement 6-7% de sucres (La Van Kinh et autres, 1996), qui peuvent résulter dans la production d'environ 30 litres par tonne de pomme fraîche d'anacardier.
- Sorgho doux - une source relativement nouvelle de matière première pour la production d'éthanol, utilisée à une échelle encore limitée aux Etats-Unis, en Australie et en Inde. Les avantages principaux de la plante sont sa période croissante relativement courte (possibilité de plusieurs récoltes par an) et sa capacité de résister à la sécheresse. La canne contient environ 15-17% de sucres (Lu Nan et autres, 1994) ; les évaluations de rendement sont en moyenne de 60 litres par tonne de canne (Bullock, 2002). Les rendements annuels d'éthanol à partir de jus de canne sont estimés à plus de 7 000 litres par ha (Grassi et autres (2002)). Les sous-produits sont la bagasse de canne, qui peut être employée comme source d'énergie, et des grains de sorgho qui peuvent être employés pour la production (limitée) d'éthanol ou comme aliment.

2. Amidon

L'amidon est un terme générique pour des types d'hydrate de carbone se composant de molécules complexes constituées de chaînes des centaines voire milliers de molécules de glucose. Ces chaînes peuvent être décomposées en glucoses simples par hydrolyse :





L'hydrolyse de 162 g d'amidon exige ainsi 18 g de l'eau et résulte dans la formation de 180 g de glucose, qui alternativement peut produire 92 g d'éthanol. Le taux de conversion global de l'amidon en éthanol est alors 57%, ou 51% si un facteur d'efficacité de 90% est assumé.

Les sources d'amidon généralement utilisées pour la production d'éthanol sont :

- Maïs - particulièrement utilisé en Amérique du Nord (Etats-Unis). Les graines de maïs contiennent plus de 60% d'amidon, qui peut être transformé en environ 400 litres d'éthanol par tonne de maïs (Bullock, 2002). Le rendement d'éthanol aux Etats-Unis est approximativement de 3 000 litres par ha (Berg, 2004). Le sous-produit principal est résidu qui peut être employé en tant que nourriture animale. L'inconvénient principal est la grande consommation de l'énergie, en particulier liée à la production des engrais nécessaires, qui soulève des questions au sujet du bilan énergétique global de l'éthanol de maïs (voir également la section 2.2.5 ci-dessous).
- Blé - particulièrement utilisé en Europe. Le grain de blé contient environ 65% d'amidon, ayant pour résultat les rendements typiques d'éthanol de 400 litres par tonne (Bullock, 2002). Typiquement, les rendements d'éthanol par hectare sont plus de 2 000 l/ha.
- Pommes de terre - beaucoup utilisées dans le monde entier, quoiqu'en particulier pour l'éthanol de consommation. Le rendement typique d'éthanol est d'environ 90 litres par tonne de pommes de terre (Bullock, 2002).
- Manioc - pas encore employé couramment pour la production d'éthanol à grande échelle, mais jouit intérêt de plus en plus grand³. Le manioc contient typiquement 22% environ d'amidon (amidon international Institute, 1999), qui peut être transformé en 140 litres d'éthanol par tonne de racine fraîche. Le rendement d'éthanol par hectare dépend fortement du rendement de manioc par hectare ; à 15 tonnes par ha, le rendement d'éthanol serait autour 2 100 l/ha.

3. Cellulose

L'utilisation des matières de base cellulose pour la production d'éthanol, par la transformation acide ou enzymatique de la cellulose en sucres fermentescibles, a été assujettie au développement de technologie appropriée pendant plusieurs années. Les matières de base cellulose sont bon marché et disponibles en abondance et le bilan énergétique de l'éthanol produit à partir de la biomasse cellulose est bien mieux que celui de la plupart des autres matières de base (en particulier amidon). Cependant, la technologie est toujours en cours de développement, bien qu'il y ait déjà plusieurs usines opérationnelles. Les coûts de production sont néanmoins assez élevés.

³ Récemment, la Chine et le Nigéria ont signé un Memorandum sur l'établissement d'une industrie de production d'éthanol basée sur le manioc (Biopact, 2006). L'unité de production prévue transformerait annuellement 150 000 tonnes de manioc, qui pourraient produire plus de 20 000 m³ d'éthanol par an ; les investissements relatifs sont d'environ 40 milliards de FCFA.

2.2.4 Autres inputs

Energie

Dans le processus de production d'éthanol, l'hydrolyse des amidons et la distillation exigent en particulier beaucoup d'énergie. L'hydrolyse implique généralement le chauffage et la cuisson des amidons. La distillation implique l'évaporation du mélange d'eau-éthanol résultant après fermentation, pour laquelle beaucoup de chaleur (énergie) est nécessaire, habituellement sous forme de vapeur. La quantité de chaleur requise dépend principalement de la teneur en éthanol du matériel fermenté et de la technologie utilisée (c.-à-d. son efficacité énergétique globale). Les besoins de chaleur peuvent s'étendre de 5 MJ/l d'éthanol pour de grandes installations en utilisant la mélasse, à 10 MJ/l et plus pour les usines moyennes en utilisant les matières de base féculentes.

Indépendamment de la chaleur, une source d'électricité est nécessaire pour activer les pompes par exemple. Les valeurs typiques pour de plus grandes installations sont 0,10-0,15 kWh/l.

Agent de gélification

Il existe plusieurs moyens de gélifier un mélange d'éthanol et d'eau, ce qui donne des résultats différents. La cellulose méthylique modifiée (par exemple Methocel, Bermocoll ou Carbopol) donne un gel lisse et clair, qui brûle avec peu ou pas de résidu. Ces celluloses sont d'origine biologique, mais chimiquement modifiées afin d'augmenter certains attributs. En tant que telles, elles sont capables de gélifier un mélange à base d'éthanol, alors que la cellulose conventionnelle est seulement efficace à un pourcentage d'éthanol de 50% au moins. La concentration exigée est faible mais les niveaux des prix sont relativement élevés.

En raison du contenu élevé d'éthanol, les liants appropriés de cellulose tombent dans la gamme des produits de spécialité des compagnies chimiques. Des expériences avec d'autres types d'agents ont été essayées mais se sont avérées modérément réussies⁴.

Autres inputs

- Levure pour la fermentation et enzymes pour l'hydrolyse d'amidon. Les systèmes industriels modernes ont généralement une forme recyclage de la levure en récupérant les particules au niveau du lavage pour le retourner à l'unité de fermentation. En tant que tels, la quantité de levure peut être contrôlée sans nécessité d'y ajouter de la levure fraîche au processus. Cependant, quelques installations peuvent exiger un levurage continu.
- L'eau. La plupart des matières premières ont besoin d'un certain genre de traitement préparatoire qui exige l'addition d'eau, par exemple hydrolyse pour l'amidon ou dilution pour la mélasse. La consommation d'eau des usines modernes d'éthanol sont approximativement de 5-10 litres d'eau par litre d'éthanol.

⁴ Par exemple, ajouter de l'acétate de calcium à un mélange d'eau et d'éthanol a comme conséquence la formation d'une pâte blanchâtre qui peut être lissée par l'agitation intensive. Cependant, après la combustion, des quantités relativement grandes de cendre sont laissées.

-
- Agents dénaturants, tels que le méthanol, la cétone méthy-éthylelique (MEK), et/ou le benzoate de benatonium (Bitrex) pour rendre l'éthanol du gel fuel impropre à la consommation humaine. Souvent, une combinaison est appliquée. Les quantités requises dépendent des conditions de la loi.
 - quelques installations peuvent exiger des quantités limitées de produits chimiques pour contrôler des paramètres de processus (par exemple urée, huile d'écumage).

Main d'œuvre

Les exigences de personnel pour une usine d'éthanol, indépendamment de la gestion, concernent principalement les opérateurs et les techniciens de processus. Il y a un effet prononcé d'échelle: une petite usine (1 000 t/a) pourrait être dirigée par environ 5-10 personnes, alors que de plus grandes usines (10 000 t/a) pourraient faire appel à 15-20 personnes.

2.2.5 Incidences sur l'environnement

Sous-produits du procédé de production

Indépendamment de la gamme des sous-produits qui deviennent disponibles pendant la production de la matière de base (par exemple bagasse et paille de canne), plusieurs types de sous-produits sont produits pendant le procédé de production d'éthanol.

- Aliment de bétail – les sous-produits ont une valeur positive en tant qu'alimentation des animaux, en particulier les procédés utilisant le maïs, betteraves (pulpes betteraves) ou manioc (fibre de manioc).
- Le résidu après la distillation de la mélasse (vinasse) peut être appliqué sur la terre comme engrais. Cependant, Bullock (2002) indique que quelques types de vinasse peuvent être appliqués seulement jusqu'à un degré limité, spécifiquement ces types contenant des niveaux élevés du potassium. Les moyens alternatifs suggérés au traitement sont la digestion anaérobie, le compostage et concentration/combustion.

Utilisation d'énergie

En évaluant le bilan énergétique du cycle complet de production de l'éthanol, l'énergie dépensée sur la production des matières premières devra également être considérée. Particulièrement quand des engrais chimiques sont employés, l'énergie dépensée sur la production de matière première peut être proche de celle utilisée pendant l'étape de production d'éthanol. D'autre part, souvent la biomasse (fibreuse) de la plante peut être employée pour la production énergétique (par exemple en brûlant la bagasse de canne à sucre pour la production de chaleur et d'électricité), qui peut considérablement améliorer le bilan énergétique. Cependant, dans certains cas, l'énergie résultante dans l'éthanol peut même être moins que l'énergie dépensée pour sa production.

L'analyse des différents documents disponibles dans la littérature donnent une grande diversité des données et des conclusions. Les bilans énergétiques dépendent fortement de la matière de base utilisée, de l'utilisation en tenant compte de l'énergie pour les intrants, de l'ampleur de l'utilisation des sous-produits, etc. Quelques sources choisies sur le sujet :

-
- Maïs (US) : Selon le DoE (2005), chaque unité d'éthanol produit coûte 0,74 unités d'énergie à produire, y compris l'énergie pour des engrais mais également l'énergie contenue dans les sous-produits. Ceci contrairement aux 1,23 unités d'énergie utilisée pour produire une unité d'énergie fossile. Cependant, Pimentel et Patzek (2005) indiquent que la production d'éthanol à partir du maïs a exigé plus d'énergie fossile de 29% que le combustible d'éthanol produit.
 - L'éthanol de la canne à sucre au Brésil produit 8 fois plus d'énergie que ce qui est exigée pour le produire (Macedo et autres, 2004).
 - Armstrong et autres (2002) concluent que la production d'éthanol de betterave et de blé épargne respectivement 31% et 17% plus d'énergie comparés aux combustibles fossiles ; sans prendre en compte l'énergie des sous-produits. D'autres estimations affirment des ratios d'entrée/sortie pour l'éthanol de la betterave à sucre de 1,9 (par exemple Szwarc, 2004).

Utilisation de l'eau pour la production de matière de base.

Pour la production de quelques types de matière de base (par exemple canne à sucre ou mélasse de canne à sucre), de grandes quantités d'eau sont nécessaires pour l'irrigation. Parfois, la disponibilité de l'eau sur place est une contrainte pour (l'extension de) la production des matières de base d'éthanol.

2.3 Utilisation

Il faudrait noter que la RPTES en association avec les Ministères de l'énergie concernées, ont mené plusieurs test d'acceptabilité du gel fuel dans la sous region entre 1990 et 2000 avec des résultats assez encourageants.

2.3.1 Réchauds

Afin d'employer l'éthanol pour la cuisson, un type approprié de réchaud devra également être rendu disponible. Il y a plusieurs options :

- Réchauds non pressurisés, tels que le modèle conventionnel de fondue (voir la Figure 2-2) et le modèle de LAFYA trouvé au Burkina Faso (voir la Figure 2-3). Le modèle de fondue est très simple : l'éthanol est dans un petit récipient, dans lequel une ouate est placée pour empêcher le renversement. L'air de combustion entre par une série de trous autour de l'ouverture au milieu. Le rendement de puissance du réchaud peut être réglé (en partie) en réduisant l'entrée d'air. Les essais avec un prototype prouvent que ce type de réchaud exécute bien au-dessus d'un kilowatt de la gamme de puissance (c.-à-d. 0,5 à 3) approprié. L'efficacité en plein pouvoir est autour 40-45% ; ce qui est substantiel pour ce type d'application. Les coûts de production sont marginaux par rapport à un réchaud complet.

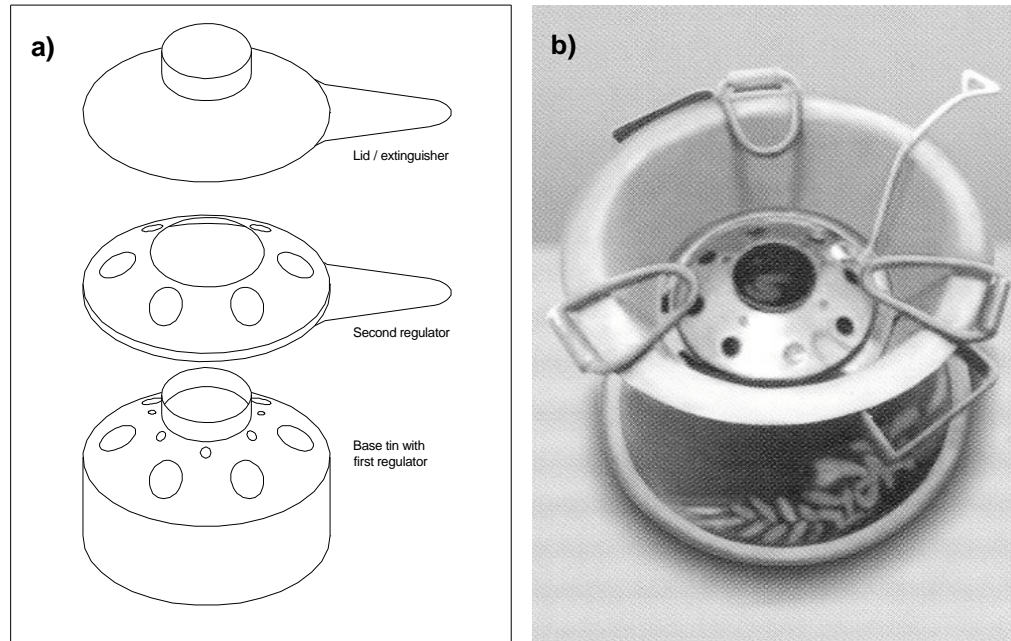


Figure 2-2 Réchaud à éthanol (modèle fondue)



Figure 2-3 Réchaud à éthanol (type « LAFYA »)

- Les réchauds pressurisés ont été développés récemment en Inde (Rajvanshi et autres, 2004). Le réchaud peut utiliser des mélanges d'eau-éthanol de 50% et plus, augmentant sa sûreté par rapport aux fourneaux qui ont besoin des mélanges plus purs d'éthanol. D'autres avantages sont la puissance élevée et l'efficacité élevée du combustible (jusqu'à 45%). L'inconvénient principal est son coût de production, estimé à approximativement 10 000 FCFA.

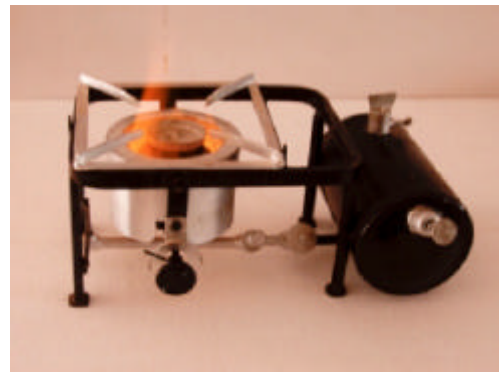
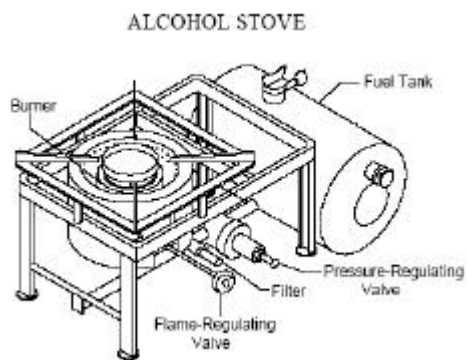


Figure 2-4 Réchaud à éthanol pressurisé. Source: Rajvanshi et al (2004)

Réchaud de gel fuel

Le Gel fuel peut être employé dans un brûleur conventionnel à éthanol de modèle de fondue (Figure 2-4 ci-dessus). D'autres réchauds ont été développés, avec des succès mitigés.

2.3.2 Moteurs de combustion

A travers le monde entier, une grande partie de l'éthanol disponible est employé comme combustible automobile. Il y a plusieurs moyens d'appliquer l'éthanol dans des moteurs de combustion :

- En tant qu'éthanol hydrique, contenant encore quelque pourcentage d'eau. Au Brésil, l'éthanol hydrique est vendu avec une teneur de 95-96%. En raison de la teneur en eau, l'éthanol hydrique ne se mélange pas avec l'essence. Des moteurs fonctionnant à l'éthanol hydrique doivent être modifiés en comparaison avec les moteurs tournant avec l'essence.
- Comme mélange à faible composante d'éthanol anhydre (presque pur, contenant seulement quelques des dizaines de pourcentage d'eau) et avec l'essence. Les mélanges jusqu'à 25% d'éthanol n'exigent pas des modifications de moteur. Au Brésil, un mélange de 20 à 25% est courant depuis 2002 (Szwarc, 2004).
- Comme mélange à forte composante d'éthanol : La E85 contient par exemple 15% d'essence qui améliorera le comportement à froid du moteur.
- Actuellement les voitures spécifiques de flexfuel ont été développées qui fonctionneront sur n'importe quel mélange d'éthanol et d'essence.

2.3.3 Emballage, stockage et distribution

L'éthanol pur est une substance non corrosive et non-agressive qui peut être emballée et stockée dans un éventail de récipients de plastique ou en métal. Cependant, l'éthanol avec une teneur plus élevée en eau (et le gel fuel) est légèrement corrosif.

Au niveau des petites quantités, (par exemple entre 1-20 litres de capacité), les récipients de plastique peuvent constituer des moyens commodes et relativement peu coûteux de l'emballage. Les coûts du récipient sont en général autour 100 FCFA par litre. Les

réipients métalliques peuvent être réutilisés plusieurs fois avec un système de collecte et de reconditionnement.

De plus grands réipients, par exemple des fûts en acier de 200 litres pourraient être une alternative appropriée. L'éthanol ou le gel fuel pourrait alors être vendu dans des magasins directement dans un réipient apportée par le client. Les coûts par litre sont comparables à ceux des réipients en plastique ; cependant, les fûts en acier sont très vigoureux et peuvent être réutilisés beaucoup de fois.

La distribution de l'éthanol et du gel fuel peut utiliser les mêmes canaux que les combustibles (fossiles) conventionnels.

2.4 Production de biodiesel

Processus de production

Le biodiesel est un carburant alternatif, dérivé de divers types de biomasses telles les huiles végétales, les dérivés d'huiles de cuisson ou les graisses animales. Sa mission principale est de remplacer les carburants issus de source d'énergies fossiles. Le biodiesel peut être combiné avec ces énergies fossiles ou être directement utilisé dans un moteur diesel classique. Son Pouvoir Calorifique (PCI) est légèrement inférieur à celui du diesel fossile, ainsi la consommation du biodiesel peut être légèrement plus élevée que celle du diesel fossile conventionnel (jusqu'à 5%⁵). Le biocarburant étant pratiquement exempt de soufre, sa combustion est plus propre, et augmente le potentiel de lubrification.

Le biodiesel est produit grâce à un procédé dit de trans-estérification, qui a pour principe de faire réagir les huiles et les graisses avec un alcool pour former le biodiesel ainsi que de la glycérine. Un catalyseur est également ajouté à la trans-estérification. Le méthanol, peu cher et facilement accessible, est l'alcool le plus utilisé pendant le processus. Le processus de production est simple et grossièrement constitué des étapes suivantes :

- Mélange de l'alcool et du catalyseur.
- Réaction. Le mélange alcool/catalyseur est versé dans un réipient fermé dans lequel sont ajoutées les huiles et les graisses. La température du mélange est alors élevée jusqu'au dessus du point d'ébullition de l'alcool afin d'accélérer la réaction dont la durée peut varier de 1 à 8 heures.
- Séparation. Deux produits essentiels sont obtenus: De la glycérine et le biodiesel. Les deux sont composés en partie du méthanol en excès utilisé pour la réaction. La glycérine étant plus dense que celle du biodiesel, les deux couches peuvent être séparées facilement car la glycérine reste au fond du réipient.

Matières premières

Le processus de fabrication du biodiesel se fait à partir de matière première oléagineuse. Cela peut être n'importe quel type d'huile bien que les plus représentées dans le monde

⁵ Selon UFOP (2004), la consommation est plus faible que ce qui est indiqué dans le calcul des valeurs PCI car d'autres paramètres favorisent le biodiesel. Cependant, on s'accorde générale sur une consommation supplémentaire de 5% (gasoil – biocarburant).

soient l'huile de colza (Europe) et l'huile de palme (Asie). Cependant, le contexte de l'étude a conduit à choisir la pourghère (*Jatropha curcas*) comme élément de base. Cette plante hautement résistante dont la récolte se fait aisément dans les régions (semi) arides convient parfaitement. Elle n'est pas consommée par les animaux à cause de sa toxicité et nécessite peu d'entretien pour pousser.



Figure 2-5 Fruits de pourghère (gauche) et plantation de pourghère

La pourghère produit des graines dont on peut extraire 25 à 30% d'huile. Les estimations de rendement annuel de graines varient⁶ mais on suppose qu'un rendement de 4000 kg/ha est généralement obtenu. Cependant, en l'absence d'irrigation dans les zones arides, une plante a besoin de 5 ans pour arriver à maturité et produire au maximum de son potentiel. Dans de telles conditions, on doit s'attendre à une faible production de graines dans les 3 premières années (FACT (2006); Heller (1996)). L'établissement d'une plantation de pourghère nécessite donc un investissement à long terme.

Autres besoins

Les autres besoins importants dans le processus sont les suivants :

- Le méthanol. Une réaction complète nécessite 10% de méthanol (ou de tout autre alcool). Des alcools supplémentaires sont cependant ajoutés afin d'accélérer le processus et d'assurer une transformation totale des graisses.
- Un catalyseur. Celui-ci est généralement un hydroxyde de sodium (soude) ou de potassium (potasse).
- L'énergie (électricité et chaleur). La quantité exacte dépend de la technologie utilisée. Une pratique courante est de prendre 10% de la production de biodiesel.

Sous-produits

Les sous-produits de la production de biodiesel à partir du pourghère sont la glycérine et les tourteaux.

- Le produit le plus précieux issu du procédé est la glycérine qui peut être utilisée comme matière première dans les industries pharmaceutiques, cosmétiques et agro-alimentaires. Elle représente environ 10% du rendement de biodiesel.
- Les tourteaux résultant de la pression des graines de pourghère peuvent être réutilisés comme fertilisant organique dans les plantations ou comme énergie de cuisson.

⁶ Selon Heller (1996), les rendements annuels varient entre 2 000 et 8 000 tonnes par hectare

3 EVALUATION PAYS : LE BENIN

3.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

Situation : Afrique de l’Ouest, bordé au sud par le Golfe de Guinée, 112 600 km².
Capitale économique : Cotonou.

Climat : Tropical humide, plus sec au nord.

Population : 7,4 millions d’habitants, urbanisés à 41%. Densité moyenne : 54 hab./ km², plus élevée dans les régions du sud.

Economie : PIB moyen de 380 US\$ par habitant. Croissance soutenue depuis cinq ans avec un taux de croissance annuel moyen de 5%. Pouvoir d’achat : 930 \$/hab.

Le Bénin dispose de réserves pétrolières, essentiellement situées en mer. De 1982 à 1998 le Bénin a produit et exporté du pétrole brut. La production de brut a été entièrement exportée faute de capacité de raffinage. La quasi-totalité de l’électricité est importée. Les ressources en biomasse, importantes, sont menacées dans le sud où la pression démographique est plus forte.

Le bois et le charbon de bois couvrent l’essentiel de la consommation domestique, le réseau de distribution de l’énergie électrique étant plus étendu dans le sud du pays.

Les Institutions et Politique Energétique

Au sein du Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau, la Direction de l'Energie élabore et met en œuvre la politique énergétique nationale et assure la tutelle des entreprises énergétiques publiques. A ses côtés, la Direction de l'hydraulique est chargée de veiller à l'application de la politique nationale de mise en valeur des ressources hydroélectriques.

La compagnie électrique nationale est la Société Béninoise d'Energie Electrique (SBEE). Elle possède le monopole de la distribution sur le territoire béninois et produit de l'électricité thermique et de l'hydroélectricité à partir du barrage de Yéripao. L'exploitation de certaines ressources hydroélectriques a été confiée en 1968 à un organisme binational (Bénin/Togo), la Compagnie Electrique du Bénin (CEB). Régie par le Code Daho-Togolais de l'Electricité, elle possède le monopole de la production hydroélectrique, du transport et des importations d'électricité dans chaque pays. Elle est sous la tutelle d'un Haut Conseil Inter-Etatique composé de ministres des deux pays.

La Société Nationale de Commercialisation des Produits Pétroliers (SONACOP) a perdu en 1995 le monopole d'importation, de commercialisation et de réexportation des hydrocarbures avec la libéralisation du marché pétrolier. Plus d'une trentaine de sociétés privées sont, à ce jour, agréées pour importer et distribuer les hydrocarbures au Bénin. En 1999, 45% du capital de SONACOP ont été cédés à une société béninoise, la Continentale des Pétroles. La promotion du bassin sédimentaire côtier se poursuit.

Plusieurs compagnies pétrolières internationales ont été sollicitées, dont le Consortium Addax Abbacan et Tarpon Petroleum, qui se sont vus confier des permis d'exploration et d'exploitation sur le bassin béninois.

Les ressources forestières sont gérées par le Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche; une entreprise publique, l'Office National du Bois (ONAB), assure l'exploitation commerciale des forêts ainsi qu'une très faible partie de la production de bois et de charbon de bois.

3.2 Le marché des énergies domestiques

3.2.1 Analyse de l'offre et de la demande

La population Béninoise, estimée à 7 395 040 habitants en 2005, se décompose en 1 320 543 ménages dont 787 704 en zones rurales et 532 839 en milieu urbain. Le besoin en énergie de cuisson est principalement satisfait par le bois et le charbon de bois à plus de 80%.

Tableau 3-1 Evolution de la consommation des énergies domestiques

Année	bois de feu (tonnes)	charbon de bois (tonnes)	Pétrole lampant (tonnes)	Gaz butane (tonnes)
2000	2 454 605	145 062	92 975	2 100
2001	2 532 073	150 827	165 539	2 985
2002	2 621 675	157 051	178 966	3 047
2003	2 684 588	158 601	214 987	8 511
2004	2 758 696	164 301	253 493	8 636

Source : Direction de l'Energie du Bénin, Mai 2006

La sous filière bois et charbon de bois

L'estimation de la demande de bois-énergie a été faite par la Direction de l'Energie à partir :

- des projections démographiques établies par l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE);
- des indicateurs d'activité et de consommation spécifique de bois-énergie résultant d'une enquête de consommation d'énergie réalisée en 2000 par la Direction de l'Energie dans le cadre des activités du projet "Tableau de Bord de l'Energie".

D'après les résultats de cette enquête :

- la fraction de la population totale du Bénin utilisant le bois de feu pour la cuisine est de 88% en milieu rural et de 85% en milieu urbain ;
- celle utilisant le charbon est de 13% en milieu rural et 36% en milieu urbain ;
- la consommation annuelle de bois de feu par personne s'élève à 443 kg en zones rurales et à 294,7 kg en zones urbaines ;
- la consommation annuelle de charbon de bois par personne est de 12,8 kg en zones rurales et de 38,5 kg en zones urbaines.

Les résultats des travaux de prévision de la demande de bois-énergie résultant de ces données sont présentés au tableau ci-dessous :

Tableau 3-2 Projection de la demande de bois-énergie (en 10³ tonnes)

	Période 1995 – 2000						Projections		
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2010	2015
Ménages									
- Bois de feu	2 106	2 173	2 237	2 306	2 378	2 455	3 135	3 722	4 434
- Charbon de bois	121	126	130	135	140	146	178	219	272
Secteur des services^a									
- Bois de feu	421	434	447	461	476	491	627	744	887
- Charbon de bois	24	25	26	27	28	29	36	44	54
Demande primaire de bois Totale ^b									
	3 496	3 612	3 726	3 848	3 978	4 114	5 189	6 222	7 493

Source : DGE (2005) ^a La demande de bois de feu et de charbon de bois dans le secteur des services est estimée à 20% de celle des ménages. ^b La demande primaire totale de bois-énergie a été déterminée en considérant un rendement pondéral de carbonisation de 15%.

La sous filière produits pétroliers

Le décret n°95-139 du 3 mai 1995 a instauré la libéralisation des activités d'importation, de stockage et de distribution des produits pétroliers et de leurs dérivés au Bénin. Dans le cadre de cette ouverture de secteur, dix sept (17) sociétés pétrolières ont obtenu à ce jour l'agrément pour la commercialisation des produits pétroliers. Parallèlement, un commerce illicite des produits pétroliers en provenance du Nigeria s'est développé pendant les deux dernières décennies, favorisé non seulement par la forte dépréciation du Naira (la monnaie nigériane) mais aussi du fait que les produits pétroliers sont fortement subventionnés au Nigeria. Les produits les plus affectés par la fraude sont: l'essence, le gasoil et le pétrole lampant.

Quant aux produits pétroliers importés par le circuit officiel, ils proviennent du Nigeria, de la Côte d'Ivoire, du Cameroun, de la France, des Pays-Bas, etc.

La SONACOP, l'un des opérateurs agréés, possède une capacité totale de stockage de 110 510 m³ dont 90 740 m³ sont situés à Cotonou. Les autres possibilités de stockage existent à Parakou, Natitingou et Bohicon.

Avec l'ouverture du sous-secteur aux privés, la société ORYX-ADDAX a construit un centre de stockage de produits pétroliers liquides d'une capacité d'environ 55 000 m³ et un centre de stockage et d'enfûtage de gaz butane d'une capacité de 3 200 m³. La société TEXACO Bénin S.A. a aussi construit un dépôt de jet A1 de capacité 300 m³ à l'aéroport de Cotonou. Ce qui a porté la capacité de stockage du pays à plus de 168 260 m³ tous produits pétroliers confondus. Ne disposant pas de raffinerie, le Bénin importe la totalité de ses besoins en produits pétroliers. La consommation des différents produits se répartit comme dans le Tableau 3-3 ci-après:

Tableau 3-3 Structure des consommations des produits pétroliers en 2000

Secteurs	Essences	Pétrole lampant	Gasoil	Fuel oil	Gaz butane	Part des secteurs dans les consom. finales
Transport	65%	-	26%	-	-	68%
Domestique		98%	-	-	2%	20%
Industrie dont	-	1%	80%	19%	-	11%
auto producteurs	-	-	3,6%	-	-	
Tertiaire	-	-	-	-	100%	0,04%
Part des produits dans consommations finales	44%	26%	27%	2%	0,4%	

Source: DGE (2001)

Presque la totalité de la consommation en essences, ainsi que 66% de la consommation finale de gasoil sont destinées au secteur des transports. Les autres consommateurs finaux de gasoil sont les divers sous-secteurs de l'industrie (34%).

Le pétrole lampant est utilisé principalement dans le secteur domestique. La consommation finale de fuel-oil est destinée aux industries notamment les cimenteries. Le kérosène (pétrole lampant) et le gaz butane sont consommés essentiellement dans le secteur domestique. Il est évident que la consommation de ces produits évoluera avec la croissance de la population.

3.2.2 Les prix des énergies domestiques

Grâce à une pluviométrie encore favorable, le Bénin dispose encore de ressources forestières importantes. Le bois et le charbon de bois restent les principales sources d'énergie de cuisson tandis que le pétrole lampant sert surtout de sources de lumière en milieu rural.

Tableau 3-4 Situation actuelle des prix

Années	Bois de feu (FCFA/kg)	Charbon de bois (FCFA/kg)	Kérosène (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA/kg)
2005	22	72	400	350
2006			385	400

Source : Direction de l'Energie, Mai 2006

Compte tenu du faible coût du bois de chauffe et de sa relative disponibilité, le gaz butane et le kérosène comme source d'énergie domestique reste loin derrière. A ce fait s'ajoute les habitudes des populations.

Bien qu'aucune information exacte de la composition de coût de butane au Bénin ne soit disponible, les prix du marché suggèrent qu'un certain niveau de subvention est appliqué afin de fixer le butane à un prix abordable pour la population. Les prix du butane non subventionné dans les autres pays (côtiers) de l'UEMOA varient de 533 FCFA/kg (Guinée Bissau) à 615 FCFA/kg (Sénégal) et 676 FCFA/kg (Togo), avec une moyenne de 608 FCFA/kg. Par rapport à cette moyenne, les prix au Bénin (subventionné) sont de l'ordre de 30-35% inférieurs.

3.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

L'introduction de l'éthanol / gel fuel comme combustible domestique ne pourra se faire qu'en remplacement ou en appoint par rapport au gaz butane. Le tableau suivant donne un aperçu des coûts ramenés au MJ et en comparaison avec les combustibles traditionnels (bois, charbon et gaz).

Le bois de feu et le charbon de bois, respectivement 1,5 et 2,7 FCFA par MJ sont des catégories de combustibles à part compte tenu de leur faible coût d'acquisition et de leur utilisation massive en milieu rural et urbain. Un combustible nouveau aura du mal à les remplacer.

Le kérosène sert plutôt pour l'éclairage en milieu rural et périurbain non électrifié et n'est pas utilisé comme énergie de cuisson.

Tableau 3-5 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	22	1,5
Charbon du bois	kg	27,0	72	2,7
Butane	kg	45,7	400	8,7
Kérosène	l	35,3	385	10,9
Essence ^a	l	33,1	450	13,6
Gasoil ^a	l	36,6	440	12,0
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	177	8,7
Gel fuel	l	19,0	166	8,7
Biocarburant	l	21,4	290	13,6

^a source : www.izf.net

Notons que le prix du gel fuel est plus faible que celui de l'éthanol en tenant compte spécifiquement des pouvoirs calorifiques. A parité de prix au niveau des unités calorifique, le prix du gel fuel sera conséquemment plus cher que celui de l'éthanol.

Dès lors, l'éthanol / le gel fuel ne peut être introduit au Bénin comme combustible de substitution voire combustible complémentaire que par rapport au gaz butane importé qu' en alignant son prix à celui du gaz butane. Cela donnerait un prix sur le marché de 177 FCFA par litre (éthanol 95%) et 166 FCFA (gel fuel).

3.3 Production potentielle

3.3.1 Industrie sucrière - SUCOBE

Le Bénin possède une industrie sucrière modeste dans la ville de Savé (150 km au Nord de Cotonou), appelée SUCOBE (Sucrière de Complant du Bénin SA). La société appartient à l'état du Bénin mais laissée en gestion à des investisseurs chinois. Le Tableau 3-6 ci-dessous donne un aperçu des principaux paramètres de production de l'entreprise.

Tableau 3-6 Données de production de SUCOBE

Surface de canne cultivée (ha)	5 000	
Capacité de production de sucre (t/a)	40 000	
Capacité de production d'éthanol à 95% (m ³ /a)	4 200	
Année	2004	2005
Production de sucre (tonnes)	6 300	12 000
Production de mélasse (tonnes)	7 200	
Production d'éthanol à 95% (m ³)	1 500	2 500

Source: SUCOBE (2006)

A présent, toutes la mélasse produites par l'usine de sucre est déjà utilisée pour la production d'éthanol (95%). La plupart de l'éthanol est vendu aux industries

pharmaceutiques et de boissons au Bénin, et de petites quantités sont exportées vers le Togo. Le prix de référence pour 2006 est d'environ 600 FCFA/l.

L'industrie a été réhabilitée en 2002 mais n'a toujours pas opéré à pleine capacité depuis lors. Les raisons citées sont des problèmes techniques de l'usine de sucre, l'insuffisance de sucre de canne à cause de manque d'eau et de sols inadaptés. La saison de sucre de canne devrait durer au moins 5 mois, mais elle n'a duré que 3 mois en 2005.

Selon la direction, les problèmes sont structurels et il y a peu ou pas de potentiel pour des extensions de la production de canne. Il y a trop peu d'eau disponible dans la région pour l'irrigation dans la situation actuelle, encore moins pour la région étendue. A part cela, il n'y a pas d'espace pour une extension à proximité de l'usine de Savé. Comme base pour un secteur de l'éthanol, l'industrie sucrière actuelle est très limitée au vu de ses capacités.

3.3.2 Manioc

Disponibilité des matières premières

Le manioc est de loin la culture la plus importante au Bénin. La production annuelle moyenne au cours de la période 2000-2004 était d'environ 2,8 millions de tonnes, avec un maximum de 3,6 millions de tonnes en 2003 (FAO, 2006). Par rapport à d'autres pays de la région, le Bénin est le producteur de loin le plus important : la production annuelle moyenne par habitant au Bénin (plus de 400 kilogrammes) est trois fois plus grande que celle du Togo.

Un grand avantage de manioc comme matière première est sa disponibilité durant toutes les saisons. Les niveaux de qualité (c.-à-d. teneur en amidon) et les niveaux des prix changent tout au long de l'année, mais les coûts de la matière première par unité d'éthanol sont plus ou moins stables.

Indépendamment de la consommation humaine, le manioc est employé pour la production de l'éthanol à différentes échelles de production :

- Une unité industrielle établie en 2003 (YUEKEN Bénin international SARL) emploie le manioc sec pour la production de l'éthanol industriel (95%). L'usine a une capacité de 3 000 m³/an mais fonctionne en dessous de sa capacité à cause de problèmes de fourniture de matière première, des coûts élevés de l'électricité et de problèmes de communication (YUEKEN, 2006). Notons que YUEKEN impose à ses fournisseurs la livraison de manioc séché.
- Une plus petite entreprise près de Cotonou (SOTABE) emploie le manioc des fermiers voisins pour produire de l'éthanol industriel (95%). La préparation, l'hydrolyse et la fermentation de matière première sont faites dans des processus nécessitant peu de technologie. La distillation est faite avec une petite unité semi industrielle d'origine russe d'une capacité de 15 l/h (SOTABE, 2006).

En ce qui concerne le potentiel de production à partir du manioc disponible au Bénin, si seulement 5% de la production existante pouvait être rendu disponible pour la production d'éthanol, la production annuelle serait d'environ 20 000 m³/an. Selon SOTABE (2006),

qui achète sa matière première des villages voisins, les fermiers pourraient très facilement augmenter leur production de manioc si une demande garantie existait.

Procédé de production

En raison de la disponibilité potentielle importante du manioc, il devrait être possible de produire l'éthanol à petite échelle et à des échelles plus grandes, par exemple entre 1 000 et 10 000 m³/an. La technologie à échelle réduite a l'avantage d'être accessible en terme de matière première nécessaires et du coût d'investissement. Une plus grande capacité de production aurait les avantages d'un coût d'investissement par unité plus faible et des rendements légèrement plus élevés.

Dans les deux tailles de production, le processus serait fondamentalement le même (voir également la Figure 2-1). Le manioc sera délivré, nettoyé et déchiqueté. La pulpe subira un traitement thermique et enzymatique d'hydrolyse, qui transforme l'amidon du manioc en sucres. La fibre de manioc (environ 5% du manioc) sera enlevée et peut être employée en tant que fourrage animal. La mâche est fermentée et puis distillée jusqu'à ce qu'un éthanol à 95% soit obtenu. Cet éthanol peut ou être employé en tant que tel, il peut être mélangé à un gélifiant et humidifié pour former le gel fuel ou il peut être déshydraté dans une usine anhydre d'éthanol. La chaleur exigée par le processus est produite par une chaudière à vapeur.

L'une ou l'autre usine fonctionnera sans interruption pendant au moins 10 mois par an (7 200 heures par an).

En ce qui concerne les intrants, les quantités exigées pour une petite production (1 000 m³/a) et une grande production d'éthanol (10 000 m³/a) sont présentées dans le Tableau 3-7 ci-dessous.

Tableau 3-7 Inputs des usines d'éthanol / gel fuel de 1 000 et 10 000 m³/a

	Unité	unités/m ³ éthanol	unités/a (1 000 m ³ /a usine)	unités/a (10 000 m ³ /a usine)
Matière première	tonnes	7,2	7 200	72 000
Chaleur	GJ	10	10 000	100 000
Electricité	kWh	150	150 000	1 500 000
Eau	m ³	10	10 000	100 000
Dénaturants				
MEK	kg	8,14	8 140	81 400
Bitrex	kg	0,01	10	100
Main d'oeuvre	etp	-	5	15
Gélifiant ^a	kg	17,0	19 000	190 000

^a Sur la base de 1 000 m³ d'éthanol (95%), environ 1 100 m³ de gel fuel (85%) peut être produit

- Matière première nécessaire - avec 140 litres d'éthanol par tonne de manioc frais, les quantités annuelles de matière première requises d'une usine d'éthanol de 1 000 t/an seraient d'approximativement 7 200 tonnes. La quantité quotidienne moyenne de manioc serait d'environ 20 tonnes.

- Besoins en énergie - avec une demande de chaleur de 10 MJ/l, les besoins annuels totaux en énergie seraient de 10 000 GJ. Ceci pourrait être produit dans une chaudière au bois d'une capacité de 400 kWth, brûlant approximativement 800 tonnes de bois. La consommation annuelle d'électricité, à 0,15 kWh par litre, serait de 150 000 kWh.
- Besoins en eau estimés à 10 litres par litre d'éthanol, c.-à-d. 10 000 m³/an ou 1 400 litres par heure.
- Autres intrants - en particulier : enzymes et levure. Il est difficile d'établir les montants exigés, car ils dépendront des caractéristiques de la matière première, du prétraitement de la matière première et de la technologie utilisée.
- Dénaturants - par exemple 1% (poids) de MEK (8,14 t/an) et 10 g de Bitrex par m³ (10 kg/an).
- Gélifiant - par exemple 2% (poids) de Bermocol (19 t/an).
- Besoins en main-d'œuvre - estimés à 5 personnes pour une unité de 1 000 m³/an et 15 personnes pour une unité de 10 000 m³/an.

Logistique

Les besoins de stockage du manioc seront limités, étant donné que le manioc est disponible pendant toute l'année. Seulement plusieurs semaines de production comme tampon seront nécessaires en cas d'interruption d'approvisionnement, par exemple en raison des problèmes de transport. Pour la même raison, le stockage de l'éthanol/du gel fuel peut être limité tant qu'il y aura un approvisionnement continu en éthanol pour satisfaire la demande du marché. La capacité de stockage de plusieurs semaines de production devrait être disponible en cas d'interruption de la demande, par exemple en raison des problèmes de transport.

En raison de la grande quantité de manioc produit au Bénin, les distances d'approvisionnement peuvent être limitées, en particulier avec les technologies de production à petite échelle. Pour une usine de 1 000 m³/an, la fourniture de manioc serait très régionale :

- Une usine d'éthanol de 1 000 t/an exigerait approximativement 7 200 tonnes de manioc (frais) par an.
- Avec un rendement annuel de manioc par ha d'environ 12 tonnes (FAO, 2006), la superficie exigée pour la production de matière première serait de 600 ha.
- Dans une région où 10% de toute la surface est couverte par le manioc, et où 10% de toute la production de manioc serait fournie pour la production d'éthanol, la plus longue distance entre le champ et l'usine serait de 14 kilomètres.
- Pour une unité de production d'éthanol de 10 000 t/an, la plus longue distance serait d'environ 45 kilomètres. Les frais de transport commenceraient à s'ajouter aux coûts de matière première, d'autant plus que la majeure partie de la matière première devra être collectée à de plus grandes distances.

3.3.3

Pomme d'anacardier

Selon Badarou (2006), la production annuelle d'anacarde au Bénin est d'environ 40 000 tonnes. La production est concentrée dans la région centrale du pays. Les pommes d'anacardier, approximativement 4 fois ce montant (160 000 t/a), ne sont habituellement pas utilisées et jetées.

Selon INRAB (2006), un projet est en cours actuellement pour l'utilisation de la pomme d'anacardier comme matière première pour la production d'éthanol de consommation (50% vol). Le projet vise les aspects techniques et moins les autres aspects (économiques, échelle de production, logistique de la matière première, etc.).

Il y a plusieurs inconvénients dans le fait d'employer les ressources de pomme d'anacardier pour la production d'éthanol (à grande échelle), en particulier liés à la faible teneur en sucre du fruit et du coût de la collecte. Avec un rendement d'éthanol de 30 l/t des pommes fraîches, le potentiel de production d'éthanol de toutes les pommes combinées serait juste en dessous de 4 800 m³/an. Cependant, en assumant un taux plus réaliste de collecte (par exemple 50%), le potentiel de production serait autour de 2 400 tonnes par an. Ceci n'est pas comparable au rendement élevé et au potentiel élevé du manioc.

3.3.4 Autres matières premières

- En dépit des grandes quantités d'ananas cultivées au Bénin, le secteur de transformation de fruits est petit (quatre petites entreprises produisant du jus d'ananas). L'analyse plus poussée de cette matière première n'est pas envisagée car le problème de la collecte se poserait.
- En comparaison à la production annuelle du manioc, la production d'autres récoltes amidonnées telles que le maïs et le sorgho est relativement limitée (843 et 164 kilotonnes/an respectivement en 2004 (FAO, 2006)). Selon Badarou (2006) il y a une concurrence féroce entre les utilisations pour la consommation humaine et l'alimentation des animaux. L'utilisation comme matière première pour l'éthanol pourrait aggraver cette situation et n'est pas recommandée.
- L'introduction du sorgho doux comme remplacement de la canne à sucre pourrait être considérée. Le sorgho doux exige moins d'eau et se développe sur un sol de qualité inférieure, bien que les rendements par hectare puissent être inférieurs à celui de la canne à sucre. Son utilisation exigerait une étude agronomique comparative entre la production de la canne de sorgho et de la canne à sucre.

3.4 Evaluation financière

3.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des coûts d'investissement pour les usines d'éthanol (petite et grande taille), de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 3-8 ci-dessous. Les estimations sont basées sur les chiffres réels d'investissement de diverses études antérieures et sur des valeurs issues de la littérature (Visser et al (2005), Mostert (2005), Shapouri et Gallagher (2005)). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 3-8 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
Petite échelle			
Capacité (m ³ /an)	1 000	1 118	953
Investissements (kFCFA)	314 400	379 900	337 325
Grande échelle			
Capacité (m ³ /a)	10 000	11 176	9 529
Investissements (kFCFA)	2 620 000	2 685 500	2 642 925

Note : la capacité l'usine de production de gel fuel et de biocarburant est basée sur le rendement de production de l'usine de l'éthanol (95%). Comme le gel fuel a une teneur inférieure en éthanol et le biocarburant une teneur plus élevée, les productions annuelles sont respectivement légèrement supérieures/inférieures que pour l'usine de production d'éthanol (95%).

3.4.2 Coûts de production

Une vue d'ensemble des différents coûts de production de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre pour la petite et la grande capacité de production est donnée dans les Tableaux 3-9 et 3-10 ci-dessous. Les données sur les coûts par unité des différents postes ont été en partie recueillies pendant cette étude et en partie pendant des études antérieures (Visser et autres (2005), Mostert (2005), Shapouri et Gallagher (2005)).

Tableau 3-9 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (petite échelle)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	1 000	1 118	953
Matière première	107,1	95,9	112,4
Energie et eau	67,4	60,3	70,7
Autres entrées	19,0	72,7	13,6
Main d'oeuvre	6,3	5,6	6,6
Maintenance	9,4	9,1	12,0
Frais de capital	62,6	60,1	79,4
Coûts de production HT	271,9	303,6	294,7
Emballage et distribution	42,5	47,6	1,7
Coût de production vendu HT	314,4	351,2	296,5
Coût de production vendu TTC	371,0	414,5	349,9
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	18,4	21,9	16,4

Tableau 3-10 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (gr. échelle)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	10 000	11 176	9 529
Matière première	114,3	102,3	119,9
Energie et eau	67,4	60,3	70,7
Autres entrées	19,0	72,7	13,6
Main d'oeuvre	1,6	1,4	1,6

Maintenance	7,9	7,1	8,5
Frais de capital	52,2	47,1	56,2
Coûts de production HT	262,3	290,8	270,5
Emballage et distribution	41,3	46,0	1,7
Coût de production vendu HT	303,7	336,9	272,3
Coût de production vendu TTC	358,3	397,6	321,3
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	17,8	21,0	15,0

- Les coûts du manioc sont basés sur les prix en gros réels (15 000 FCFA/t). En raison des coûts élevés de transport pour la fourniture de la matière première, 1 000 FCFA/t sont ajoutés dans le scénario à grande échelle.
- Les coûts de la chaleur (énergie) (5 000 FCFA/GJ) sont basés sur des prix réels du bois de chauffage. Les coûts d'électricité sont basés sur les prix courants de l'électricité du réseau (88 FCFA/kWh).
- Les coûts de l'eau sont basés sur les prix réels de l'eau (415 FCFA/m³).
- La maintenance annuelle est égale à 3% du coût d'investissement.
- Les niveaux des prix pour les dénaturants et les produits chimiques (autres) sont basés sur Visser et autres (2005) et Mostert (2005).
- Les coûts de la main-d'œuvre sont basés sur les salaires moyens plus les avantages (96 000 FCFA/mois).
- Les frais financiers (de capital) sont calculés à annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de distribution incluent le transport jusqu'à 50 kilomètres (à un prix de 46 FCFA/t.km) et une marge de distributeur pour l'éthanol (95%) et le gel fuel de 12%.

Les tableaux montrent la situation suivante :

- La majorité de coûts de production sont des coûts de matière première. Pour la production d'éthanol (95%) et de biocarburant, ils expliquent environ 40-45% de coûts de production. Pour le gel fuel ils vont jusqu'à 35%.
- D'autres postes importants de coût sont les frais financiers (environ 15-20% pour la grande usine et 20-25% pour l'usine plus petite) et les coûts énergétiques (20-25% de coûts de production).
- Dans le prix du gel fuel, « autres intrants » est un poste très important, comportant environ 25% des coûts de production. Ceci est causé par le niveau de prix élevé du gélifiant.
- Les marchés des combustibles domestiques (éthanol, gel fuel) sont ceux sur les marchés de consommateurs, exigeant des coûts considérables pour l'emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant ceci est limité au transport, ayant pour résultat des niveaux de prix beaucoup plus réduits.

3.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 3-11 ci-dessous montre les niveaux des prix calculés de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant, et les niveaux de prix réels du kérosène, du butane et de l'essence.

Tableau 3-11 Prix des combustibles conventionnels et les combustibles à base d'éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	358	398	385	400	321	450
CFA/MJ (TTC)	17,8	21,0	10,9	8,7	15,0	13,6
CFA/MJ (HT)	15,0	17,8			12,7	

^a Les niveaux des prix combustibles à base d'éthanol excluent les droits d'accises

Les prix des combustibles à base d'éthanol incluent la production, la distribution et la TVA et peuvent être considérés en tant que niveaux minima de prix du marché pour le producteur.

Des données du tableau, on peut conclure ce qui suit :

1. Le niveau des prix du gel fuel est approximativement 18% supérieur à celui de l'éthanol (95%).
2. Le niveau des prix de l'éthanol (95%) est deux fois celui du gaz de butane (103% plus haut), sur une base énergie-pour-énergie et 63% plus haut que celui du kérosène.
3. Le niveau des prix du gel fuel est 140% plus haut que celui du butane et 92% au-dessus de celui du kérosène.
4. L'indication de niveau des prix du biocarburant est 11% au-dessus de celui de l'essence, sur une base énergie-pour-énergie.

Les comparaisons des niveaux de prix sont faites sur base des prix réels du gaz de butane sur le marché. Comme indiqué dans la section 3.2.2, ces prix sont considérablement inférieurs aux prix du gaz butane non-subsventionnée dans les autres pays de l'UEMOA (en moyenne 608 FCFA/kg). En utilisant ce chiffre dans la comparaison, le prix du gaz de butane serait de 13,3 FCFA/MJ ; le niveau des prix de l'éthanol (95%) serait alors 34% plus haut.

En outre, le niveau des prix de l'éthanol anhydre (biocarburant) est significativement plus élevé que les prix actuels des combustibles domestiques ; ce qui signifierait qu'un producteur d'éthanol vendrait plus tôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tels, le prix (par MJ) de l'éthanol comme substitut au butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l'éthanol anhydre en tant que biocarburant. La valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 36% en dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant. Une comparaison avec le niveau des prix non-subsventionnée estimé donnerait 4%.

Analyse de sensibilité

Les Figures 3-1 à 3-3 montrent la sensibilité des niveaux de prix du marché (TTC) de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant suivant les variations possibles des coûts de la matière première, du coût des investissements et des coûts énergétiques. Cela concerne les niveaux des prix pour la grande capacité de production.

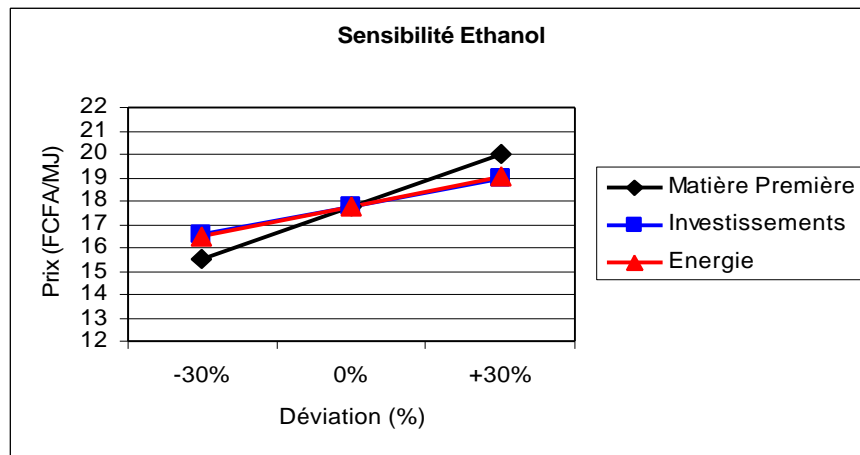


Figure 3-1 Analyse de sensibilité pour la production d'éthanol

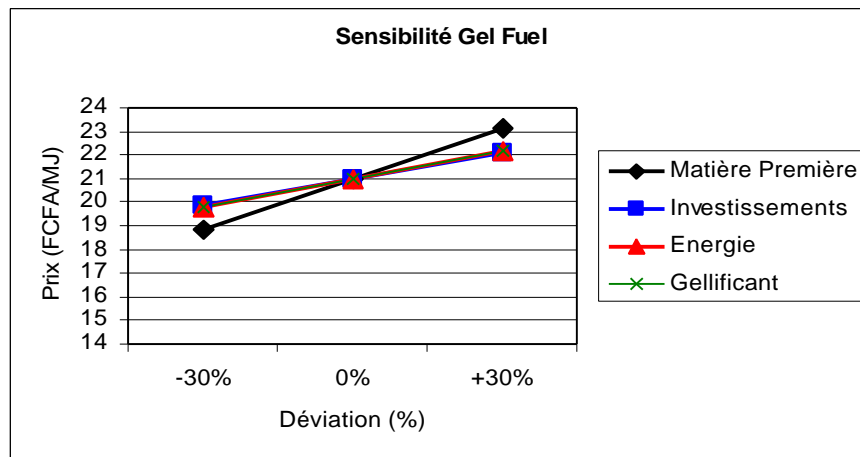


Figure 3-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

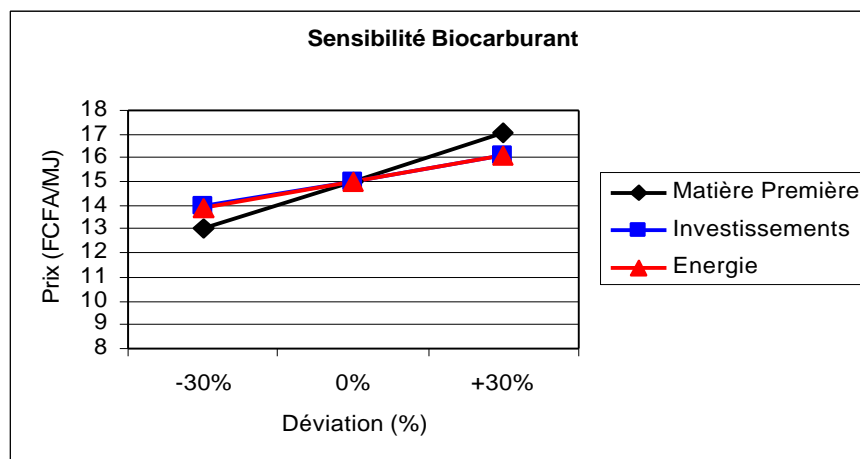


Figure 3-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

- Pour chacun des trois produits, la sensibilité aux coûts de la matière première est la plus importante. La raison est la contribution relativement élevée des coûts de la matière première par rapport à tous les coûts de production. Les déviations de 30% provoquent des changements de 10-13% des niveaux de prix du marché éventuel.

- La sensibilité aux déviations pour les autres paramètres est plus petite, c.-à-d. 5-7% pour des déviations dans le coût des investissements, l'énergie et le gélifiant (gel fuel).
- Les niveaux des prix du biocarburant sont égaux à ceux de l'essence quand les niveaux des prix de matière première chutent de 22% (c.-à-d. à environ 12 500 FCFA/t de manioc frais, livré à l'usine).

Indicateurs financiers

Le Tableau 3-12 ci-dessous présente les coûts d'investissement, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et les revenus (net des coûts de distribution et de TVA) des usines de grande taille, en supposant que les prix de vente seront constants ⁷.

Tableau 3-12 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	2 620 000	2 685 500	2 642 925
Coûts de production (net des frais financiers)	2 101 086	2 724 512	2 042 582
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	2 623 126	3 251 120	2 577 674
Flux de trésorerie annuel net	522 040	526 608	535 091
TRI	15%		
TRS	5,0		

Noter que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Des revenus plus élevés et donc des niveaux du TRI plus conséquents, peuvent être réalisés quand des produits sont vendus sur les marchés les plus rémunérateurs. L'éthanol (95%) a par exemple une valeur marchande (en gros) d'au moins 400 FCFA/l au Bénin, une fois vendu sous le nom d'éthanol industriel à l'industrie pharmaceutique. Le niveau de TRI monterait alors à plus de 30%.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus attractifs que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par un subside ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couvert par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants présente des avantages économiques de grande importance pour le Bénin dans l'ensemble.

⁷ Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

- Dépendance réduite sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut remplacer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ de l'éthanol anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence. Des substitutions combustibles fossiles par 20 000 m³/an d'éthanol sont réalisables (Tableau 3-13) ci-dessous.
- Réduction des devises étrangères dépensées sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 155 FCFA de dépense de forex sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 162 FCFA de dépense de forex sur l'essence. L'épargne totale de forex sur 20 000 m³/an d'éthanol est montrée dans le Tableau 3-13 ci-dessous.
- Impulsion économique pour le secteur agricole. La valeur de la matière première nécessaire pour 20 000 m³/an d'éthanol est approximativement de 2,2 milliards de FCFA.
- Création d'emploi, dans le secteur de production d'éthanol mais particulièrement dans le secteur agricole.

Tableau 3-13 Remplacement de combustibles fossiles et forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m ³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz butane	441	8 827	128	1 130
Gel fuel	Gaz butane	415	9 267	120	1 114
Biocarburant	Essence	644	12 280	162	1 994

3.5

Conclusions

Le manioc est le type de matière première le plus approprié pour la production d'éthanol/gel fuel au Bénin. La production annuelle moyenne était ces dernières années de 2,8 millions de tonnes. Si seulement 5% de cette quantité pouvait être rendu disponible pour la production d'éthanol, la production annuelle d'éthanol pourrait être d'environ 20 000 m³. Le manioc est disponible tout au long de l'année.

L'éthanol, le gel fuel et/ou biocarburant peuvent être produits à petite (~1 000 m³/an) ou grande échelle (~10 000 m³/an). Les prix minimum du marché de l'éthanol et du gel fuel sont considérablement inférieurs aux prix courants sur le marché du butane (103% et 140%, respectivement). Comparé aux prix du gaz butane non subsidié dans d'autres pays de l'UEMOA, le niveau des prix de l'éthanol est toujours 39% plus élevé. L'introduction de l'éthanol /gel fuel sur le marché des combustibles domestiques exigera des réductions substantielles des coûts de production ou un appui structurel (impôt et/ou subvention).

Les premières indications prouvent que l'éthanol anhydre est presque concurrentiel avec l'essence, avec le niveau des prix (en gros) qui est juste 11% au-dessus des prix actuels de l'essence.

4 EVALUATION PAYS : LE BURKINA FASO

4.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

- Situation : Afrique Subsaharienne, enclavé. 274 000 km². Capitale : Ouagadougou.
Climat : Chaud, très sec à aride.
Population : 11 millions d'habitants, urbanisés à 18% ; densité de population : 40 hab./km².
Economie : PIB par habitant : Fluctue autour de 230 US\$ depuis 1995. Pouvoir d'achat : 965 \$/hab.

Le Burkina Faso dispose de quelques ressources hydroélectriques. Le pétrole est entièrement importé. La biomasse représente plus des deux tiers de l'approvisionnement énergétique.

Les Institutions et Politique Energétique

En fonction de la source d'énergie (électricité, biomasse, produits pétroliers, etc) et du niveau décisionnel ou d'intervention (définition ou exécution de la politique globale ou sectorielle, importation, distribution, recherche-développement), les acteurs institutionnels du secteur de l'énergie sont multiples ; entre-autres on note :

- Le Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie
- Le Ministère de l'Economie et du Développement
- Le Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie
- Le Ministère du Commerce, de la Promotion de l'entreprise et de l'Artisanat

-
- Le Ministère des Finances et du Budget
 - Le Ministère des Enseignements Secondaire, Supérieur et de la Recherche Scientifique
 - Le Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
 - Le Comité Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS) notamment à travers son Programme Régional de promotion des Energies Domestiques et Alternatives au Sahel (PREDAS)
 - La Société Nationale Burkinabé d'Hydrocarbures (SONABHY)
 - La Société Nationale Burkinabé d'Electricité (SONABEL)

La Direction Générale de l'Energie du Ministère des Mines, des Carrières et de l'Energie a la responsabilité du secteur de l'énergie et s'occupe de l'élaboration et de la mise en œuvre des plans énergétiques et du respect des lois et réglementations du secteur. La Société Nationale d'Electricité du Burkina, SONABEL, société d'état, est la compagnie électrique nationale. La compagnie publique SONABHY d'approvisionnements pétroliers est sous la tutelle du Ministère chargé du Commerce. Le Ministère de l'Economie et des Finances a la tutelle financière des deux sociétés d'Etat. SONABHY a le monopole de l'importation et du stockage des produits pétroliers. La distribution est assurée par des filiales de multinationales (Total, Shell, Mobil, Elf) et une compagnie locale (Tagui).

4.2 Le marché des énergies domestiques

4.2.1 Analyse de l'offre et de la demande

La population actuelle du Burkina Faso est estimée à 13 117 100 habitants dont 80% de ruraux.

Consommations globales des combustibles domestiques

Selon le bilan énergétique de 1996, la consommation énergétique finale du Burkina s'évaluait à environ 1 857 600 Tonnes Equivalent Pétrole (TEP) repartis comme suit :

- Energies traditionnelles = 1 646 900 TEP soit 89% ;
- Hydrocarbures = 182 950 TEP soit 10% ;
- Electricité = 21 391 TEP soit 1%.

En 2004, ce bilan était le suivant :

- Energies traditionnelles : 84% de la consommation finale
- Hydrocarbures : 14% de la consommation finale
- Electricité : 2% de la consommation finale du aux industries

Malgré les difficultés que pose la comptabilisation précise des énergies traditionnelles, il ressort selon les estimations que l'énergie traditionnelle couvre 97% des besoins énergétiques des ménages. Ce constat de la prédominance des énergies traditionnelles s'observe aussi bien en zone rurale qu'en zone urbaine. Par ailleurs, en 1996 la consommation du charbon de bois concernait près de 4 834 638 habitants (FAO, 2004).

Les combustibles ligneux

Le bois de chauffe et charbon de bois constituent la quasi-totalité des combustibles utilisés par les ménages. Le fait que le bois est collecté voire coupé à la campagne ne doit pas faire oublier que la consommation se fait surtout dans les villes, avec une tendance croissante.

- Le bois de chauffage (ou bois de feu) de petite ou de grande taille est issu des forêts naturelles ou de forêts artificielles (Projet BKF, Wayen, Projet UNSO, etc).
- Le charbon de bois, résidu solide dérivé de la carbonisation, distillation, pyrolyse et torréfaction du bois (du tronc et des branches) et des dérivés ligneux provenant de systèmes de production traditionnelle.

Tableau 4-1 Projection de la demande de bois de chauffe (en tonnes)

Année	Domest.	Dolotières	Restau	Grilleurs	Fondeurs	Totaux
2004	574 188	69 667	18 130	18 416	5 317	685 718
2005	627 473	76 150	19 810	20 126	5 786	749 544
2006	685 702	83 191	21 650	21 991	6 340	818 873
2007	749 336	90 923	23 660	24 030	6 892	984 840
2008	818 874	99 372	25 860	26 265	7 530	977 900
2009	984 865	108 592	28 250	28 696	8 251	1 068 654
2010	977 909	118 662	30 830	31 364	5 317	1 167 823

Source : Somé (2006)

Les résidus agricoles & agropastoraux

Ces résidus sont effectivement utilisés en milieu rural comme combustible périodique (après les récoltes ou la matière est abondante) ; toutefois, des stocks en réserve conservés sur des hangars servent à allumage du feu. On rencontre généralement :

- Les tiges de mil, de céréales, et de coton.
- Des brindilles issues de l'élagage des arbres des concessions ou du débroussaillage des champs (culture extensive).
- La bouse de vache en milieu nomade au Nord du pays pour les cuissons de longue durée ou pour même la conservation du feu.

Les briquettes combustibles

Une expérience pilote avait été tentée en 1994 à Boromo en zone cotonnière ; l'idée consistait en confection de briquettes combustibles issues de la récupération des tiges de coton qui étaient broyées et compactées en tubes pleins. Cependant, des facteurs sociologiques et économiques non pris en compte dans les modes de gestion paysans des résidus de récolte, et éventuellement, des questions de coûts d'exploitations et de marché n'ont pas permis à ce projet pilote de survivre. Des négociations de privatisation intégrale seraient en cours.

Les combustibles pétroliers

Ce sont surtout le gaz butane et le pétrole lampant, avec une faible utilisation pour le second au regard du coût du litre de pétrole (465 FCFA). L'utilisation du gaz est un phénomène quasiment urbain en raison des commodités qu'il offre (rapidité d'allumage, absence de fumée, propreté des ustensiles, effet sociologique de modernisme).

Tableau 4-2 Evolution de la consommation de gaz et de kérosène

Année	Gaz butane (t/an)	Kérosène (m ³ /an)
2000	8 459	36 899
2001	8 257	37 793
2002	8 966	40 995
2003	10 414	44 550
2004	12 509	34 084
2005	13 332	25 973

Source : SONABHY (2006)

Tableau 4-3 Taxes et subventions sur les prix du kérosène et du gaz

Année	Subventions		Taxes	
	Kérosène (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA /Kg)	Kérosène (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA /Kg)
2000	18,9	268,8	8,2	16,5
2001	9,4	189,9	10,7	19,9
2002	7,3	213,5	12,3	21,1
2003	0,8	218,0	10,8	21,5
2004	0	223,0	12,1	18,9
2005	0	295,1	22,4	23,4

Source : SONABHY (2006)

En réalité, le niveau d'utilisation du gaz par un ménage est fonction soit de sa taille ou de son revenu. Le phénomène est plus urbain que rural, notamment à Ouagadougou, Bobo-Dioulasso et les grands centres urbains. Accessoirement, son utilisation en campagne est l'œuvre d'agents de l'Etat ayant un certain niveau de revenu.

Evolution du marché des énergies au Burkina

Le tableau suivant retrace la croissance du marché avec une pénétration encore modéré du gaz et de l'électricité au niveau des ménages.

Tableau 4-4 Evolution annuelle de la demande d'énergie

Formes d'énergie	Taux d'accroissement moyen (%)
Électricité	4,36
Super / Essence	3,60
Jet / Pétrole	3,78
Diesel / Gasoil	3,57
Fuel oil	3,30
Gaz butane	4,39
Bois de feu	2,76
Charbon de bois	5,50
Déchets végétaux	2,72

Source: <http://www.org/esaagenda21/natlinfo/countr/burkfaso/natur.htm>

4.2.2 Le prix des énergies domestiques

Les combustibles ligneux

Il est quasi impossible de parler du prix des combustibles ligneux en milieu rural à cause du mode d'approvisionnement ; en revanche, en milieu urbain, la structuration du système d'approvisionnement et de distribution selon les deux grandes villes (Ouagadougou et Bobo-Dioulasso) et les dix villes moyennes, donne les valeurs suivantes.

Tableau 4-5 Structure des prix du bois en 2006

Villes	Bois (FCFA/kg)	Charbon (FCFA/kg)
Ouagadougou	45	70
Bobo-Dioulasso	35	50
Koudougou	25	30
Autres localités	20	25

Source : Somé (2006)

Les combustibles pétroliers

Tableau 4-6 Prix des produits pétroliers a la pompe à Ouagadougou (en FCFA/litre)

Années	Super	Essence	Pétrole	Gasoil	Gaz (par kg)
2000	454	399	244	311	280
2001	495	424	260	348	280
2002	529	460	263	377	320
2003	546	482	280	405	320
2004	581	-	354	441	320
2005	604	-	415	536	320

Source : SONABHY (2006b)

Tableau 4-7 Structure des prix du gaz au Burkina Faso en 2006

Conditionnement des bouteilles (en kg)	Prix (FCFA/bouteille)	Prix (FCFA/kg)
Bouteilles de 2,5 kg	715	286
Bouteilles de 6 kg	1 560	260
Bouteilles de 10,8 kg	3 460	320
Bouteilles de 12,5 kg	4 000	320
Bouteilles de 17,5 kg	8 750	500
Bouteilles de 32 kg	16 000	500
Bouteilles de 38 kg	19 000	500

Source : Somé (2006)

4.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Le Burkina Faso possède une longue expérience en matière de production d'éthanol à base de mélasse (cane à sucre). De même, le pays possède une expérience unique dans la sous région pour l'utilisation de l'éthanol comme énergie de cuisson avec le développement de cuisinière «Lafya » qui avait été vulgarisé dans la zone sud pays dans les années 1980 – 1990. Malheureusement, cette expérience a du être arrêtée car l'alcool fut trafiqué à des fins de boisson (SOPAL, 2006). D'autres sources ont indiqué plutôt une question de rentabilité et d'acceptabilité par les consommateurs.

A l'heure actuelle, l'éthanol produit par la SOPAL est plutôt réservé au domaine médical. Une relance de la filière éthanol combustible est théoriquement possible en alignant le prix de vente à celui du gaz butane comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 4-8 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	65	4,3
Charbon du bois	kg	27,0	100	3,7
Butane	kg	45,7	286	6,3
Kérosène	l	35,3	415	11,8
Essence	l	33,1	604	18,2
Gasoil	l	36,6	536	14,6
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	177	8,7
Gel fuel	l	19,0	166	8,7
Biocarburant	l	21,4	389	18,2

L'éthanol comme combustible domestique ne pourra pas substituer le charbon de bois ni le bois de feu à raison des prix (respectivement 3,7 et 4,3 FCFA par MJ) mais aussi des habitudes de cuisson alimentaire. De plus les équipements de cuisson nécessaires risquent d'écartier la frange de la population rurale et urbaine utilisant le bois de feu et le charbon de bois.

L'éthanol combustible domestique ne pourra pas non plus remplacer le kérosène en ce sens que ce dernier n'est pas une énergie de cuisson au Burkina Faso mais sert plutôt à alimenter les lampes en milieu rural et périurbain non électrifié.

4.3 Production potentielle

4.3.1 Industrie sucrière - SOSUCO / SOPAL

SOSUCO

L'industrie du sucre au Burkina Faso est située dans la région de Banfora, à 450 Km à l'ouest de Ouagadougou. L'industrie, établie par la Société Sucrière de la Comoé (SOSUCO), possède approximativement 4 000 ha dont 3 700 sont actuellement dédiés à la culture de cannes à sucre. La production totale de sucre en 2005 a été de 25 000 tonnes.

Tableau 4-9 Production de SOSUCO en chiffres

Zone de culture des cannes (ha)	3 700
Production de cannes (kt/a)	225-300
Production de sucre (2005) (tonnes)	25 000
Production de mélasse (2005) (tonnes)	8 196

Source: SOSUCO (2006)

L'usine sucrière fournit également de 8 000 tonnes par an (en moyenne) de mélasse. La plupart de celle-ci est utilisée pour la production d'éthanol (voir ci-dessous) et le surplus est vendu en tant que nourriture pour animaux ou retourné dans les champs de cannes.

SOPAL

La transformation de la mélasse en éthanol est effectuée par la Société de Production d'Alcools (SOPAL), branche spécialisée de SOSUCO. Une vue d'ensemble (en chiffre) de la production est présentée dans le Tableau 4-10 ci-dessous.

Tableau 4-10 Production de SOPAL en chiffres

Capacité de production (m ³ /a)	3 000	
Production effective (m ³ /a)	1 500	Ces dernières années
Mélasse utilisée à rendement maximal (t/a)	11 000	
Utilisation réelle (2005)	4 800	
Coût de la mélasse (FCFA/t)	18 000	
Coût de vapeur (FCFA/t)	8 000	6 bar, saturé, 200 °C
Coût de la production d'éthanol (96%) (FCFA/l)	425	Ethanol médicinal
Coût de production d'éthanol (93%) (FCFA/l)	150-200	Ethanol industriel

Source: SOPAL (2006)

Les causes principales de sous-production sont les problèmes techniques et à un manque d'approvisionnement en mélasse. Ce manque vient du faible rendement en mélasse de l'usine sucrière, surtout qu'une partie de celle-ci est vendue à haut prix en tant que nourriture pour animaux. En fin de compte, l'accroissement des possibilités de production est au mieux de 1,5 million de litres par an.

Environ 90% de l'éthanol produit est de l'éthanol médicinal (96%), le reste étant de l'éthanol industriel (93%). Le prix de vente de l'éthanol 93 est actuellement de 550 FCFA/l. Par le passé, SOPAL a toujours étudié avec soin les nouveaux marchés pour les produits issus de l'éthanol. Une introduction en tant que combustible domestique a été tentée, mais cela a été stoppé car les ménages consommaient une part trop importante de la production d'éthanol. Une discussion pour utiliser l'éthanol en tant que supplément d'essence a eu lieu avec la compagnie pétrolière burkinabaise SONABHY mais jusqu'à présent sans résultat concret pour des raisons qui ne nous sont pas données.

Extension des capacités de production d'éthanol

La capacité de production de SOSUCO est limitée par l'accès à l'eau pour l'irrigation. C'est pour cela que SOSUCO a acquis 5 000 ha de terres à environ 70 Km des autres sites actuels de production. Cependant, ces terrains n'ont pas encore été exploités car la distance est trop élevée pour effectuer un travail rentable.

Dans le contexte actuel, l'utilisation de ces terrains pour la production d'éthanol à partir de sucre de canne serait un moyen d'étendre la production d'éthanol à des fins énergétiques au Burkina Faso. Des cannes à sucre pourraient être plantées sur le site pour une production exclusive d'éthanol comme cela se fait, par exemple, au Brésil. Une estimation du rendement est de 4 000 l/ha ce qui donne une production globale d'éthanol sur 5 000 ha de 20 000 m³/a.

Processus de production

Le canne à sucre est récoltée, nettoyée puis écrasée dans l'usine afin d'obtenir le jus de canne qui sert pour la production de sucre. La mélasse, résidu de la transformation du jus en sucre est transformé en l'éthanol. Après distillation, l'éthanol peut être dénaturé et emmagasiné comme tel ou être transformé en gel ou encore être déshydraté pour former de l'éthanol anhydre.

L'électricité et la chaleur seront assurées à partir d'une unité de cogénération à partir de la bagasse. Cela générera une surcapacité considérable d'énergie ce qui peut permettre de vendre l'excès d'électricité au réseau électrique national.

Produits nécessaires au processus

Le Tableau 4-11 ci-dessous donne une vue d'ensemble des produits nécessaires à une usine produisant 20 000 m³/a d'éthanol.

Tableau 4-11 Entrées d'une usine d'éthanol / gel fuel (20 000 m³/an)

	Unité	unités/m³ éthanol	unités/a
Matière première	tonnes	12,5	250 000
Chaleur	GJ	5	100 000
Electricité	kWh	150	3 000
Eau	m ³	10	10 000
Dénaturants			
MEK	kg	8,14	162 800
Bitrex	kg	0,01	200
Main d'oeuvre	etp	-	20
Gélifiant ^a	kg	17,0	380 000

^a Sur la base de 1 000 m³ d'éthanol (95%), environ 1 100 m³ de gel fuel (85%) peut être produit

- Besoins en matières premières - en obtenant 80 litres d'éthanol par tonne de sucre de canne, les besoins annuels en matières premières pour produire 20 000 m³ d'éthanol sont approximativement de 250 000 tonnes.
- Besoins en énergie - pour une exigence en chaleur de 5 MJ/l, les besoins énergétiques annuels totaux sont de 100 000 GJ. La consommation annuelle d'électricité, pour 0,15 kWh par litre serait de 3 000 000 kWh. La chaleur et l'énergie peuvent être générées sur place en utilisant la bagasse de canne à sucre.
- Besoins en eau - en estimant à 10 litres d'eau consommée pour produire 1 litre d'éthanol, on obtient 10 000 m³ d'eau par an soit 1 400 litres par heure.
- Autres besoins pour le processus - particulièrement les produits chimiques et des levures.
- Dénaturants - par exemple 1% de MEK (8,14 t/a) et 10 g de Bitrex par m³ (10 kg/a).
- Gélifiant - Par exemple 2% de Bermocol (380 t/a).
- Besoins en main-d'œuvre - estimation à 20 personnes.

Sous-produits

La bagasse est la fibre issue de la canne après qu'elle soit écrasée. Si le taux d'obtention de bagasse est de 30% par tonne de canne à sucre, on obtient une production annuelle d'environ 75 000 tonnes. Si elle était brûlée dans une usine de cogénération, cela pourrait

produire environ 5 MWe ou 25 000 MWh par an. C'est un multiple de la puissance qui est employé pour la production d'éthanol ; le surplus pouvant être vendu au réseau national.

La vinasse est le résidu après la distillation. Elle peut être utilisée dans les champs de cannes comme fertilisant comme cela se fait au Brésil.

4.3.2 Autres matières premières

- Le Burkina Faso a une modeste production de fruits tels que bananes, goyaves et mangues. Un secteur de traitement des fruits existe, produisant quelques centaines de tonnes de mangue séchée chaque année. Du fait de la taille limitée de cette industrie, aucune analyse plus poussée n'a été effectuée.
- Plusieurs types de produits contenant de l'amidon sont produits au Burkina Faso en particulier le sorgho, le mil et le maïs (respectivement 1 300, 900 et 500 kt par an en moyenne dans la période 2000-2004). Cependant ces récoltes sont dédiées à la nourriture. Indépendamment des prix qui sont relativement hauts, les utiliser comme matières premières pour l'éthanol pourrait empiéter sur la production alimentaire et est pour cela peu recommandée.
- Le sorgho sucré peut être considéré comme un produit de substitution de la canne à sucre malgré son rendement plus faible en culture. Cependant, le pays ne possède pas d'expérience avec le sorgho sucrier.
- D'autres possibilités existent dans la Vallée du Sourou pour le développement de cultures aptes à soutenir une filière éthanol.
- Il est important de noter également le projet de la SN CITEC du groupe DAGRIS qui tente de mettre sur place une unité de transformation de la graine de coton en biodiesel d'une capacité de 10,000 tonnes.

4.4 Evaluation financière

4.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des coûts des investissements pour les usines d'éthanol, de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 4-12. Les estimations sont basées sur les chiffres réels d'investissement de diverses études antérieures et sur des valeurs issues de la littérature (Visser et al (2005), Shapouri et Gallagher (2005)). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 4-12 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
Capacité (m ³ /an)	20 000	22 353	19 057
Investissements (kFCFA)	5 240 000	5 305 500	5 331 700

Note: les coûts d'investissement pour une unité de cogénération, pour la production de la vapeur et de l'électricité, ne sont pas inclus dans les chiffres présentés. Ces coûts sont inclus dans les prix de l'électricité et de la chaleur présentée ci-dessous.

4.4.2 Coûts de production

Une vue générale des coûts des composants de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre est fournie dans le tableau 4-13. Noter que les volumes de production de gel fuel et du biocarburant sont basés sur celui de l'éthanol qui forme une partie intégrale pour chaque processus de production. A cause des différents taux d'éthanol dans les produits finis, la quantité produite théorique varie (de 19 057 m³/a pour le biocarburant à 22 353 m³/a pour le gel fuel). Cela est également mis en valeur dans les coûts par litre.

Tableau 4-13 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	20 000	22 353	19 057
Matière première	162,5	145,4	170,5
Energie et eau	29,5	26,4	31,0
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	1,1	1,0	1,1
Maintenance	7,9	7,2	8,4
Frais de capital	52,2	47,5	55,5
Coûts de production HT	261,2	290,3	268,5
Emballage et distribution	41,5	46,3	2,0
Coût de production vendu HT	302,6	336,6	270,5
Coût de production vendu TTC	357,1	397,2	319,2
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	17,7	21,0	14,9

Les données des prix unitaires des différents inputs ont été collectées au cours de cette étude et au cours d'études précédentes (Visser et al (2005), Shapouri & Gallagher (2005)) et diverses autres sources.

- Les coûts de la canne à sucre sont estimés à 13 000 FCFA/t. Cela correspond à la moyenne des prix au Mali et en Côte d'Ivoire (FAO, 2006).
- La chaleur et l'électricité sont générées à partir de la bagasse, provoquant des prix plus bas que ceux payés par SOPAL. Les valeurs sont basées sur les prix de l'industrie sucrière sénégalaise : La production de chaleur est fixée à 4 000 FCFA/GJ, celle de l'électricité à 30 FCFA/kWh.
- Les autres besoins concernent les produits chimiques ainsi que les dénaturants. Les coûts ont été estimés à partir de Visser et al (2005).
- Les coûts de la main-d'oeuvre sont basés sur les salaires moyens plus les avantages (71 000 FCFA/mois)
- La maintenance annuelle représente 3% des coûts d'investissement.
- Les frais financiers sont calculés à l'annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de distribution incluent le transport, jusqu'à 100 km pour l'éthanol (95%) et le gel fuel, et 200 km pour le biocarburant, à un prix de 26 FCFA/t/km. La marge des distributeurs pour l'éthanol et le gel fuel est de 12%.

Les tableaux montrent la situation suivante :

- La majorité de coûts de production sont des coûts de matière première. Pour la production d'éthanol (95%), elles sont responsables de 62% des coûts de production. Pour le gel fuel et le biocarburant, elles le sont respectivement de 50% et 64%.
- Dans le prix du gel fuel, « Autres entrées » prend une part importante (22% des coûts de production). Cela est dû au prix élevé du gélifiant.
- Les marchés des combustibles domestiques (éthanol, gel fuel) sont des marchés de consommation nécessitant des coûts importants pour l'emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant, cela se limite aux coûts de transport.

Noter que les coûts de production et les prix indiqués dans les tables ne prennent en compte aucun bénéfice issu des sous-produits, bénéfiques pouvant être substantiels. Par exemple, Bullock (2002) estime que les revenus des sous-produits, telle que l'électricité issue de la cogénération, peuvent mener à une réduction de 33% des prix des cannes à sucre s'ils sont déduits des coûts des matières premières.

4.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 4-14 fournit les indices des prix de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant ainsi que les prix actuels du kérosène, du butane et de l'essence. Les prix des combustibles à base d'éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 4-14 Prix des combustibles conventionnels et des combustibles à base d'éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	357	397	415	286	322	604
CFA/MJ (TTC)	17,7	21,0	11,8	6,3	15,1	18,2
CFA/MJ (HT)	15,0	17,8			12,6	

^a Les niveaux des prix combustibles à base d'éthanol excluent les droits d'accises

Des données du tableau, on peut conclure ce qui suit :

1. Le niveau des prix du gel fuel est approximativement 18% supérieur à celui de l'éthanol (95%).
2. Le niveau des prix de l'éthanol (95%) est de 27% supérieur à celui du marché actuel du kérosène (si on se base sur le niveau énergétique) mais de 183% supérieur à celui du butane. Pour le gel fuel, ces valeurs sont de 51% (par rapport au kérosène) et de 235% (relativement au butane)
3. L'indication du niveau des prix du biocarburant est 17% au-dessus de celui de l'essence, sur une base énergie-pour-énergie.

L'importante différence de prix entre les combustibles à base d'éthanol domestiques et le butane peut s'expliquer par les coûts de production des premiers et le niveau de prix du marché du second. Les coûts de production de l'éthanol issu de la canne à sucre sont considérablement plus élevés que ceux de l'éthanol produit à partir de mélasse (cf. niveaux de prix des marchés maliens et sénégalais). D'un autre côté, les niveaux de prix

du butane au Burkina Faso se classent parmi les plus bas de la région de l’UEMOA ; Ils sont moitié moindres que ceux de la Guinée Bissau et du Niger. Si le butane était subventionné (295 FCFA/kg, cf. Tableau 3-4), les indices des prix de son marché augmenteraient jusqu’à 581 FCFA/kg (soit 12,7 FCFA/MJ) et la différence de prix entre l’éthanol (95%) et le butane serait de 39%.

En outre, le niveau des prix de l’éthanol anhydre (biocarburant) est significativement plus élevé que les prix des combustibles domestiques. Un producteur d’éthanol vendrait plus tôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tel, le prix (par MJ) de l’éthanol comme substitution au butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l’éthanol anhydre en tant que biocarburant. La valeur de l’éthanol comme combustible domestique serait 66% au-dessous de la valeur de l’éthanol en tant que biocarburant. Aligné sur le niveau des prix du butane non-subventionnée estimé, ce rapport serait de 30%.

Cependant, le niveau de prix minimal estimé pour le bioéthanol est inférieur à celui de l’essence (par rapport à l’énergie dégagée). Si le biocarburant pouvait être vendu au même prix (18,2 FCFA/MJ), son prix serait de 389 FCFA/l.

Analyse de sensibilité

Les Figures 4-1 à 4-3 montrent la sensibilité des niveaux de prix du marché (TTC) de l’éthanol, du gel fuel et du biocarburant pour des déviations des coûts de la matière première, du coût d’investissement et des coûts énergétiques.

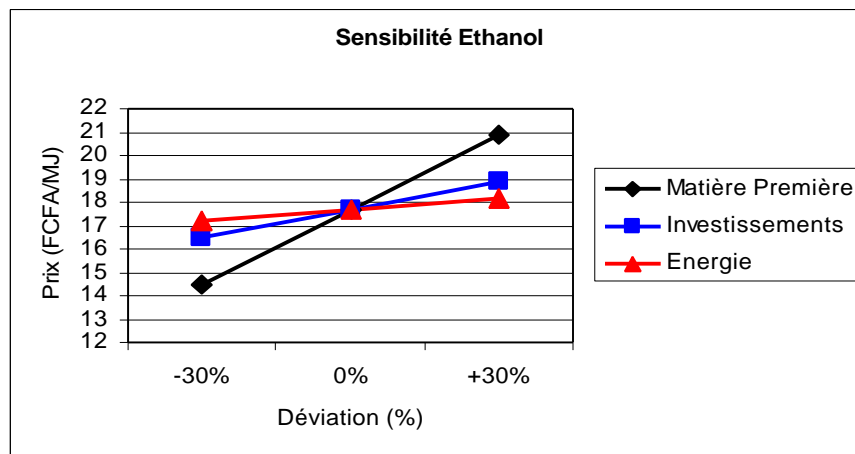


Figure 4-1 Analyse de sensibilité pour la production d’éthanol

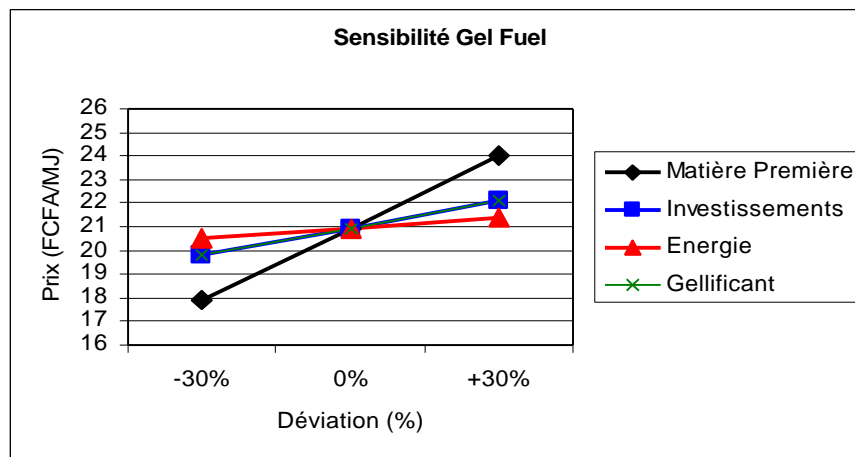


Figure 4-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

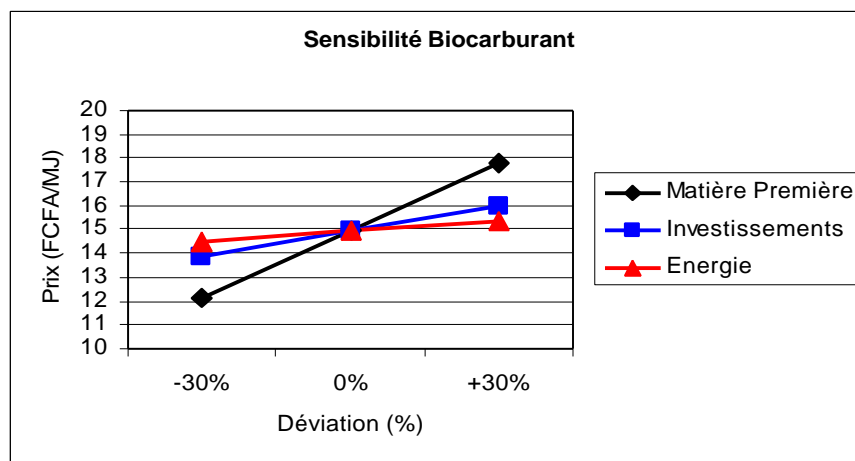


Figure 4-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

- Pour chacun des trois produits, la sensibilité aux coûts de la matière première est la plus importante. Une variation de 30% provoquerait des changements de 15-20% des niveaux de prix du marché éventuels.
- La sensibilité par rapport aux autres paramètres est plus petite, c.-à-d. 6-7% pour des variations du coût des investissements et du gélifiant (gel fuel). La sensibilité au coûts de l'énergie est encore plus faible.

Indicateurs financiers

Le Tableau 4-15 ci-dessous présente les coûts des investissements, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et les revenus (net des coûts de distribution et de TVA), en supposant que les prix de vente seront constants⁸.

⁸ Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

Tableau 4-15 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	5 240 000	5 305 500	5 331 700
Coûts de production (net des frais financiers)	4 179 467	5 427 895	4 060 495
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	5 223 548	6 490 247	5 117 627
Flux de trésorerie annuel net	1 044 081	1 062 352	1 057 132
TRI	15%		
TRS	5,0		

Noter que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Des revenus plus attractifs et donc des niveaux plus élevés du TRI, peuvent être réalisés quand des produits sont vendus au sous secteur le plus offrant. Par exemple, l'éthanol anhydre pourrait être vendu au prix de 389 FCFA/l comme biocarburant. Le niveau de TRI monterait alors à plus de 39%.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus attractifs que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par une subvention ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couvert par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants aurait des avantages économiques réels pour le Burkina Faso dans l'ensemble.

- Dépendance réduite sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut remplacer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ de l'éthanol anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence. Une substitution de combustibles fossiles importés par 20 000 m³/an d'éthanol peut être réalisé par le projet la SOPAL (Tableau 4-16).
- Réduction des devises étrangères (forex) dépensées sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 255 FCFA de dépense d'importation sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 340 FCFA de dépense d'importation sur l'essence. L'épargne totale de forex sur 20 000 m³/an d'éthanol est présentée dans le Tableau 4-16.
- Création d'emploi, dans le secteur de production d'éthanol mais particulièrement dans le secteur agricole.

Tableau 4-16 Remplacement de combustibles fossiles et forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m ³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz butane	441	22,9	255	1 656
Gel fuel	Gaz butane	415	24,0	239	1 633
Biocarburant	Essence	644	24,6	340	4 178

4.5

Conclusions

Dans le cas du Burkina Faso, la canne à sucre semble être actuellement la matière première la plus abordable pour la production d'éthanol, sur la base de nouvelle culture de canne. Si les 5 000 ha que possède SOSUCO étaient utilisés à ces fins, on peut raisonnablement estimer à 20 000 m³ l'éthanol produit. L'énergie serait alors produite par la bagasse.

Si l'on se réfère aux calculs des coûts présentés ici, l'éthanol et le gel fuel sont considérablement plus chers que le butane (par rapport à l'indice énergétique), respectivement de 183% et 235%. Si l'on compare cela au butane non subventionné, l'éthanol 95 serait de 39% supérieur aux prix du marché du butane.

L'éthanol anhydre semble être très compétitif vis-à-vis de l'essence, avec un indice de prix de 17% inférieur aux prix actuels.

Sur la base de ces résultats, il semble qu'il y ait des opportunités claires pour la production d'éthanol, principalement en tant que biocarburant. L'introduction de l'éthanol et du gel fuel dans le marché des combustibles domestiques nécessiterait une importante réduction des coûts de production et/ou un appui structurel (taxes et/ou subventions).

5 EVALUATION PAYS : LA COTE D'IVOIRE

5.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

Situation : Afrique de l'Ouest, au nord du Golfe de Guinée, bordée par l'Océan Atlantique au sud. 322 500 km²

Climat : Tropical humide au sud, plus sec au nord.

Population : 18 millions d'habitants, urbanisés à 43%.

Economie : PIB moyen par habitant de 680 US\$ en légère baisse depuis 1996 ; économie en récession de 1987 à 1993 (1% de baisse par an en moyenne), forte croissance de 1995 à 1998 (6% en moyenne), fort ralentissement depuis (2,5%). Pouvoir d'achat par habitant : 1 600 \$

La Côte d'Ivoire dispose de ressources pétrolières et gazières en cours d'exploitation et d'un potentiel hydraulique non négligeable. Le bois et les déchets agricoles constituent les ressources énergétiques les plus importantes et les plus largement exploitées.

La consommation d'énergie est en hausse régulière depuis 1994. La biomasse couvre 70% des besoins du pays. Les transports absorbent la moitié du pétrole et l'électricité est partagée entre l'industrie et le secteur résidentiel tertiaire.

Les Institutions et Politique Energétique

Le **Ministère des Mines et de l'Energie** assure la mise en oeuvre de l'exploitation des ressources à travers trois directions (hydrocarbures, mines, géologie). Le **Ministère des Infrastructures Economiques** (dont dépend désormais la Direction de l'Energie) assure la tutelle des principales entreprises énergétiques du pays. Le **Bureau des Economies d'Energie** est en charge de la mise en oeuvre des programmes de maîtrise de l'énergie. Le

Ministère de l'Agriculture et des Ressources Animales gère l'approvisionnement en bois-énergie.

La politique ivoirienne, compte assurer l'autonomie énergétique du pays et alimenter la sous région en électricité, pétrole raffiné et gaz butane; enfin, renforcer la compétitivité de l'économie en réduisant à moyen terme, grâce à la mise en valeur de ses ressources gazières, le coût de l'énergie. Un nouveau code des hydrocarbures a été adopté afin de favoriser l'installation de compagnies pétrolières étrangères. Le secteur électrique a été restructuré à 2 reprises : en 1990, en concédant l'exploitation du secteur à une société privée, la CIE, et en décembre 1998 en créant une Autorité de Régulation du Secteur de l'Electricité (ANARE) et 2 nouvelles sociétés publiques, SOGEPE et SOPIE.

5.2 Le marché des énergies domestiques

5.2.1 Analyse de l'offre et de la demande

La population de la Côte d'Ivoire en 2006 est estimée à 18 millions d'habitants avec un taux moyen de croissance démographique de 3,3% par an; 57% vivants en milieu rural contre 43% en milieu urbain.

Tableau 5-1 Données démographiques et ménagers

Désignation	Zone Urbaine	Zone Rurale
Nombre de ménages	1 140 710	1 512 103
Taille moyenne	6 à 7	7 à 8
Principales nourritures	Riz, banane plantain, igname et le manioc	<ul style="list-style-type: none"> • Igname en zones de savane du Nord, Centre, Nord-Est • Riz, banane et manioc à l'Ouest, Centre-Ouest et Sud-Ouest • Manioc et banane à l'Est et au Sud • Igname, riz, maïs, mil et sorgho dans le Nord
Type de cuisinières :	<ul style="list-style-type: none"> • Cuisinières à gaz, • Fourneaux, • Foyers améliorés en métal de récupération, 	<ul style="list-style-type: none"> • Fourneaux en terre • Trépied (feu à 3 pierres) • Fourneaux en métal, de métaux de récupération de fabrication locale • Foyers améliorés
Type de casseroles	<ul style="list-style-type: none"> • Marmite en métal de fabrication locale • Casseroles d'importation 	<ul style="list-style-type: none"> • Casseroles d'importation et marmites de fabrication locale • Canaris en terre

Source : N'Cho (2006)

Bois de chauffe et charbon de bois

Les principales sources d'approvisionnement en bois énergie demeurent :

- Les forêts naturelles, les savanes boisées et arbustives.
- Les plantations agricoles productives et les jachères.
- Les plantations forestières.

Une quantité importante de ressources en bois-énergie est encore disponible dans ces différentes sources ; mais elle est méconnue, sous-exploitée ou mal exploitée ou alors gaspillée par les pratique agricoles (culture sur brulis).

Tableau 5-2 Production de charbon de bois

Années	2000	2001	2002	2003	2004
Quantité de charbon de bois produit (en tonnes)	49 704	66 552	50 676	39 672	35 100

Source : DPIF (2006)

La méthode traditionnelle de production du charbon de bois donne des rendements de 10% et dépasse rarement les 12% alors que les techniques modernes de carbonisation autorisent de meilleurs rendements qui peuvent atteindre jusqu'à 30%.

Pour réduire les quantités importantes de bois-énergie pour les ménages, plusieurs actions de sensibilisation à l'utilisation de foyers améliorés et du gaz butane ont été entreprises depuis de longues années. En 1988, année de la forêt ivoirienne, un projet de diffusion massive de foyers améliorés à haut rendement a été mis en œuvre pour la ville d'Abidjan et ses environs eu égard à la forte demande de charbon de bois. Une campagne de butanisation a été également entreprise à partir de 1990. Toutes ces initiatives n'ont pas atteint tous les objectifs fixés par faute de moyens et de suivi des programmes mis en œuvre.

En zone rurale le bois de chauffe reste la principale énergie de cuisson. Ce bois est extrait des forêts avoisinantes du village ou du champ de vivriers. Le charbon de bois n'est pratiquement pas utilisé comme combustibles de cuisson dans les villages. Le pétrole lampant largement utilisé pour l'éclairage la nuit, mais aussi pour juste allumer le feu dans les cuisinières à bois de chauffe et au charbon de bois.

Les autres combustibles à base de biomasse ligneuse

Les résidus agricoles et agro-industriels. La production énergétique dans ce secteur est estimée à plus de 4 millions de tonnes équivalent pétrole (TEP) par an. Elle est tirée principalement des coques et cabosses (café, cacao, arachide), des tiges (maïs, riz, herbes), des résidus d'huileries (rafles, fibres, noix), de fibres de canne, de chutes et autres déchets d'industries de transformation du bois.

Durabilité de l'approvisionnement

A l'heure actuelle, la réduction importante des superficies forestières et des zones boisées constitue un véritable danger pour l'accessibilité au bois-énergie. Les données statistiques actuellement disponibles ne permettent pas de situer avec exactitude les niveaux de production et les prévisions futures.

Cependant, les études dans le cadre du plan national de l'énergie conduites par le BNETD en 1991, donnent déjà un aperçu des déséquilibres entre l'offre et la demande en matière de bois-énergie. Ces déséquilibres pourraient entraîner des pénuries importantes dès 2010 si des mesures correctives ne sont pas prises pour inverser les tendances.

Or, à travers les orientations de la nouvelle politique forestière, le gouvernement affirme sa ferme volonté de parvenir à une gestion durable des ressources forestières. Ces orientations apparaissent dans l'objectif majeur de responsabiliser tous les acteurs privés en encourageant aussi bien les propriétés privées des forêts que la participation du privé à l'utilisation et à la gestion des forêts naturelles.

Le transfert de la propriété de l'arbre au paysan et l'accès de celui-ci à la gestion de la ressource ligneuse, constituent une avancée significative vers une responsabilisation plus accrue des populations à la stabilisation des superficies et à la gestion rationnelle des ressources naturelles

Les produits pétroliers

1. Le gaz butane

Le gaz butane est largement utilisé par la majorité des ménages en zone urbaine. Deux grandes sociétés se partagent le marché de fourniture du gaz butane en Côte d'Ivoire. Il s'agit de la Société Ivoirienne de Raffinage (SIR) et de la Société Ocean Energy International (OEI). Les quantités fournies sont respectivement de 150 tonnes par jour pour la SIR contre 60 tonnes par jour pour OEI. Ce qui représente au niveau national 210 tonnes par jour soit environ 76 000 tonnes par an. La production nationale représente environ 40% contre 60% pour les importations.

Il existe trois unités de conditionnement du gaz butane. Celles-ci disposent de centres emplisseurs et représentent les principaux distributeurs. Il s'agit de :

- La Société Nationale d'Opérations Pétrolières de Côte d'Ivoire (PETROCI)
- La société ORYX
- Le Groupe AOT

Tableau 5-3 Vente de gaz butane au niveau du Marché National (en tonnes)

Années	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Marché national	60 000	63 207	68 540	73 274	79 359	88 030

Source : PETROCI-GAZ (2006)

2. Le pétrole lampant

Dans le cadre de cette étude, nos recherches ne nous ont pas permis de disposer de statistiques globales sur la consommation de pétrole lampant utilisé comme combustible pour la cuisson au niveau des ménages. En zone urbaine, il convient de noter que le pétrole lampant sert tout juste à allumer le feu dans les cuisinières à bois ou à charbon de bois. Actuellement il est vendu à environ 470 FCFA par litre.

5.2.2 Les prix des énergies domestiques

Charbon de bois

Les prix du charbon de bois varient en fonction de la qualité de celui-ci, de la ville, du quartier et de la période. Ils s'établissent de façon générale comme suit pour un sac d'environ 80 kg:

- 2 500 à 3 500 FCFA sur les sites de production
- 6 000 à 6 500 FCFA sur le marché des grossistes
- 10 000 à 12 500 FCFA sur le marché des consommateurs finaux

Gaz butane

Le prix des bouteilles de gaz au consommateur final s'établit comme suit :

Tableau 5-4 Structure des prix du gaz au Côte d'Ivoire

Conditionnement des bouteilles (en kg)	Prix (FCFA/bouteille)	Prix (FCFA/kg)
Bouteilles de 6 kg	1 500	250
Bouteilles de 12 kg	3 500	292
Bouteilles de 28 kg	8 000	286

Source : N'Cho (2006)

Deux types de subventions sont appliqués par l'Etat au gaz butane. Il s'agit de :

- La subvention à l'importation. Elle permet au gaz de ne pas subir les fluctuations des prix pratiqués sur les marchés internationaux (genre de caisse de péréquation)
- La subvention à la distribution. Elle est uniquement pratiquée sur la bouteille de « 6 kg » à hauteur de 60 000 FCFA la tonne soit 60 FCFA sur le kilogramme.

Les informations spécifiques du niveau des subventions pour le butane ne sont pas disponibles. Cependant, la comparaison des prix du marché du butane avec ceux de gaz non subventionnés dans d'autres pays (côtiers) de l'UEMOA (533 FCFA/kg en Guinée Bissau ; 615 FCFA/kg au Sénégal ; 676 FCFA/kg au Togo) indique que le niveau de subvention doit être substantiel. En utilisant la moyenne des tarifs non subventionnés mentionnés ci-dessus (608 FCFA/kg), le niveau de subvention en Côte d'Ivoire doit être de l'ordre de 60%.

5.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

La Côte d'Ivoire dispose encore de ressources forestières importantes qui rendent le prix du bois de feu pratiquement nul en milieu rural et très abordable en milieu périurbain et urbain. Le tableau suivant donne une estimation du coût des combustibles domestiques ramené à la valeur calorifique (MJ).

En comparant la valeur calorifique et le prix sur le marché entre d'une part le charbon de bois (5,2 FCFA par MJ) et la valeur théorique de l'éthanol de cuisson (5,5 MJ par MJ) et d'autre part le gaz butane (5,5 FCFA par MJ) et l'éthanol de cuisson, on se rend compte qu'une substitution est techniquement possible entre le charbon de bois, le gaz butane et l'éthanol de cuisson (gélifié ou non).

Le kérosène, qui n'a pas encore obtenu le statut de d'énergie de cuisson, sert surtout pour l'allumage de lampes en milieu rural.

Tableau 5-5 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Charbon du bois	kg	27,0	141	5,2
Butane	kg	45,7	250	5,5
Kérosène	l	35,3	470	13,3
Essence	l	33,1	615	18,6
Gasoil	l	36,6	545	14,9
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	110	5,5
Gel fuel	l	19,0	104	5,5
Biocarburant	l	21,4	396	18,6

5.3 Production potentielle

5.3.1 Industrie sucrière

La Côte d'Ivoire possède une industrie du sucre importante qui comprend quatre usines et deux sociétés. La production moyenne⁹ est indiquée dans le Tableau 5-6 ci-dessous.

- La plus petite des deux sociétés, SUCRIVOIRE, gère des sucreries à Borotou (Nord-ouest) et Zuénoula (Centre). L'usine de Borotou produit entre 30 000 et 40 000 tonnes de sucre et de quinze à vingt mille tonnes de mélasse. Celle de Zuénoula produit entre 25 000 et 35 000 tonnes de sucre et entre douze et seize mille tonnes de mélasse.
- La plus grande société, la Compagnie Sucrière d'Afrique - Côte d'Ivoire (SUCAF-CI), gère deux usines à Ferké (Nord). Ces deux usines produisent généralement ensemble environ 90 000 tonnes de sucre par an. La production moyenne de mélasse est environ de trente mille tonnes par an.

Tableau 5-6 Production de sucre et de mélasse en Côte d'Ivoire, et production potentielle d'éthanol

	SUCRIVOIRE		SUCAF-CI	Totale
	Borotou	Zuénoula	Ferké	
Sucre (production kt/a)	35	30	90	155
Mélasse (production kt/a)	17	14	35	66
Ethanol (potentiel m ³ /a)	5 000	4 000	10 000	19 000

Sources : SUCAF-CI (2006), SUCRIVOIRE (2006)

L'utilisation de la mélasse est similaire dans toutes les usines. Une partie de celle-ci est employée comme fertilisant dans les champs de canne à sucre et une autre partie est utilisée sur les routes pour réduire le bruit généré par le passage des voitures. Cependant, la majeure partie de la mélasse n'a pas d'utilité spécifique. Les prix sont très bas, environ

⁹ La production entre 2000-2006 était relativement instable ainsi pour le calcul des valeurs moyennes, les valeurs minimum et maximum ont été omis.

8 000 à 8 500 FCFA/t. La combinaison de la sous utilisation de la mélasse et de ses prix bas en fait une matière première très attractive pour la production d'éthanol.

Processus de production

L'exploitation de toutes les ressources en mélasse nécessitera l'installation d'au moins trois usines de production d'éthanol / gel fuel, en supposant que les usines de SUCAF-CI seraient capable de mettre en commun leurs ressources pour une usine de plus grande production. Basé sur une teneur en sucre de mélasse de 50%, le rendement d'éthanol par tonne sera presque de 300 litres par tonne de mélasse. Les usines auront ainsi des capacités de 4 000, 5 000 et 10 000 m³/a d'éthanol, ou de l'équivalent en gel fuel ou biocarburant.

Le procédé de production sera assez simple. La mélasse de canne à sucre sera diluée pour réduire le contenu de sucre aux niveaux fermentescibles (autour 20%). La mélasse diluée sera fermentée dans les cuves de fermentation, maintenues à une température optimale de fermentation. La réutilisation de la levure permet de garder des concentrations aux niveaux requis sans approvisionnement continu. La distillation du lavage fermenté a pour résultat un éthanol (jusqu'à 96%), qui peut être dénaturé et emballé en tant qu'éthanol ou gélifié. Si l'éthanol est employé comme biocarburant, il ne sera pas dénaturé mais sera déshydraté pour former l'éthanol anhydre. L'énergie et la chaleur seront assurées à partir de la sucrerie.

Les usines de production d'éthanol / combustible en gel seront en production continue pour 6 à 8 mois par an. Ceci assurera la disponibilité de l'énergie de la sucrerie, et évite le besoin du stockage de mélasse.

Besoins du processus

Le tableau ci-dessous donne une vue d'ensemble des besoins des différents éléments pour transformer la mélasse en éthanol.

Tableau 5-7 Intrants des usines d'éthanol / gel fuel de 10 000, 5 000 et 3 000 m³/a

	Unité	unités/an			
		unités/m ³ éthanol	Ferké	Borotou	Zuénoula
Capacité d'usine	m ³		10 000	5 000	4 000
Matière première	tonne	3,5	34 500	17 200	13 800
Chaleur	GJ	5	50 000	25 000	20 000
Electricité	MWh	150	1 500 000	750 000	600 000
Eau	m ³	10	100 000	50 000	40 000
Dénaturants					
MEK	kg	8,14	81 400	40 700	32 560
Bitrex	kg	0,01	100	50	40
Main d'oeuvre	etp	-	15	12	12
Gélifiant ^a	kg	17,0	190 000	95 000	76 000

^a Sur la base de 1 000 m³ d'éthanol (95%), environ 1 100 m³ de gel fuel (85%) peut être produit

- Besoins en matières premières – pour un rendement d'éthanol de 290 litres par tonne de mélasse, les besoins en matières premières sont de 3,4 tonnes par m³ d'éthanol.

-
- Besoins énergétiques - la demande en chaleur est estimée à 5 MJ/l, la consommation en électricité à 0,15 kWh par litre.
 - Besoins en eau - estimés à 10 litres pour un litre d'éthanol.
 - Dénaturants - par exemple 1% de MEK et 10g/m³ de Bitrex.
 - Gélifiant - par exemple 2% de Bermocol par m³.
 - Autres besoins - particulièrement les procédés chimiques ou utilisant des levures.
 - Besoins en main d'œuvre - estimée à 15 personnes pour la grande usine et 12 pour les plus petites.

Sous-produits

Le principal sous-produit de la production d'éthanol à partir de la mélasse est la vinasse. Elle peut être utilisée dans les champs de cannes comme engrais comme cela se fait au Brésil.

5.3.2 Pommes d'anacardier

La Côte d'Ivoire est le deuxième plus grand producteur de noix de cajou dans la région de l'UEMOA (derrière la Guinée Bissau). Le secteur s'est développé dans les années 90. Selon l'AREC (2006), les exportations moyennes de noix au cours de la période 2000-2004 étaient approximativement de 90 000 t/a. La plupart de la production a lieu dans le nord du pays.

L'étendue de l'utilisation de la pomme d'anacardier en Côte d'Ivoire en tant qu'aliment est inconnue. La production de pomme d'anacardier aurait été autour de 360 000 t/a durant la période 2000-2004. N'Cho (2006) rend compte d'une petite unité de production de jus et de confiture qui utilise la pomme d'anacardier ; cependant, l'étendue de l'utilisation des pommes pour la production artisanale du jus et du vin est inconnue. En supposant un taux d'utilisation similaire à celui de la Guinée Bissau (30%), la quantité de pomme actuellement non employée serait d'environ 250 000 t/a.

Le potentiel pour la production d'éthanol à partir de la pomme d'anacardier est limité. À un rendement d'éthanol de 30 litres par tonne de pomme fraîche, la production d'éthanol à partir de toutes les pommes d'anacardier disponibles serait de 7 500 m³/a. En supposant que toutes les pommes pourraient être recueillies, la production totale d'éthanol s'élèverait environ à 40% de celle issue de la mélasse. En réalité, les montants seront beaucoup plus faibles.

Cependant, le coût de production serait prohibitif par rapport à celui de l'éthanol issu de la mélasse. En raison de la grande quantité de pommes d'anacardier requise par litre d'éthanol (33 kg), la zone dans laquelle les pommes devraient être rassemblées devrait être étendue. Les frais de transport sont en outre relativement élevés en Côte d'Ivoire (150 FCFA/t/km). Une première évaluation du coût de ramassage des matières premières serait d'au moins 5 000 FCFA/t. Ceci signifie que les seuls coûts de matières premières s'élèveraient à 167 FCFA par litre d'éthanol, ce qui est déjà 37% plus chers que les coûts de production d'éthanol issu de mélasse (cf. les sections ci-dessous). Une analyse plus poussée indique que les coûts de production seraient 125% plus hauts que celui de l'éthanol issu de mélasse.

A cause du potentiel de production relativement faible, et des coûts de production élevés, la pomme d'anacardier n'est en ce moment pas considérée comme une matière de base plausible pour la production d'éthanol.

5.3.3 Autres matières premières

- Industrie de transformation de fruits - il y a plusieurs sociétés qui s'occupent de la transformation des fruits. Selon le Ministère de l'Agriculture (2006), il y a dix compagnies principales dans ce secteur, la plupart dispersées autour d'Abidjan ou ailleurs dans la région côtière. La plupart des compagnies produisent des jus de fruit ; mais les statistiques sur leur rendement, ou sur la production de résidus, sont inconnues. Cependant, la majeure partie du sucre est prévue pour rester dans le traitement du fruit, et généralement la disponibilité des matières premières sucrées est limitée. En tant que tel le potentiel de production d'éthanol sera peu élevé.
- Les produits amidonnés développés en Côte d'Ivoire sont surtout le maïs et le manioc (en moyenne, respectivement 750 kt/a et 1 600 kt/a, (FAO 2006)). Cependant, en dépit des grands volumes produits, les récoltes concernées sont développées pour la production alimentaire ; et leur utilisation comme matière première pour produire de l'éthanol pourrait concurrencer les besoins alimentaires.

5.4 Evaluations financières

5.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des coûts d'investissement pour les usines d'éthanol, de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 5-8 ci-dessous. Les estimations sont basées sur les chiffres réels d'investissement des études antérieures et des valeurs issues de la littérature (Visser et al (2005), Shapouri et Gallagher (2005)). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 5-8 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
SUCAFI-CI (Ferké)			
Capacité (m ³ /an)	10 000	11 176	9 529
Investissements (kFCFA)	2 096 000	2 161 500	2 141 850
SUCRIVOIRE (Borotou)			
Capacité (m ³ /an)	5 000	5 588	4 764
Investissements (kFCFA)	1 179 000	1 244 500	1 201 925
SUCRIVOIRE (Zuénoula)			
Capacité (m ³ /an)	4 000	4 471	3 811
Investissements (kFCFA)	943 200	1 008 700	966 125

5.4.2 Coûts de production

Une vue d'ensemble des différents coûts de production de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre est fournie dans les Tableaux 5-9 à 5-11 ci-dessous. Les données sur les coûts par unité des différents postes ont été en partie recueillies durant la présente étude et en partie des études antérieures (Visser et autres (2005), Mostert (2005), Shapouri et Gallagher (2005)):

- Les coûts de mélasse sont basés sur les prix réels connus (8 000 FCFA/t à Ferké, 8 500 FCFA/t dans les autres usines).
- La chaleur nécessaire au processus, livré par les usines sucrières, est de 4 000 FCFA/GJ. L'électricité est tarifée par le réseau national (58 FCFA/kWh).
- Les coûts de l'eau sont basés sur les prix réels de l'eau (643 FCFA/m³).
- La maintenance annuelle est égale à 3% des coûts d'investissement.
- Les indices des prix pour des dénaturants et les produits chimiques sont basés sur Visser et al (2005).
- Les coûts de la main-d'œuvre sont basés sur les salaires moyens plus les avantages (145 000 FCFA/a).
- Les frais financiers sont calculés à l'annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de distribution incluent le transport, jusqu'à 100 kilomètres pour l'éthanol 95 et le gel fuel, et 400 kilomètres pour le biocarburant (à un prix de 150 FCFA/t.km) ainsi que la marge de distribution pour l'éthanol 95 et le gel fuel, évaluée à 12%.

Tableau 5-9 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (Ferké)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	10 000	11 176	9 529
Matière première	27,6	24,7	29,0
Energie et eau	35,1	31,4	36,9
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	2,6	2,3	2,7
Maintenance	6,3	5,7	6,8
Frais de capital	41,8	38,2	45,2
Coûts de production HT	121,4	165,3	122,7
Emballage et distribution	34,8	43,0	45,4
Coût de production vendu HT	156,2	208,3	168,1
Coût de production vendu TTC	184,3	245,9	198,3
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	9,1	13,0	9,3

Tableau 5-10 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (Borotou)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	5 000	5 588	4 764
Matière première	29,3	26,2	30,8
Energie et eau	35,1	31,4	36,9
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	4,2	3,7	4,4
Maintenance	7,1	6,5	7,8
Frais de capital	47,0	42,9	52,0
Coûts de production HT	130,7	173,6	134,0
Emballage et distribution	27,4	44,0	45,4
Coût de production vendu HT	158,2	217,6	179,4
Coût de production vendu TTC	186,6	256,9	221,3
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	9,2	13,6	10,4

Tableau 5-11 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (Zuénoula)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	4 000	4 471	3 811
Matière première	29,3	26,2	30,8
Energie et eau	35,1	31,4	36,9
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	5,2	4,7	5,5
Maintenance	7,1	6,5	7,9
Frais de capital	47,0	43,1	52,7
Coûts de production HT	131,8	174,7	135,9
Emballage et distribution	36,0	44,2	45,4
Coût de production vendu HT	167,8	218,9	181,3
Coût de production vendu TTC	198,0	258,4	213,9
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	9,8	13,6	10,0

Les tableaux montrent la situation suivante :

- Le capital de production forme la plus grande partie des coûts de production d'éthanol et biocarburant, autour de 35-40%. Dans le prix du gel fuel, « autres intrants » est la partie la plus coûteuse, comptant plus de 35% des coûts de production. Ceci est causé par le prix élevé du gélifiant, qui à lui seul compose environ 30% des coûts de production.
- Les coûts d'énergie prennent la seconde place dans la participation aux coûts, compris entre 27 et 30% pour l'éthanol et le biocarburant et 18-19% pour le gel fuel.
- Les coûts des matières premières tiennent pour leur part 22-24% des coûts de production pour l'éthanol et le biocarburant, et 15% pour le gel fuel. Cela est relativement bas, si comparé aux coûts de matières premières d'autres sucreries (par exemple au Mali, ou au Sénégal), où les coûts des matières premières sont de l'ordre de 50%. Cela est dû à la faible valeur de la mélasse en Côte d'Ivoire.

- Les marchés des combustibles domestiques (éthanol, carburants en gel) sont des marchés de consommation, exigeant des coûts considérables pour l’emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant, cela se limite au transport, provoquant des prix bien plus bas.

5.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 5-12 ci-dessous montre les niveaux des prix calculés de l’éthanol, du gel fuel et du biocarburant, et les niveaux de prix réels du kérosène, du butane et de l’essence. Les prix des combustibles à base d’éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 5-12 Prix des combustibles conventionnels et les combustibles à base d’éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	184	246	470	250	214	615
CFA/MJ (TTC)	9,1	13,0	13,3	5,5	9,3	18,6
CFA/MJ (HT)	7,7	11,0			5,7	

Des données du tableau, on peut conclure ce qui suit :

1. Le niveau des prix du gel fuel est approximativement 42% supérieur à celui de l’éthanol (95%).
2. Le niveau des prix de l’éthanol (95%) est 67% supérieur à celui du butane, mais 32% au-dessous de celui du kérosène (tous deux basés sur leur rapport énergétique)
3. Le niveau des prix du gel fuel est 137% supérieur que celui du butane mais seulement 3% au-dessus de celui du kérosène.
4. Le prix du biocarburant représente la moitié celui de l’essence, pour un même rendement égale.

Malgré les coûts de production relativement bas pour l’éthanol et le gel fuel en Côte d’Ivoire (les coûts de production sont les plus bas de tous ceux évalués dans l’UEMOA), il y a toujours un écart considérable entre les combustibles domestiques à base d’éthanol et le butane. Le niveau de prix du marché du butane en Côte d’Ivoire est le plus bas de tout l’UEMOA. Si le niveau de prix du marché de butane était égaux aux niveaux moyen des prix non-subsventionnés des pays d’UEMOA (soit 608 FCFA/kg), le prix de l’éthanol (95%) serait 31% en dessous de celui du butane. Même le gel fuel serait compétitif vis-à-vis du butane.

En tout cas, le prix de l’éthanol anhydre (biocarburant) reste largement aux prix des combustibles domestiques, ce qui signifierait qu’un producteur d’éthanol vendrait plus tôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tels, le prix (par MJ) de l’éthanol comme substitution au butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l’éthanol anhydre en tant que biocarburant. La comparaison démontre que la valeur de l’éthanol comme combustible domestique serait 71% en dessous de la valeur de l’éthanol en tant que biocarburant. Un alignement par rapport au niveau des prix non-subsventionnée estimé serait 30%.

Analyse de sensibilité

Les Figures 5-1 à 5-3 montrent la sensibilité des prix du marché (TTC) de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant pour des variations éventuelles des coûts de la matière première, des investissements et des coûts énergétiques.

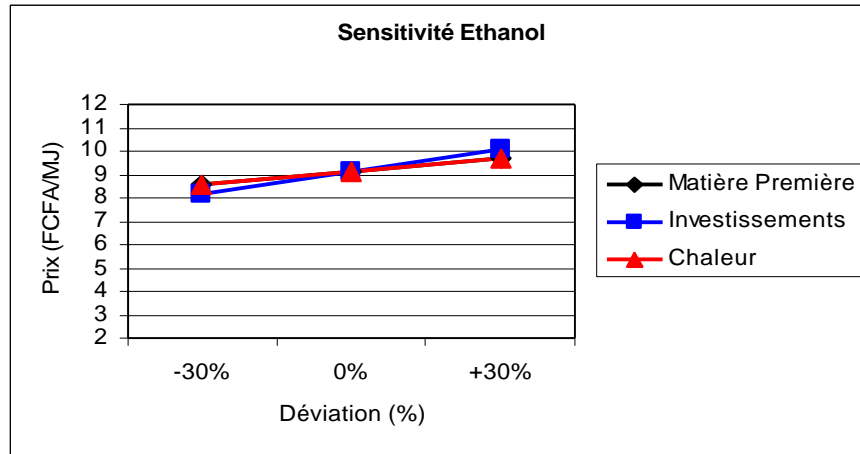


Figure 5-1 Analyse de sensibilité pour la production d'éthanol

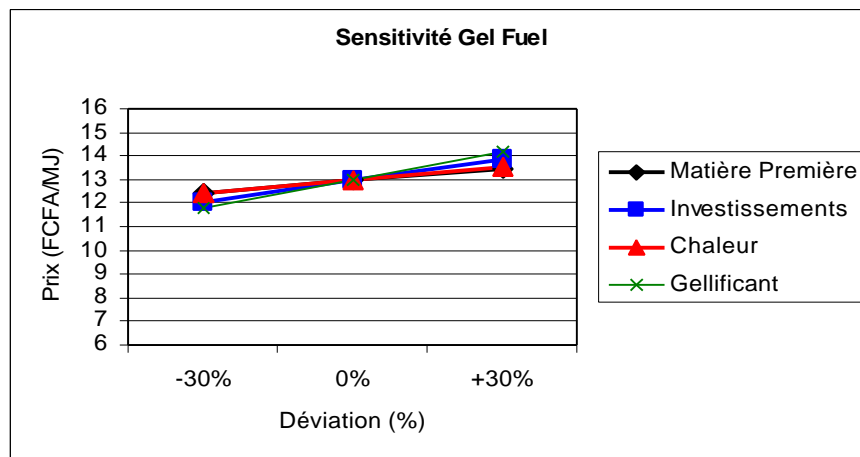


Figure 5-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

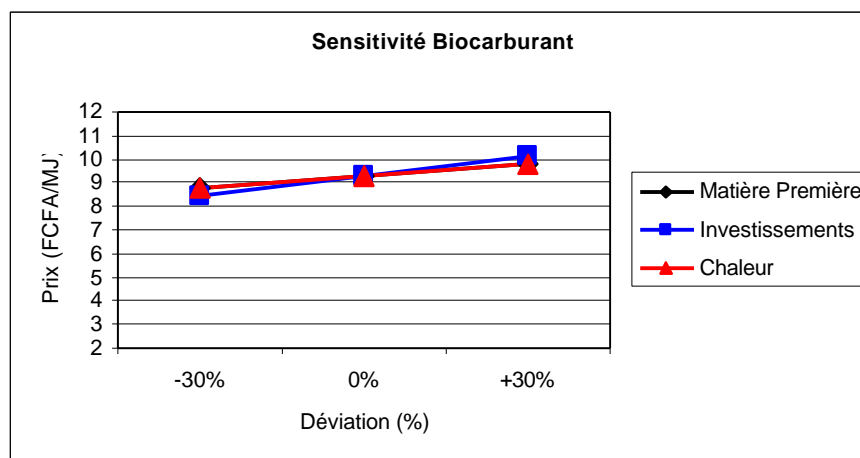


Figure 5-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

- Dans l'ensemble, la sensibilité face aux paramètres évalués est relativement faible. Une déviation de 30% d'un quelconque paramètre a comme conséquence un changement de moins de 10% des coûts de production.
- Pour chacun des trois produits, la sensibilité la plus nette est celle des frais financiers. La raison est la contribution relativement élevée des frais financiers à tous les coûts de production. Les résultats de déviations de 30% provoqueront un changement de 7-10% de l'éventuel prix du marché.
- La sensibilité aux variations des autres paramètres est plus faible, c'est-à-dire 4-6% pour des déviations des matières premières et d'énergie, et 9% pour les gélifiants.

Indicateurs financiers

Le Tableau 5-13 ci-dessous présente les coûts d'investissement, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et les revenus (net des coûts de distribution et de TVA) des usines de grande taille, en supposant que les prix de vente seront égaux aux niveaux de prix calculés du marché présentés dans le tableau ci-dessus¹⁰.

Tableau 5-13 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA) (Ferké)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	2 096 000	2 161 500	2 141 850
Coûts de production (net des frais financiers)	796 611	1 420 993	738 107
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	1 214 243	1 847 761	1 168 790
Flux de trésorerie annuel net	417 632	426 768	430 683
TRI	15%		
TRS	5,0		

Noter que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Des revenus élevés, et ainsi un TRI supérieur peuvent être atteints si les produits sont vendus aux secteurs les plus attractifs (carburant).

- Sans subventions pour le butane, l'éthanol (95%) pourrait être vendu au prix de 268 FCFA/l. Le TRI augmenterait alors de plus de 50%.
- L'éthanol anhydre pourrait être vendu au prix de 427 FCFA/l s'il était tarifé de manière équivalente à l'essence sur la même base énergétique. Le niveau de TRI monterait alors de plus de 100%.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus attractifs que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par une subvention ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques

¹⁰ Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couverts par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants permettrait de capitaliser les avantages économiques suivants :

- Réduction de la dépendance sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut remplacer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ de l'éthanol anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence¹¹. Les substitutions potentielles par la valorisation de la mélasse actuellement disponible serait de 19 000 m³/an d'éthanol (Tableau 5-14).
- Diminution des dépenses en devises étrangères (forex) sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 135 FCFA de dépense de forex sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 191 FCFA de dépense de forex sur l'essence. L'épargne totale pour 19 000 m³/an d'éthanol est montrée dans le Tableau 5-14 .
- Impulsion économique pour le secteur sucrier et création d'emploi, dans le secteur de production d'éthanol.

Tableau 5-14 Remplacement de combustibles fossiles et forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m ³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz butane	441	8 385	135	1 129
Gel fuel	Gaz butane	415	8 804	126	1 113
Biocarburant	Essence	644	11 666	191	2 225

5.5

Conclusions

Il semble y avoir de très bonnes opportunités pour produire de l'éthanol en Côte d'Ivoire. Il y a beaucoup de mélasse, à faible coût et disponible dans les diverses sucrières du pays, permettant une production rentable d'éthanol, de gel fuel et/ou de biocarburant. Les coûts de production sont estimés à respectivement 121, 165 et 122 FCFA/l pour l'éthanol, le gel fuel et le biocarburant.

Malgré leurs coûts de production très faibles, les combustibles domestiques à base d'éthanol ne peuvent pas concurrencer le butane. Le niveau actuel des prix du marché du butane est le plus bas de la région de l'UEMOA, moitié moins par exemple que les prix en Guinée Bissau et au Niger, le prix du butane non-subsidonné au Sénégal. Dans la situation actuelle, le prix du marché minimum de l'éthanol serait de 67% supérieur à celui du butane.

¹¹ Les prix réels de l'essence en gros en Guinée Bissau n'étaient pas disponibles ; les chiffres présentés sont basés aux prix au Sénégal

Cependant, si le butane devait être tarifé selon la moyenne des prix non-subsidiés des autres pays de l'UEMOA, l'éthanol (95%) aurait un avantage de coût substantiel. Le niveau de prix du marché pourrait alors être jusqu'à 31% au-dessous de celui du butane.

Malgré tout, la production d'éthanol anhydre en tant que biocarburant semble être la plus compétitive. En Côte d'Ivoire elle pourrait être produite à un prix correspondant au moitié du prix actuel de l'essence à la pompe.

6 EVALUATION PAYS : LA GUINEE BISSAU

6.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

Situation : Afrique Occidentale, bordée à l'Ouest par l'Océan Atlantique. 36 120 km².
Capitale : Bissau.

Climat : Tropical humide.

Population : 1,5 million d'habitants, dont 22% sont urbanisés.

Economie : Revenu moyen par habitant : 180 US\$. Pouvoir d'achat par habitant : 680 \$. Croissance économique soutenue jusqu'en 1997 (plus de 4% par an en moyenne), mais forte récession en 1998 avec la guerre civile. Le conflit, qui s'est terminé en mai 1999, a entièrement dévasté le pays qui fait désormais partie des vingt pays les plus endettés du monde.

La Guinée-Bissau dispose de ressources pétrolières et hydrauliques encore non exploitées. Elle est donc entièrement dépendante d'importations de produits pétroliers pour son approvisionnement énergétique. Le bois et le charbon de bois fournissent environ la moitié de l'énergie consommée dans le pays. La consommation d'énergies commerciales par habitant est de l'ordre de 0,1 TEP et dépend à près de 95% du pétrole. L'électricité est surtout consommée dans la capitale.

Les Institutions et Politique Energétique

Sous l'autorité du Ministère de l'Énergie, de l'Industrie et des Ressources Naturelles, la Direction Générale de l'Énergie (DGE) a la responsabilité de la politique énergétique nationale. Elle coordonne le secteur pétrolier et, en collaboration avec la Direction Générale des Ressources Hydrauliques (DGRH), le secteur électrique, dont elle fixe le

niveau et la structure des prix. En mars 1996, une Commission de Coordination Gouvernementale a été chargée de coordonner le secteur de l'énergie.

Electricidade e Aguas de Guinée-Bissau (EAAGB) qui assurait la production, le transport et la distribution de l'électricité ainsi que la distribution de l'eau – pour Bissau uniquement – a pris le contrôle des huit centrales exploitées par la DGE dans le reste du pays.

Pétrole de Guinée (PETROGUI) intervient dans l'exploration pétrolière et l'octroi des permis d'exploration. L'importation, le stockage et la distribution des hydrocarbures sont assurés par Distribuidora de Combustiveis e Lubrificantes (DICOL), société mixte Guinéo-Portugaise (51% par 49%), qui contrôle également Dicolgaz, unique société d'importation et de distribution de gaz butane. La DICOL a été déclarée en faillite commerciale en 1995.

L'exploitation des ressources forestières et de la biomasse est contrôlée par le Ministère du Développement Rural et de l'Agriculture (MDRA). A la lumière des fiches d'informations du PREDAS, force est constaté qu'en Guinée-Bissau, la législation ayant trait aux combustibles ligneux repose essentiellement sur les instruments législatifs ci-après :

1. La Charte de politique agricole, mars 1994 ;
2. Le Plan d'action forestier tropical, novembre 1992 (concernant la Sous région Ouest africaine) ;
3. Le Plan d'action national (partie de La Charte de politique agricole) ;
4. La Loi forestière, octobre 1991 (Décret n°26/91 du 29/10/91) ;
5. La Charte de politique sectorielle sur l'approvisionnement des différentes formes d'énergie, janvier 1978 ;
6. La Loi-cadre de l'énergie, 1998.

6.2 Le marché des énergies domestiques

Selon les données du dernier recensement, la population de la Guinée-Bissau est estimée aux alentours de 1,5 million habitants, ce qui permet d'évaluer le nombre de ménages en milieu urbain autour de 47 000 ménages, tandis qu'en zone rurale celui-ci tourne autour de 192 500 ménages. Et, à la lumière des mêmes données de ladite institution, la taille moyenne d'un ménage en Guinée-Bissau avoisine le nombre de six (6) personnes par ménage.

La Guinée Bissau est un pays forestier, la ressource forestière a été estimée à plus de deux millions d'hectares de superficies couvertes par les forêts naturelles et les savanes, sans compter les mangroves, soit une occupation de plus de 70% des sols du territoire national

6.2.1 Analyse de l'offre et de la demande

Les combustibles ligneux, bois de feu et charbon, constituent un domaine de première importance, tant par leur poids dans le bilan énergétique et leur rôle dans la vie

quotidienne des Guinéens, que par les enjeux économiques qu'ils représentent et leur impact sur les ressources ligneuses du pays.

Tableau 6-1 Consommations d'énergie dans le secteur des ménages

Année	bois de feu (tonnes)	charbon de bois (tonnes)	Pétrole lampant (tonnes)	Gaz butane (tonnes)
2000	734 900	24 871	36	-
2001	751 370	25 429	21	407
2002	768 374	26 005	31	471
2003	785 933	26 599	19	444
2004	804 069	27 213	20	484
2005	822 807	27 847	20	573

Source : Benicio (2006)

Les combustibles ligneux représentent plus de 95% de l'énergie finale consommée par les ménages de Guinée Bissau. Les combustibles d'origine pétrolière, kérosène, gazole et gaz butane sont très peu utilisés pour la cuisine. Le kérosène, et gazole sont surtout utilisés pour l'éclairage.

La population en milieu rurale utilise exclusivement le bois comme combustible principal pour la cuisine. La consommation de bois pour le ménage et pour les activités artisanales est en moyenne de 1,7 kg/personne/jour. Cette moyenne est comparable à celles de la zone soudano guinéenne, révélatrice d'une abondance de bois.

Les ménages de la capitale, utilisent plusieurs sources d'énergie pour satisfaire leurs besoins en énergie domestique selon les plats préparés, le charbon de bois y domine, suivi de près par le bois de feu. A Bafatá et Gabu le charbon joue un rôle limité. Le gaz est circonscrit actuellement à Bissau au niveau des ménages aisés.

Les déchets d'exploitations forestières et celles des transformations de bois en scieries représentent 67 000 m³ de déchets inutilisés. Ces déchets pourraient produire 12 000 tonnes de charbon de bois.

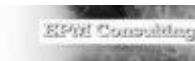
6.2.2 Les prix des énergies domestiques

Bois du feu

Tableau 6-2 Prix du bois de feu

Description	Coûts (FCFA/t)
Coût de transport	15 000
Frais de chargement	1 334
Marge brute	5 306
Prix/producteur	16 700
Prix de vente en détail aux consommateurs de Bissau	40 000

Source : Benicio (2006)



Charbon de bois

Tableau 6-3 Prix de charbon de bois à Guinée Bissau

	Prix (FCFA/unité)	Prix (FCFA/kg)
Bissau		
Un (1) sac de 50Kg de charbon	2 500	50
Un (1) sac de 100Kg de charbon	5 000	50
Un sachet de 1Kg de charbon	100	100
Les villes secondaires		
Un (1) sac de 50Kg de charbon	1 000	20
Un (1) sac de 100Kg de charbon	1 500	15

Source : Benicio (2006)

Les produits pétroliers

Compte tenu de la nécessité de préserver la stabilité des combustibles dérivés du pétrole par rapport aux fortes variations sur le marché international, un arrêté du Premier Ministre a mis sur pied une Commission ad hoc pour surveiller l'évolution des prix et de proposer des mesures correctives en agissant sur les niveaux de taxes et subvention en cas nécessaire.

Tableau 6-4 Niveaux de prix des combustibles domestiques pour les consommateurs finaux

Année	Kérosène (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA/l)
2000	330	610
2001	330	650
2002	330	650
2003	330	600
2004	370	600
2005	430	600
2006	-	533

Source : DGE (2006)

6.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Avec une situation de gratuité absolue du bois de feu en milieu rural grâce à un climat humide, le faible coût du charbon de bois, du faible taux d'urbanisation et des habitudes de cuisson, l'introduction d'un nouveau combustible se heurtera aux réalités socio économiques du moment. Cela explique par ailleurs la faible pénétration du gaz butane à Bissau dans le chapitre énergie domestique tandis le pétrole lampant sert plutôt de sources de lumière.

L'introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie de cuisson ne pourra se faire que par rapport au gaz butane importé. La présence de matières premières importantes pour la production d'éthanol (canne à sucre, anacarde, fruits, manioc, etc...) milite en la faveur de la production d'éthanol de cuisson en ce sens que le pays possède une longue tradition de distillation. L'éthanol pour des fins énergétiques devra surtout arriver à concurrencer l'importante activité de distillation d'eau de vie.

Tableau 6-5 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	40	2,7
Charbon du bois	kg	27,0	100	3,7
Butane	kg	45,7	533	11,7
Kérosène	l	35,3	430	12,2
Essence	l	33,1	736 ^a	22,2
Gasoil	l	36,6	478 ^a	13,1
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	235	11,7
Gel fuel	l	19,0	221	11,7
Biocarburant	l	21,4	474	22,2

^a source : www.izf.net

6.3 Production potentielle

6.3.1 Pomme d'anacardier

La seule matière première abondante et disponible rendant possible la production d'éthanol est la pomme d'anacardier, un sous-produit de la production de noix de cajou. La production de noix de cajou est un secteur économique important en Guinée Bissau, puisque la majeure partie de la population y travaille. Le rendement total de la production de 2005 a été estimé entre 100-120 mille tonnes (ANAG, 2006), la plupart étant produite par de petits producteurs (unités familiales). La majeure partie de la production est exportée.

Chaque noix de cajou est liée à une pomme d'anacardier, la pomme étant approximativement 4-5 fois plus lourde que la noix elle-même. La pomme est composée de 90% d'eau avec un taux de sucre approximatif de 6-7%. Lorsqu'elles sont mûres, la noix et la pomme tombent de l'arbre. Elles sont encore reliées quand elles sont collectées; et c'est seulement après la récolte que la noix est détachée de la pomme. Les noix sont traitées plus tard, alors que les pommes sont jetées ou utilisées pour la production du jus de pomme d'anacardier, de vin et de spiritueux (eau-de-vie).

Actuellement, la première étape dans le traitement des pommes d'anacardier consiste à extraire leur jus par pression. Dans la plupart des cas, la pression est faite à la main, donnant lieu à des taux d'extraction de jus très modestes. Certains établissements utilisent des presses manuelles et mécaniques. Le jus extrait commence à fermenter presque immédiatement après avoir été recueilli, et cela pendant quelques jours tout au plus, jusqu'à ce qu'il atteigne une teneur en alcool de 3-4%¹². Ce vin est alors vendu en tant que tel, ou utilisé pour la production d'eau-de-vie par distillation.

¹² Les producteurs locaux indiquent un pourcentage de 5-6%. Cependant, cette évaluation semble trop haute (selon Gay-Lussac).

Un inconvénient majeur est que la saison s'étend seulement sur trois mois par an, d'avril à juin. Ceci peut signifier que la production n'aurait lieu que trois mois par an seulement, ou que de grandes quantités de jus devront être stockées afin de permettre une production d'éthanol continue. Une troisième option serait d'opérer partiellement avec d'autres matières premières, telle que le jus de sucre de canne.

Potentiel de production

Les pommes d'anacardier sont actuellement sous utilisées en Guinée Bissau. On estime que 70% environ de la production totale est simplement jetée après la récolte, après que la noix ait été enlevée. Dans l'Est du pays en particulier, où la majorité de la population est musulmane, les pommes sont souvent inutilisées.

En comptant sur une production de noix de cajou de 100-120 mille tonnes, et un rapport minimum de poids noix/pomme de 4, la production de pommes cajou en 2005 a été de l'ordre de 400-600 mille tonnes. Si 70% de cette production est jetée, les ressources disponibles passent à 280-420 mille tonnes par an.

En raison de la teneur limitée en sucre de la Pomme d'anacardier, le rendement en éthanol par tonne de fruit est faible. Selon La Van Kinh et al (1996), ce rendement est d'environ 30 l/t. Le potentiel de production d'éthanol, si toutes les pommes d'anacardier actuellement jetées étaient utilisées, s'élèverait à 8 400-12 600 m³/a.

Taille de production et technologie

En raison des quantités relativement élevées de matières premières employées, le solde de production devrait être modeste même si les coûts de transport étaient raisonnables. Des volumes de production de plus de 1 000 m³/a sont hors de portée en terme d'investissements.

Le procédé de production basique est linéaire. Les pommes d'anacardier fraîches doivent être pressées pour l'obtention du jus. Le jus peut directement fermenter, créant un brassage ayant une teneur en alcool de 4%. Ce liquide peut être distillé jusqu'à 95%, dénaturé et employé en tant que tel ou être transformé en gel fuel, ou encore être déshydraté pour être utilisé comme biocarburant. L'énergie nécessaire peut être fournie par du bois de chauffage, disponible en abondance.

Entrées de processus

En ce qui concerne les inputs au processus, les quantités exigées pour une petite unité de production 1 000 m³/a est présentée dans le Tableau 6-6 ci-dessous.

- Besoins en matières premières - en obtenant 30 litres d'éthanol par tonne de pommes, les besoins annuels en pommes d'une usine produisant 1 000 m³/a d'éthanol sont environ de 33 333 tonnes.
- Energie - la chaleur nécessaire est estimée à 5 MJ/l, les besoins totaux en énergie annuels sont alors de 5 000 GJ. Ceci pourrait être produit par une chaudière à bois, brûlant approximativement 400 tonnes de bois par an. La consommation annuelle en électricité, à 0,15 kWh par litre, serait de 150 000 kWh par an.

- Besoins en eau - on estime à 5 litres d'eau consommée pour un litre d'éthanol produit, c'est-à-dire 5 000 m³ d'eau par an.
- Autres besoins - essentiellement de la levure.
- Dénaturants - par exemple, 1% de la masse totale de MEK (8,14 t/a) et 10g de Bitrex par m³ (10 kg/a).
- Gélifiants - par exemple 2% de la masse totale en Bermocol (19 kt/a).
- Besoins en main d'œuvre - environ 5 personnes.

Tableau 6-6 Entrées des usines d'éthanol / gel fuel de 1 000 m³/a

	Unité	unités/m ³ éthanol	unités/an
Matière première	tonnes	33,3	33 333
Chaleur	GJ	5	5 000
Electricité	kWh	150	150 000
Eau	m ³	5	5 000
Dénaturants			
MEK	kg	8,14	8 140
Bitrex	kg	0,01	10
Main d'oeuvre	etp	-	5
Gélifiant ^a	kg	17,0	19 000

^a Sur la base de 1 000 m³ d'éthanol (95%), environ 1 100 m³ de gel fuel (85%) peut être produit

Logistique

Après les coûts des matières premières, la logistique de la récolte est une question importante si la Pomme d'anacardier est utilisée. Le rendement en éthanol par tonne de pommes est modeste, mais également celui des pommes par ha cultivé. Une usine produisant 1 000 m³/a aurait besoin de 47 000 tonnes de pommes d'anacardier. Avec un rendement estimé à 3 tonnes de pomme par ha, la taille nécessaire pour la plantation serait presque de 16 000 ha.

- En ce qui concerne la récolte des matières premières, il y a deux possibilités : Les pommes fraîches sont récoltées et pressés toutes ensemble, ou bien la presse est décentralisée et le jus est ensuite rassemblé.

En raison de la période assez courte de la disponibilité des pommes d'anacardier, le stockage des matières premières pendant plusieurs mois sera nécessaire. L'idéal serait de stocker le jus (fermenté). Ceci devrait être fait dans des conditions anaérobiques, afin d'empêcher la transformation de l'alcool en acide acétique (vinaigre). Afin d'étendre la période de production de 3 à 6 mois, la moitié du jus consommé annuellement devra être stocké. Si 33 000 tonnes de pommes d'anacardier produisent à peu près 26 000 tonnes de jus, les besoins en stockage seraient de 13 000 tonnes, ou 13 000 m³.

6.3.2

Autres matières premières

- Production de sucre: il n'y a aucune industrie sucrière en Guinée Bissau. La canne à sucre est cultivée un peu partout pour la production du jus de canne et d'eau-de-vie, quoique à petite échelle. La mission a pu recenser 5 compagnies produisant au total 250 m³ de jus de canne par an. En raison du petit niveau de production, les coûts de

canne indiqués (~30 000 FCFA/t) sont beaucoup trop élevés pour leur utilisation en tant que matière première pour l'éthanol.

- Transformation des fruits : il n'y a aucune industrie de traitement des fruits en Guinée Bissau.
- Produits amidonnés : il y a une production de riz, de mil et de manioc destinés à l'alimentation.
- La pourghère sert de haie pour entourer les champs de culture comme les maisons en milieu rural et périurbain. Cependant, la plante n'est pas récoltée et aucune estimation scientifique des quantités n'est disponible.

6.4 Evaluation financière

6.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des coûts d'investissement pour les usines d'éthanol (petite et grande taille), de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 6-7 ci-dessous. Les estimations sont basées sur les chiffres réels d'investissement de diverses études antérieures et sur des données issues de la littérature (Visser et al (2005), Mostert (2005)). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 6-7 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
Capacité (m ³ /an)	1 000	1 118	953
Investissements (kFCFA)	628 800	694 300	651 725

A cause de l'effet saisonnier de la disponibilité des pommes d'anacardier, les coûts d'investissement par unité de volume de production d'éthanol sont considérablement supérieurs par rapport à une situation où le manioc ou la mélasse servirait de base.

6.4.2 Coûts de production

Une vue d'ensemble des différents coûts de production de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre est donnée dans le Tableau 6-8.

Tableau 6-8 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	1 000	1 118	953
Matière première	166,7	149,1	174,9
Energie et eau	51,2	45,8	53,8
Autres entrées	12,5	66,9	6,8
Main d'oeuvre	1,4	1,3	1,5
Maintenance	18,9	17,5	21,9
Frais de capital	125,3	116,2	145,2
Coûts de production HT	376,0	396,8	404,0
Emballage et distribution	55,7	58,7	4,8
Coût de production vendu HT	431,7	455,5	408,8
Coût de production vendu TTC	509,4	537,6	482,4
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	25,2	28,4	22,6

Les données sur les coûts par unité des différents postes ont été en partie recueillies pendant cette étude et à partir d'études antérieures (Visser et autres (2005), Mostert (2005)).

- Les coûts des pommes d'anacardier sont fixés à 5 000 FCFA/t. Cela est largement au-dessous des prix du marché (au moins 25 FCFA/kg). Ces prix incluent le transport et une petite rétribution pour le fermier.
- Les coûts de la chaleur pour le processus (5 000 FCFA/GJ) sont basés sur les prix des combustibles en bois. Les coûts de l'électricité sont basés sur les prix du réseau national (168 FCFA/kWh). Les coûts de l'eau sont basés sur les prix réels (205 FCFA/m³).
- Les autres besoins concernent les produits chimiques et les dénaturants. Les coûts sont des estimations basées sur Visser et autres (2005) et Mostert (2005).
- La maintenance annuelle est égale à 3% du coût d'investissement.
- Les frais financiers sont calculés à l'annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de distribution incluent le transport (jusqu'à 50 km) à 63 FCFA/t/km. La marge du distributeur pour l'éthanol et le gel fuel est 12%.

Le tableau révèle la situation suivante:

- La majorité de coûts de production sont les coûts des matières premières. Pour une production d'éthanol (95%), ils prennent un part de 44% des coûts de production. Pour le gel fuel et le biocarburant, leurs parts sont respectivement de 38% et 43%.
- D'autres facteurs importants pour les coûts sont les frais financiers (environ 30-35% des coûts de production) et l'énergie (12-14% des coûts de production).
- Pour le gel fuel, « autres intrants » est un facteur dominant, comprenant 17% des coûts de production. Ceci est provoqué par le coût élevé du gélifiant.
- Les marchés de combustibles domestiques (éthanol, carburants en gel) sont des marchés de consommation, nécessitant des coûts considérables pour l'emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant, ceci se limite uniquement aux coûts de transport.

6.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 6-9 montre les prix estimés de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant, et les niveaux de prix réels du kérosène, du butane et de l'essence. Les prix des combustibles à base d'éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 6-9 Prix des combustibles conventionnels et les combustibles à base d'éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	509	538	430	533	482	736
CFA/MJ (TTC)	25,2	28,4	12,2	11,7	22,6	22,2
CFA/MJ (HT)	21,4	24,0			18,9	

^a Les niveaux des prix combustibles à base d'éthanol excluent les droits d'accises

A partir des données du tableau, on peut déduire ce qui suit:

1. Le prix du carburant liquide est approximativement 12% au-dessus de celui de l'éthanol (95%).
2. Le prix de l'éthanol (95%) est de 107% supérieur aux prix du marché du kérosène (pour le même rendement énergétique) et 117% supérieur aux prix du butane. Pour le gel fuel, ces valeurs sont respectivement de 132% et de 143%.
3. L'indice de prix des biocarburants est seulement de 2% supérieur à celui de l'essence (vis-à-vis du rendement énergétique).

Malgré le prix relativement élevé du butane en Guinée Bissau, l'éthanol et le gel fuel sont loin d'être compétitifs. Le grand écart de prix entre les combustibles domestiques à base d'éthanol et le butane est dû aux coûts de production élevés de l'éthanol à cause du coût des matières premières et par la faible utilisation des installations de production.

En outre, le prix de l'éthanol anhydre (biocarburant) est trop élevé pour servir de combustible domestique, ce qui signifierait qu'un producteur d'éthanol vendrait plutôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tels, le prix (par MJ) de l'éthanol comme substitution au butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l'éthanol anhydre en tant que biocarburant. La valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 47% au-dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant.

Analyse de sensibilité

Les Figures 6-1 à 6-3 montrent la sensibilité des niveaux de prix du marché (TTC) de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant en cas de variation des coûts de la matière première, du coût d'investissement et des coûts énergétiques.

- Pour chacun des trois produits, la sensibilité aux coûts des matières premières et aux frais financiers est haute, en raison de la part très élevée de ces coûts dans la formation du coût de production. Une variation de 30% des coûts des matières premières provoquerait un changement de 11-13% des prix du marché éventuel ; une fluctuation de 30% des frais financiers aurait comme conséquence un changement de 10-12%.
- La sensibilité aux variations des autres paramètres est moindre, c'est-à-dire seulement 3-4% pour les coûts énergétiques et les gélifiants.

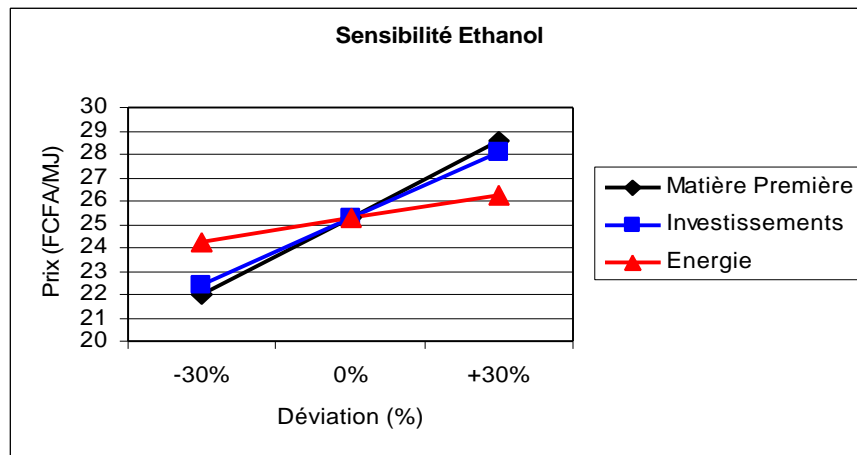


Figure 6-1 Analyse de sensibilité pour la production d'éthanol

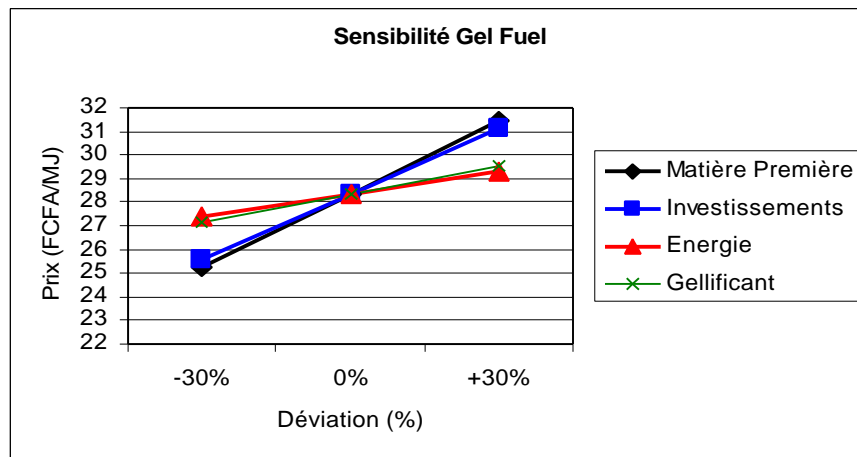


Figure 6-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

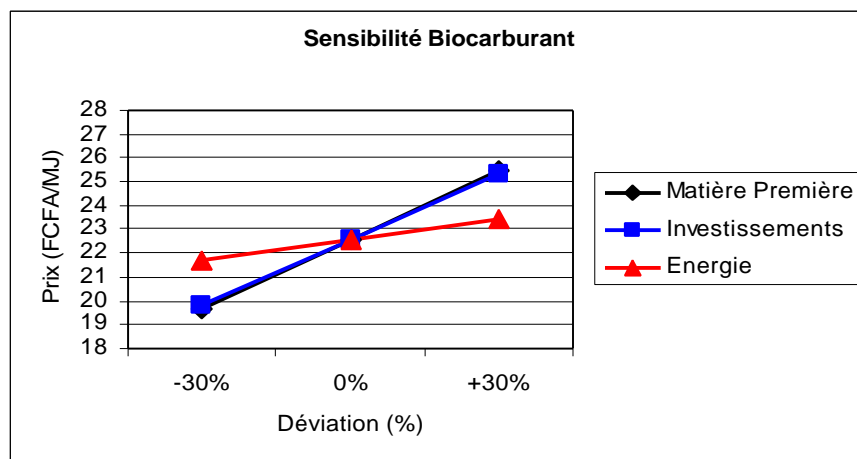


Figure 6-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

Indicateurs financiers

Le Tableau 6-10 ci-dessous présente les coûts des investissements, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et les revenus (net des coûts de distribution et de

TVA) des usines de grande taille, en supposant que les prix de vente seront égaux aux prix calculés du marché présentés dans le tableau ci-dessus¹³.

Tableau 6-10 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	628 800	694 300	651 725
Coûts de production (net des frais financiers)	250 714	313 651	246 632
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	376 003	443 508	384 973
Flux de trésorerie annuel net	125 290	129 858	138 341
TRI	15%		
TRS	5,0		

Noter que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus élevés que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par une subvention ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couvert par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants pourrait avoir les avantages économiques pour la Guinée Bissau dans l'ensemble :

- Réduction de la dépendance sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut substituer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ de l'éthanol anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence. Les substitutions de combustibles fossiles pourraient s'élever à 10 000 m³/an (Tableau 3-13).
- Réduction des devises étrangères (forex) dépensées sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 140 FCFA de dépense de forex sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 191 FCFA de dépense de forex sur l'essence¹⁴. L'épargne totale de forex sur 10 000 m³/an d'éthanol est donnée dans le Tableau 3-13.
- Impulsion économique et création d'emploi, dans le secteur de production d'éthanol et le secteur agricole.

¹³ Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

¹⁴ Les prix réels de l'essence en gros en Guinée Bissau n'était pas disponibles ; les chiffres présentés sont basées aux prix au Sénégal

Tableau 6-11 Remplacement de combustibles fossiles et Forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex total épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz Butane	441	4 413	140	619
Gel fuel	Gaz Butane	415	4 634	125	580
Biocarburant	Essence	644	6 140	191	1 171

6.5

Conclusions

En Guinée Bissau, la pomme d'anacardier semble actuellement être la matière première la plus susceptible d'être utilisée pour la production d'éthanol. Sa production annuelle est estimée à 400-600 mille tonnes, dont seulement 30% est employée pour la production de jus, de vin et d'eau-de-vie. Si les 70% restant pouvaient être employés à la production d'éthanol, le potentiel de production d'éthanol serait environ de 8 400-12 600 m³/a.

Malgré les niveaux relativement élevés des prix du marché du butane en Guinée Bissau, l'éthanol et le gel fuel sont considérablement plus chers (pour un même rendement énergétique), respectivement de 117% et 143%. Cependant, l'éthanol anhydre semble être compétitif vis-à-vis de l'essence, avec un indice de prix seulement de 2% supérieur à celui de l'essence actuelle.

7 EVALUATION PAYS : LE MALI

7.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

- Situation :** Pays enclavé de l'Afrique sahélienne. 1 240 000 km². Capitale : Bamako.
- Climat :** Tropical humide au sud, plus sec au centre et désertique au nord.
- Population :** 10,6 millions d'habitants, dont 29% vivent en zones urbaines. Faible densité moyenne de population : 9 hab./ km².
- Economie :** Croissance irrégulière du Produit Intérieur Brut : +4% par an au cours de la période 1990-1999. PIB par habitant en 1999 : 235 US\$. Pouvoir d'achat par habitant : 750 \$.

L'approvisionnement énergétique du Mali est en quasi-totalité couvert par les combustibles traditionnels. Du fait d'un bon potentiel hydroélectrique, la production d'électricité est à 60% d'origine hydraulique. Les produits pétroliers sont entièrement importés.

La consommation de biomasse est quasi exclusive en milieu rural et dominante dans les centres urbains, tandis que le pétrole satisfait l'essentiel de la consommation finale d'énergies conventionnelles (93%). La majeure partie de l'électricité (90%) est absorbée par la région de Bamako.

Les Institutions et Politique Energétique

Le Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique par le biais de la Direction Nationale de l'Hydraulique et de l'Energie (DHNE), est responsable de l'élaboration de la politique énergétique, de l'organisation générale du secteur, de l'étude et de la réalisation des ouvrages hydroélectriques et de la tutelle du secteur électrique.

La CREE, **Commission de Régulation de l'Electricité et de l'Eau**, assure la régulation du service public de l'électricité.

L'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) qui rassemble le Mali, la Mauritanie, le Sénégal et la Guinée-Conakry, a développé la centrale de Manantali.

Le Ministère des Finances et du Commerce assure quant à lui la tutelle de l'Office National des Produits Pétroliers (ONAP) qui a pris la suite de la société Pétrostock et de l'Office de Surveillance et de Régulation des Prix. Cet établissement public à caractère commercial est chargé de la planification, régulation et réglementation du secteur. La gestion des ressources forestières est du ressort du Ministère du Développement rural et de l'Environnement.

Bien que la situation du couvert forestier ne soit pas encore critique, la croissance de consommation de la biomasse prévue pour les années à venir (3% par an environ) a conduit le pays à adopter un Plan National de Lutte contre la Désertification. Son but est d'encourager les économies d'énergie (développement des foyers améliorés) et de favoriser la substitution du bois par le GPL (création d'un Plan National pour les Economies d'Energie), ainsi que de promouvoir les actions en vue d'une meilleure gestion à la fois de la production de bois et de sa commercialisation (augmentation des taxes forestières).

7.2 Le marché des énergies domestiques

La population du Mali est essentiellement rurale. En 2005, sur une population d'environ 11 millions de personnes, on dénombre 552 010 ménages urbains et 1 288 023 ménages ruraux.

Tableau 7-1 Evolution de la population du Mali

	2 003	2 004	2 005	2 006	2 007
Population	10 597 511	10 809 461	11 025 650	11 246 163	11 471 087
No. de ménage	1 768 583	1 803 954	1 840 033	1 876 834	1 914 371
Ménage urbain	530 575	541 186	552 010	563 050	574 311
Ménage rural	1 238 008	1 262 768	1 288 023	1 313 784	1 340 060

Source : Sanogo (2006)

Types de combustibles de cuisson utilisés

Plusieurs types de combustibles domestiques sont utilisés au Mali. Les ménages maliens se caractérisent le plus souvent par la coexistence de deux voire trois ou quatre combustibles. Cependant, le principal combustible est le plus souvent le bois, notamment en milieu rural et le charbon de bois en milieu urbain. Les consommateurs spéciaux (boulangeries, pâtisseries, gargotes, bijoutiers, blanchisseurs, etc.) utilisent exclusivement le bois-énergie comme combustible.

- **Les combustibles ligneux** : le bois de chauffe et charbon de bois. Ils constituent la quasi-totalité des combustibles utilisés par les ménages et les consommateurs spéciaux.
- **Les combustibles pétroliers** : le gaz butane et le pétrole lampant. Ces combustibles sont importés donc chers par rapport au bois et au charbon de bois. Si le gaz butane continue d'être présent sur le marché à cause essentiellement de la subvention accordée par le gouvernement, le pétrole n'arrive pas du tout à s'imposer comme combustible de cuisson comme tenu de son coût élevé.
- **Les résidus agricoles & agropastoraux** : tiges de mil ou d'autres céréales, bouse de vache, crotte de chameaux. Ces résidus sont effectivement utilisés comme combustible d'appoint dans certaines zones du Mali, notamment en période froide. Leurs utilisations sont périodiques (après les récoltes et le passage des animaux).
- **Les briquettes combustibles** : produites à partir de poussier de charbon ou de tiges de cotonniers carbonisées et bientôt de typha australis, les briquettes combustibles font une entrée très timide sur le marché malien des combustibles domestique, malgré la grande expérience nationale en matière de briquetage et d'agglomération.

7.2.1 L'analyse de la demande et l'offre

La biomasse occupe une place centrale dans la consommation énergétique nationale du Mali. En effet, la satisfaction des besoins énergétique du Mali (forte demande en bois-énergie des centres urbains et autoconsommation rurale) repose encore quasi exclusivement sur l'utilisation de la biomasse. L'analyse des bilans énergétiques le confirme aisément.

Combustibles ligneux

Selon une enquête de consommation de combustibles domestiques au Mali (CILSS, 2004), la consommation globale en combustibles ligneux des ménages au Mali a été estimée à plus de 7 millions de tonnes/an. Ce chiffre est assez proche des consommations estimées par les services centraux de l'Etat ; celle des consommateurs spéciaux à plus de 800 000 tonnes/an.

Tableau 7-2 Consommations des ménages urbains et ruraux selon CILSS/PREDAS (2004)

Total bois consommé (tonnes)	5 092 352
Total charbon consommé (tonnes)	416 163
Equivalent bois (tonnes)	2 913 141
Consommation globale (tonnes)	8 005 493
Tertiaire/administration(tonnes)	- 813 173
Consommation des ménages (tonnes)	7 192 320

Source : CILSS/PREDAS (2004)

Les produits pétroliers

La consommation de gaz butane demeure encore assez faible malgré les efforts soutenus du Gouvernement du Mali en termes de subvention. Les consommations spécifiques sont très difficiles à déterminer parce que le gaz butane est utilisé, dans la plus part des cas, comme combustible d'appoint et pour certaines situations spécifiques (mois de carême

par exemple). Ainsi les bouteilles de 6 kg de gaz durent souvent jusqu'à trois mois dans certains ménages. La consommation annuelle des ménages croît régulièrement d'année en année.

Tableau 7-3 Consommation de gaz butane (tonnes)

	2000	2001	2002	2003
Ménages	2 564	2 397	2 456	2 863
Hôtels & restaurants	167	186	188	130
Industries	87	100	96	77
Total	2 818	2 683	2 740	3 070

Source : Sanogo (2006)

La consommation de kérosène pour la cuisson d'aliment est insignifiante. Tout le kérosène importé sert essentiellement à l'éclairage en milieu rural.

7.2.2 Les prix des énergies domestiques

Bois et charbon de bois

Les prix du bois et du charbon varient d'une ville à une autre. Le Tableau 7-4 présente les développements de niveau des prix dans la période 2000-2002. Selon les observations des consultants, dans ce moment le prix de charbon de bois à Bamako est autour 150 FCFA/kg.

Tableau 7-4 Prix du bois et charbon de bois

Villes	Bois (FCFA/kg)			Charbon de bois (FCFA/kg)		
	2000	2001	2002	2000	2001	2002
Bamako	29	24	24	87	85	85
Sikasso	18	18	18	92	60	60
Koutiala	32	21	21	61	55	55
Ségou	33	18	18	56	59	59
Niono	40	25	25	81	51	51
Mopti	39	23	23	131	75	75
Tombouctou	49	35	35	136	141	141
Gao	35	30	30	101	67	67

Source : Sanogo (2006)

Les produits pétroliers

Les prix connaissent une forte augmentation ces derniers moments compte tenu des soubresauts du marché international. Le prix du gaz butane, à la consommation populaire, demeure stable à 320 FCFA/kg, cause de la subvention de l'Etat. Cette subvention augmente d'année en année car le prix du kg de gaz butane se situe au-delà de 550 FCFA/kg (Sanogo, 2006).

Le prix du litre de pétrole reste dépendant du marché international ; à la date d'aujourd'hui le litre de pétrole est vendu à la pompe tourne au tour de 450 FCFA/litre mais le plus souvent il est introuvable dans les stations d'essence.

7.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Le bois de feu reste encore largement dominant dans le panier de la ménagère ; suivi du charbon de bois dans quelques milieux urbains. La biomasse sèche carbonisée fait une entrée timide malgré le dynamisme du secteur privé Malien tandis que le gaz butane a du mal à pénétrer. Le kérosène se cantonne encore comme source d'éclairage pour les zones non électrifiées.

D'un point de vue rapport valeur calorifique – prix sur le marché, l'éthanol de cuisson devra se positionner sur le gaz butane avec un prix sur le marché de 7 FCFA par MJ.

Tableau 7-5 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	24	1,6
Charbon du bois	kg	27,0	150	5,6
Butane	kg	45,7	320	7,0
Kérosène	l	35,3	450	12,8
Essence	l	33,1	615 ^a	18,6
Gasoil	l	36,6	510 ^a	13,9
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	141	7,0
Gel fuel	l	19,0	133	7,0
Biocarburant	l	21,4	396	18,6

^a source : www.izf.net

7.3 Production potentielle

7.3.1 Industrie sucrière - SUKALA / MARKALA

SUKALA

Actuellement, l'industrie du sucre au Mali se résume à deux usines de sucre (situées à Dougabougou et Siribala), toutes deux dirigées par la compagnie SUKALA SA. La compagnie possède 5 000 ha de terres dédiées à la culture de cannes, produisant annuellement approximativement 35 000 tonnes de sucre. Une vue d'ensemble des données de production est fournie dans le Table 7-6 ci-dessous.

La majeure partie de la mélasse est employée pour la production d'éthanol (voir ci-dessous) ; le reste est vendu en tant qu'aliments pour animaux ou à l'industrie agro-alimentaire. Les deux sucreries ont des unités de production pour transformer la mélasse en éthanol, mais seule l'unité de Dougabougou est fonctionnelle. L'énergie est assurée par la sucrerie, de sorte que la production d'éthanol a lieu en parallèle de la production de sucre. Cependant, une chaudière devrait être construite, permettant à la production de

continuer après que la sucrerie soit arrêtée. Dans ce cas, toute la mélasse sera employée pour la production d'éthanol. La production d'éthanol augmentera alors de 30-60%.

Tableau 7-6 Production de SUKALA en chiffres

Superficie cultivée par de la canne à sucre (ha)	5 000
Production de canne (t/a)	400 000
Production de sucre (t/a)	35 000
Production de mélasse (t/a)	8-10 000
Mélasse utilisée pour l'éthanol (t/a)	6 000
Production d'éthanol 95 (m ³ /a)	2 300
Coûts de production (FCFA/l)	350
Prix en gros TTC (FCFA/l)	661
Prix au détail TTC (FCFA/l)	708

Source: SUKALA (2006)

Actuellement, plus de la moitié de l'éthanol est vendu à l'industrie pharmaceutique et aux industries de produits alimentaires et de boissons au Mali. De grandes quantités (autour de 1 million de litres par an) sont exportées vers le Burkina Faso.

Par le passé, il y eut des tentatives pour employer l'éthanol comme un biocarburant. Afin d'alléger la facture pétrolière du pays un projet de production de carburant (essence 5 à 30% d'alcool) a été initié en 1983 avec l'aide de la Banque Mondiale. L'objectif était de produire de l'alcool anhydre (99,6%) qui allait être pris en charge par le secteur privé qui s'occupe de la distribution des hydrocarbures pour le mélange et la distribution. Les premières expériences conduites à SUKALA ont porté sur un mélange à 6% d'alcool. Les installations ont été mises en place en 1989, mais après la phase d'essai elles n'ont plus jamais fonctionné, car entre temps le prix de l'essence avait chuté et le carburant n'était plus compétitif comparé à l'essence.

A présent, les possibilités d'augmentation de la production de SUKALA sont limitées par le manque de d'énergie. Si toute la mélasse disponible serait transformée, la production annuelle d'éthanol serait augmenter de 1 500 m³/an.

MARKALA

La construction d'une nouvelle sucrerie de taille importante, avec des installations pour la production d'éthanol, est projetée à MARKALA. Les données de production et la future production d'éthanol théorique sont présentées dans le Tableau 7-7.

Tableau 7-7 Production de la sucrerie de MARKALA en chiffres

Superficie cultivée par de la canne à sucre (ha)	15 000
Production de sucre (t/a)	170 000
Production de mélasse (t/a)	61 000
Production d'éthanol (m ³ /a)	18 000

Source: SUKALA (2006)

Le potentiel de production d'éthanol de la nouvelle usine de MARKALA sera une base solide pour la production d'éthanol à des fins énergétiques.

Processus de production

La mélasse de canne à sucre est diluée pour réduire son taux en sucre aux niveaux fermentescibles (autour de 20%). La mélasse diluée peut fermenter dans les cuves à fermentation, qui sont maintenues à la température optimale de fermentation. La réutilisation des levures permet de garder les concentrations en levure à des niveaux suffisants, ne requérant ainsi pas d'approvisionnement continu en levure. La distillation du produit fermenté produit un éthanol 95, qui peut être dénaturé et emballé en tant que tel ou gélifié ou encore déshydraté pour former l'éthanol anhydre. La puissance et la chaleur sont assurées par la sucrerie.

L'usine a une production continue sur approximativement 6-8 mois par an.

Besoins du processus

Le Tableau 7-8 ci-dessous donne les besoins pour une production de 18 000 m³/a d'éthanol à partir de mélasse.

Tableau 7-8 Entrées des usines d'éthanol / gel fuel de 18 000 m³/a

	Unité	unités/m ³ éthanol	unités/an
Matière première	tonne	3,4	61 000
Chaleur	GJ	5	90 000
Electricité	MWh	150	2 700
Eau	m ³	10	180 000
Dénaturants			
MEK	kg	8,14	147 520
Bitrex	kg	0,01	180
Main d'oeuvre	etp	-	20
Gélifiant ^a	kg	17,0	342 000

^a Sur la base de 1 000 m³ d'éthanol (95%), environ 1 100 m³ de gel fuel (85%) peut être produit

- Besoins en matières premières - la production estimée de mélasse de la sucrerie de MARKALA est de 61 000 t/a à partir de laquelle 18 000 t/a d'éthanol peuvent être produits.
- Besoins en énergie - pour un besoin en chaleur de 5 MJ/l, les besoins en énergie annuels totaux seraient de 90 000 GJ. La consommation annuelle d'électricité, à 0,15 kWh par litre, serait de 2 700 000 kWh.
- Besoins en eau - avec 10 litres d'eau consommée par litre d'éthanol, le besoin en eau serait de 18 000 m³/a.
- Autres besoins - surtout des produits chimiques pour la levure.
- Dénaturants - par exemple 1% de la masse totale de MEK (147,5 t/a) et 10 g de Bitrex par m³ (180 kg/a).
- Gélifiant - par exemple 2% de la masse totale en Bermocol (342 t/a).
- Besoins en main d'oeuvre - environ 20 personnes.

Sous-produits

Le principal sous-produit de la production d'éthanol à partir de la mélasse est la vinasse, c'est-à-dire ce qui reste du lavage après distillation. Elle peut être réutilisée dans les champs de canne comme engrais, comme cela se fait au Brésil.

7.3.2 Autres matières premières

- Le Mali produit différentes sources d'amidon, en particulier le mil, le maïs et le sorgho (autour de 800, 600, et 300 kilotonnes par an en moyenne dans la période 2000-2004). Cependant, ces récoltes sont exclusivement destinées à l'alimentation humaine;
- Aucune industrie spécifique de traitement de fruits n'a été identifiée au Mali.
- Aucune tentative de production ou d'utilisation du sorgho sucré n'a été identifiée au Mali; son utilisation exigerait une étude agronomique comparant la production de la canne à sucre et du sorgho sucré.
- Le Mali possède plus de 800 000 hectares de terres exploitables pour la production de bioénergie à travers l'office du Niger et le long du fleuve Sénégal.

7.4 Evaluation financière

7.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des coûts d'investissement pour les usines d'éthanol (petite et grande taille), de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 7-9. Les estimations sont basées sur les chiffres réels d'investissement de diverses études antérieures et sur des valeurs issues de la littérature (Visser et al (2005), Shapouri et Gallagher (2005)). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 7-9 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
Capacité (m ³ /an)	18 000	20 118	17 151
Investissements (kFCFA)	4 716 000	4 814 250	4 781 500

7.4.2 Coûts de production

Une vue d'ensemble des différents coûts de production de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre est fournie dans Tableau 7-10. Les données sur les coûts par unité des différents postes ont été en partie recueillies pendant cette étude et des études antérieures (Visser et autres (2005), Shapouri et Gallagher (2005)).

Tableau 7-10 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	18 000	20 118	17 151

Matière première	101,7	91,0	106,7
Energie et eau	40,9	36,6	42,9
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	0,9	0,8	1,0
Maintenance	7,9	7,1	8,4
Frais de capital	52,2	47,4	55,9
Coûts de production HT	211,6	245,8	217,1
Emballage et distribution	35,2	40,6	3,4
Coût de production vendu HT	246,8	286,3	220,5
Coût de production vendu TTC	291,3	337,9	260,1
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	14,4	17,8	12,2

- Les prix de la mélasse sont fixés à 30 000 FCFA/t. Les indices des prix de la mélasse utilisée comme aliment pour bétail sont considérablement plus élevés (90 FCFA/kg) mais ceci concerne les prix du marché au détail.
- La chaleur et l'électricité pour le processus sont obtenues à partir de la sucrerie. Le prix de la chaleur est basé sur celui courant au Sénégal (4 000 FCFA/GJ), celui de l'électricité est basé sur le prix du réseau national (105 FCFA/kWh).
- Le prix de l'eau est fixé par la compagnie de l'eau, soit 512 FCFA/ m³.
- L'entretien annuel est 3% de coûts d'investissement.
- Les prix pour des dénaturants et des produits chimiques sont basés sur Visser et autres (2005).
- Les coûts en main-d'œuvre sont basés sur les salaires moyens plus les avantages (70 800 FCFA/a).
- Des frais financiers sont calculés avec une annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de la distribution incluent le transport, jusqu'à 50 kilomètres pour l'éthanol et le gel fuel, et 100 kilomètres pour le biocarburant, à un prix de 45 FCFA/t/km. Une marge de distribution de 12% est donnée pour l'éthanol et le gel fuel.

Les tableaux révèlent la situation suivante:

- La majorité de coûts de production est due aux coûts des matières premières. Pour la production d'éthanol (95%) et de biocarburant, ils sont responsables de presque 50% des coûts de production. Pour le gel fuel, ils le sont à hauteur de 37%. Les autres coûts sont les frais financiers (respectivement de 20% et 25% pour le gel fuel et l'éthanol/biocarburant) et les dépenses énergétiques (10% et 15% des coûts de production).
- Dans le prix du gel fuel, « autres intrants » est un facteur dominant, comprenant 26% des coûts de production. Ceci est dû au gélifiant, qui est responsable de 22% des coûts de production.
- Les marchés des combustibles domestiques (éthanol, gel fuel) sont des marchés de consommation, nécessitant des coûts considérables pour l'emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant, ces coûts se limitent au transport.

7.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 7-11 montre les prix estimés de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant, et les niveaux de prix réels du kérosène, du butane et de l'essence. Les prix des combustibles à base d'éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 7-11 Prix des combustibles conventionnels et les combustibles à base d'éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	291	338	500	320	260	615
CFA/MJ (TTC)	14,4	17,8	14,2	7,0	12,2	18,6
CFA/MJ (HT)	12,2	15,1			10,2	

^a Les niveaux des prix combustibles à base d'éthanol excluent les droits d'accises

A partir des données du tableau, on peut déduire ce qui suit:

1. Le prix du gel fuel est approximativement 24% au-dessus de celui de l'éthanol 95.
2. Le prix de l'éthanol 95 est 106% plus élevé que celui du butane.
3. Le prix du gel fuel est 155% au-dessus de celui du butane.
4. L'indication du prix du biocarburant est approximativement 34% au-dessous de celui de l'essence, sur une base énergétique.

Les prix de l'éthanol et de gel fuel sont ainsi largement au-dessus des prix courants du marché du butane. Cependant, selon Sanogo (2006), les prix du butane sont maintenus artificiellement à un taux assez bas afin de laisser ce gaz de cuisson à un prix abordable. Les prix réels sont de l'ordre de 550 FCFA/kg (environ 12 FCFA/MJ) ; comparé à ce prix, l'éthanol serait 20% plus cher.

Le prix minimum estimé du bioéthanol (sur une base énergétique) est au-dessous de celui de l'essence. Si le biocarburant pouvait être vendu au même prix (18,6 FCFA/MJ), son prix serait 396 FCFA/l.

En plus le niveau des prix de l'éthanol anhydre (biocarburant) est significativement plus élevé que le niveau des prix possible comme combustible domestique, qui signifierait qu'un producteur d'éthanol vendrait plus tôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tels, le prix (par MJ) de l'éthanol comme substituant au butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l'éthanol anhydre en tant que biocarburant. La comparaison démontre que la valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 62% au-dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant. Un alignement au niveau des prix non-subsventionnée donnerait 35%.

Analyse de sensibilité

Les Figures 7-1 à 7-3 montrent la sensibilité des niveaux de prix du marché (TTC) de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant pour des variations des coûts de la matière première, des coûts d'investissement et des coûts énergétiques. Cela concerne les niveaux des prix pour les grandes capacités de production.

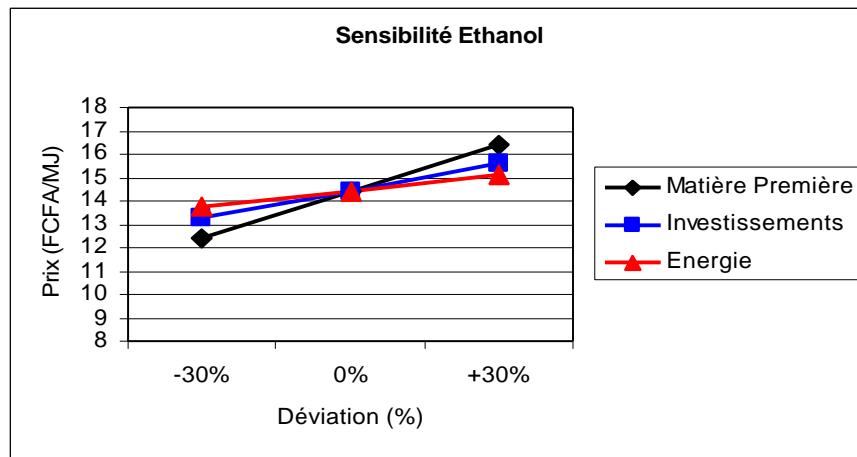


Figure 7-1 Analyse de sensibilité pour la production d'éthanol

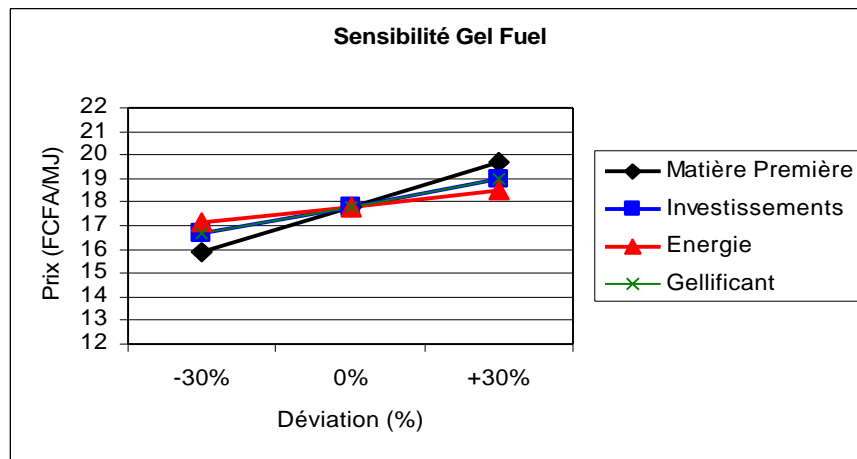


Figure 7-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

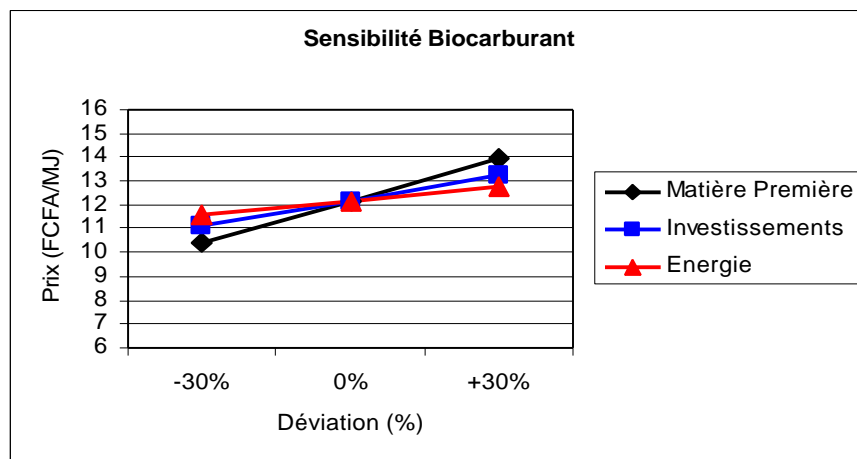


Figure 7-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

- Pour chacun des trois produits, la sensibilité aux fluctuations des matières premières est haute, en raison de la participation relativement élevée de ces coûts sur tous les

coûts de production. Une variation de 30% provoquerait un changement de 11-15% des prix du marché.

- La sensibilité aux variations des autres paramètres est moins aigus, soit 6-9% pour des variations des coûts d'investissement et du gélifiant. La sensibilité aux variations des coûts énergétiques est encore plus faible (4-5%).

Indicateurs financiers

Le Tableau 7-12 présente les coûts d'investissement, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et les revenus (net des coûts de distribution et de TVA) des usines de grande taille, en supposant que les prix de vente seront égaux aux niveaux de prix calculés du marché présentés dans le tableau ci-dessus¹⁵.

Tableau 7-12 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	4 716 000	4 814 250	4 781 500
Coûts de production (net des frais financiers)	2 869 484	3 992 583	2 763 588
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	3 809 157	4 945 307	3 722 837
Flux de trésorerie annuel net	939 673	952 724	959 249
TRI	15%		
TRS	5,0		

Noter que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Des revenus plus attractifs et donc des niveaux plus élevés du TRI, peuvent être réalisés quand des produits sont vendus aux secteurs d'utilisation les plus offrants. Par exemple, l'éthanol anhydre pourrait être vendu au prix de 389 FCFA/l comme biocarburant. Le niveau de TRI monterait alors à 60%.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus élevés que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par une subvention ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couvert par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants présente des avantages économiques importantes pour le Mali dans l'ensemble.

- Dépendance réduite sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut remplacer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ d'éthanol

¹⁵ Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence¹⁶. Des substitutions des combustibles fossiles par 18 000 m³/an d'éthanol sont estimées dans le Tableau 7-13.

- Réduction des devises étrangères dépensées (forex) sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 188 FCFA de dépense de forex sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 340 FCFA de dépense forex sur l'essence. L'épargne totale de forex sur 18 000 m³/an d'éthanol est donnée dans le Tableau 7-13 .
- Création d'emploi dans le secteur de production d'éthanol.

Tableau 7-13 Remplacement de combustibles fossiles et forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m ³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz butane	441	7 944	188	1 490
Gel fuel	Gaz butane	415	8 341	176	1 470
Biocarburant	Essence	644	11 052	340	3 760

7.5

Conclusions

Bien que l'éthanol soit déjà produit au Mali à une échelle modeste, le vrai potentiel de production résidera principalement dans la nouvelle sucrière de MARKALA. Indépendamment de 170 000 tonnes de sucre, cette usine produira annuellement 61 000 tonnes de mélasse, pouvant être transformées en 18 000 m³ d'éthanol.

Cependant, comparés aux prix du butane, l'éthanol et le gel fuel sont considérablement plus chers (respectivement 106% et 155%). Même quand on considère les prix du butane non subventionnés; l'éthanol serait toujours 20% plus cher. Cet écart de prix pourrait être réduit uniquement avec des mesures structurelles de soutien (par exemple exemption de TVA et/ou subventions).

En comparant les prix d'achat de l'éthanol et de l'essence anhydre, il semble que les biocarburants pourraient être compétitifs. Les prix minimum des biocarburants sont 34% au-dessous des prix de l'essence. Si l'éthanol anhydre était vendu au niveau des prix du marché de l'essence (pour le même rendement énergétique, soit 396 FCFA/l), le TRI de l'usine d'éthanol atteindrait 60%.

¹⁶ Les prix réels de l'essence en gros en Guinée Bissau n'était pas disponibles ; les chiffres présentées sont basées aux prix au Niger.

8 EVALUATION PAYS : LE NIGER

8.1 Introduction



Source : CIA -
The World
Factbook

- Situation : Pays enclavé de l'Afrique sahélienne. 1 270 000 km². Capitale : Niamey.
- Climat : Un des pays les plus chauds du monde. Climat sec et désertique au nord, humide au sud.
- Population : 10,54 millions d'habitants, urbanisés à 20% et très concentrés le long de la frontière sud. Densité moyenne : 8,3 hab./ km².
- Economie : PIB par habitant : 190 US\$. Pouvoir d'achat par habitant 750 \$. Croissance économique soutenue depuis 1994 (4,6% par an en moyenne).

Le Niger est riche en minerais, en particulier d'uranium qu'il exporte (2/3 des recettes d'exportation) ainsi que du charbon. Il ne produit ni pétrole ni hydroélectricité. La majeure partie de son approvisionnement, tant pétrolier qu'électrique, provient du Nigeria. Ses ressources en bois de feu sont faibles et menacées. La biomasse représente 90% de la consommation énergétique finale. La consommation finale d'énergies commerciales augmente régulièrement depuis 1990 (environ 3% par an) après avoir fortement décru entre 1982 et 1986.

Les Institutions et Politique Energétique

Le secteur énergétique est contrôlé en grande partie par l'Etat. La Direction de l'Energie (DE) du **Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Industrie** est responsable de la politique énergétique et assure la tutelle des deux grandes entreprises énergétiques, sociétés d'économie mixte. **L'Office National des Ressources Minières (ONAREM)** représente l'Etat dans les deux sociétés mixtes d'extraction d'uranium. Le Secrétariat de la Présidence a sous sa tutelle directe le secteur pétrolier. Le Ministère de l'Hydraulique et de l'Environnement gère les ressources forestières et l'approvisionnement en bois. Le

Ministère du Commerce, des Transports et du Tourisme fixe les prix des produits pétroliers.

La privatisation du secteur électrique a été lancée officiellement en février 2001. Le principe de privatisation retenu repose sur la mise en place d'une société nationale de patrimoine, propriétaire des biens publics, et d'une société privée chargée de la production, la transmission et de la distribution d'électricité dans le cadre d'un contrat de concession et de gestion ; il sera créé un organe de régulation et un fonds national de l'électricité pour répartir les ressources financières du secteur.

Les grandes orientations de politique énergétique sont organisées autour de la réduction de la dépendance énergétique à l'égard du Nigeria, la diminution de la facture énergétique, une meilleure gestion des ressources forestières, une meilleure adéquation des approvisionnements énergétiques aux besoins de la population et l'élaboration d'un plan national de l'énergie.

Dans le cadre du projet Energie 2 mené en collaboration avec la Banque Mondiale, le Niger a totalement réformé l'exploitation et la commercialisation du bois. Les principales innovations consistent en un transfert aux communautés rurales de la gestion de l'exploitation (celles-ci percevant directement le produit des taxes versées par les exploitants et s'engageant à respecter des quotas d'exploitation) et en la mise en place d'un système de contrôle à l'entrée des villes. Ceci consiste à faire payer une taxe au bois entrant en ville, ce qui représente un changement par rapport aux systèmes de permis de coupe basés sur un volume mensuel de coupes. Parallèlement à ces efforts, le Niger tente de promouvoir la substitution du bois par le GPL ou le kérosène en pratiquant une politique de prix incitative tant sur le combustible que sur les réchauds.

Les objectifs de la politique énergétique du Niger suivant la déclaration de politique énergétique de Juillet 2004 sont les suivants :

Objectifs à court terme

- favoriser l'accès des pauvres aux services énergétiques modernes.
- améliorer la gestion des entreprises énergétiques,
- rationaliser les consommations énergétiques
- mettre en place un système de planification énergétique,
- accélérer la recherche pétrolière,
- promouvoir l'exploitation des ressources énergétiques nationales
- assurer une sécurisation de l'approvisionnement énergétique du pays ;
- assurer une coordination efficiente des intervenants dans le secteur, notamment les bailleurs de fonds ;
- améliorer la collecte et le traitement des données énergétiques.

Objectifs à moyen et longs termes

- réduire la dépendance énergétique à travers la valorisation des ressources nationales ;
- électrifier l'ensemble du territoire national, notamment en développant les interconnexions électriques ;

- mettre en valeur les ressources nationales, notamment les hydrocarbures, les énergies renouvelables ;
- développer les échanges énergétiques à travers les interconnexions des réseaux électriques, le gazoduc, la vulgarisation du charbon minéral etc. ...

8.2 Le marché des énergies domestiques

Le Niger compte environ 11 millions d'habitants avec un taux d'accroissement moyen annuel est de 3,9% en milieu urbain et 3,2% en milieu rural.

La consommation d'énergie au Niger est très faible et se caractérise par une prédominance de la biomasse énergie (94%) ; les autres sources n'interviennent qu'à hauteur de 4,7% pour les produits pétroliers et seulement 1,3% pour l'électricité, les énergies renouvelables représentent une quantité négligeable (0,1%).

Le taux d'électrification national est de l'ordre de 7,5% et même dans les localités électrifiées le taux d'accès se situe autour de 25%.

8.2.1 L'analyse de la demande et de l'offre

Produits ligneux

Tout comme l'offre, la demande nationale en produits ligneux n'est pas connue avec exactitude. Les estimations se font sur la base des coefficients. La consommation de charbon est très faible, le bois représentant la quasi-totalité des besoins.

En 1989, la Cellule Technique de Coordination des Foyers Améliorés (CTFED) a fait le point des enquêtes menées dans le domaine des énergies domestiques, ce qui a permis de standardiser la consommation selon le milieu à :

- grandes villes : Niamey, Maradi et Zinder 0,6kg/personne/jour
- milieu rural : autres villes et villages 0,8kg/personne/jour

En considérant les chiffres du dernier recensement général de la population (2001) et sur la base des données de la CTFED, l'évolution de la demande en bois énergie est la suivante :

Tableau 8-1 Evolution de la consommation de produits ligneux (tonnes)

Année	Besoins ruraux	Besoins urbains	Demande totale
2000	2 623 021	379 923	3 002 944
2001	2 704 443	393 872	3 098 314
2002	2 790 985	409 233	3 200 218
2003	2 880 296	425 193	3 305 489
2004	2 972 466	441 775	3 414 241
2005	3 067 585	459 005	3 526 589

Source: SIE Niger (2006)

Le charbon de bois

L'utilisation de charbon de bois comme combustible est marginale, pour preuve sa petite quantité commercialisée exclusivement à Niamey. Ce charbon de bois est utilisé par quelques ménages d'expatriés pour la cuisine, la grillade dans les restaurants et la préparation du thé.

Les combustibles fossiles

Les combustibles fossiles concerne le pétrole lampant (kérosène), le gaz butane, et le charbon minéral. Tableau 8-2 donne un aperçu de leur consommation.

Tableau 8-2 Consommation de pétrole lampant, gaz butane et charbon minéral

Année	Pétrole lampant (m ³)	Gaz butane (tonne)	Charbon minéral (tonne)
2000	11,892	901	126
2001	8,912	1,418	109
2002	11,009	1,096	641
2003	13,589	1,327	679
2004	13,995	1,357	806

Source: SIE (2006) Selon le SIE mis en place tout récemment au niveau du Ministère de Mine et de l'Energie, les informations sur la consommation gaz butane et le charbon carbonisé sont demandées auprès des sociétés distributrices et elles seront intégrées dès leur obtention.

- Kérosène (Pétrole lampant) : le pétrole lampant est surtout utilisé comme source de lumière en milieu rural et périurbaine et rarement pour la cuisson.
- Gaz butane : bien qu'en évolution constante ces dernières années la cuisson par le gaz reste encore très marginale au Niger.
- Charbon minéral carbonisé : il faut noter que la consommation du charbon minéral carbonisé est embryonnaire.

8.2.2 Les prix des combustibles domestiques

Le niveau des prix des combustibles domestiques n'a pas beaucoup varié : à titre d'exemple le tableau ci-dessous nous donne le prix moyen du kilogramme de bois dans la ville de Niamey.

Tableau 8-3 Variation des prix du bois dans la ville de Niamey (FCFA/kg)

Année													Moyenne
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
2001	34	32	31	37	33	36	36	39	34	35	35	37	34,6
2002	33	32	35	32	32	35	36	39	39	36	37	38	35,3
2003	35	37	37	31	31	35	35	38	38	41	38	38	36,8
2004	37	38	36	33	33	32	34	34	37	37	39	38	35,7

Source : CIMA international (2006)

Tableau 8-4 Prix au détail actuel (financier) par ville pour chaque énergie domestique (2004)

Ville	Bois ^a (FCFA/kg)	Charbon minéral (FCFA/kg)	Pétrole lampant (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA/kg)
Agadez	35	100	254	658
Diffa	35	100	254	704
Maradi	35	100	254	620
Tahoua	35	100	254	608
Zinder	35	100	254	648
Niamey	35	100	254	542

Source : CIMA international (2006) ^a Les prix du bois sont récoltés par Michel Matly (2003) que CIMA a retenu ^b Les prix du charbon minéral, pétrole et gaz sont fixés par l'autorité ministérielle et n'ont pas varié depuis 1998

- Pour ce qui est du pétrole lampant le prix observé à la pompe est de 240 FCFA/l mais le vrai prix au consommateur se situe dans une fourchette de 254 à 500 FCFA le litre à cause des intermédiaires. Ce prix à la pompe de 240 FCFA/l a été maintenu pendant près de 5 ans grâce une subvention. Présentement cette subvention a sauté et le pétrole lampant se vend à son prix de revient réel comme tous les autres combustibles.
- Le charbon minéral est vendu à un prix constant de 100 FCFA/kg sur toute l'étendue du territoire.
- Le prix du gaz butane n'a pas aussi varié depuis 1998.

8.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Malgré la très faible pluviométrie et le désert qui occupe une grande partie de son territoire, le Niger possède des traditions de cuisson alimentaires fortement encrées sur le bois de feu malgré les politiques successives du Gouvernement et des ONG pour changer les habitudes.

Tableau 8-5 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	35	2,3
Charbon minéral	kg	24,1 ^a	100	4,1
Butane	kg	45,7	542	11,9
Kérosène	l	35,3	254	7,2
Essence	l	33,1	593 ^b	17,9
Gasoil	l	36,6	555 ^b	15,2
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	239	11,9
Gel fuel	l	19,0	225	11,9
Biocarburant (éthanol)	l	21,4	382	17,9
Biocarburant (biodiesel)	l	36,6	527	15,2

Sources : ^a IEA (2004) ^b GdN (2005)

Le bois continue à satisfaire plus de 95% des besoins de cuisson. Curieusement, le charbon de bois n'a jamais pu pénétrer le marché malgré l'existence de grands centres urbains comme Niamey, Maradi, Zinder, etc.

Le butane a fait une faible pénétration ces dernières années grâce à l'ouverture du marché au secteur privé et l'installation de centre d'embouteillage comme celle de la SONIHY. Cependant, le butane ne représente pas encore une consommation supérieure à 1 500 tonnes par an (moins de 1% des besoins énergétiques).

Le charbon minéral, promu par les autorités publiques Nigériennes depuis des décennies, reste embryonnaire. Mais avec la création de la Société Nigérienne de Commercialisation du Charbon Minéral (SNCC), il est permis d'espérer son introduction massive à court terme.

A l'image des autres pays de l'UEMOA, l'introduction de l'éthanol de cuisson devra s'aligner sur la clientèle utilisant le gaz butane (centre urbain, aisance, type de cuisson). Le niveau de prix devra refléter celui du gaz butane.

En plus, un grand nombre d'initiatives et d'industriels locaux s'intéressent à la production de Pourghère. Un dialogue entre le secteur public et privé de ce pays est en cours et devra permettre de créer les conditions techniques, économiques et fiscales propice aux investissements dans la filière biocarburant.

8.3 Production potentielle

Pendant l'étude, il s'est avéré qu'il y avait potentiel très faible pour la production d'éthanol, du point de vue de la matière de base. Il n'y a aucune industrie du sucre, bien qu'il y ait une certaine production de canne à sucre dans le sud-est et à l'ouest du pays. Les niveaux de prix actuels (autour 50 000 FCFA/t, FAO (2006)) sont prohibitifs pour la production d'éthanol ; seuls les coûts de matière de base reviendraient à 625 FCFA par litre d'éthanol.

Il n'y a aucun secteur de transformation de fruits et aucun secteur d'anacardier. Des récoltes d'amidon, en particulier mil et sorgho, sont employées pour la consommation humaine.

D'autre part, il y a beaucoup d'intérêt pour la production d'huile de pourghère comme matière de base pour le biodiesel. Plusieurs entrepreneurs qui s'intéressent au pourghère ont été identifiés pendant la mission au Niger. Par conséquent, en ce qui concerne le Niger, l'étude se concentrera sur le potentiel de production de biodiesel.

8.3.1 Production de biodiesel

Comme le potentiel de production d'éthanol au Niger est très limité, les opportunités pour produire le biodiesel à partir de l'huile de pourghère ont été évaluées.

Plantation

Comme taille de production, une superficie de 10 000 ha est choisie. La production de graine, dans la situation stable, sera de 40 000 tonnes par an ; le potentiel annuel de production de carburant sera de 10 000 tonnes.

Usine de production de biodiesel

La base pour l'évaluation est une usine de biodiesel produisant 10 000 tonnes de biodiesel par an. Pour la technologie de production, un système comme présenté par Bioking est considéré; la technologie est efficace et les coûts d'investissements sont faibles.

Entrées de processus

- Graines de pourghère. Les quantités nécessaires sont de 40 000 tonnes de graines par an pour permettre la production 10 000 tonnes de biodiesel.
- Alcool - l'alcool le plus utilisé pour la production de biodiesel est le méthanol. Les quantités nécessaires, pour la technologie « Bioking », sont approximativement de 220 kg/m³ de biodiesel.
- Autres inputs - le catalyseur (par exemple soude caustique), l'énergie (électricité) et l'eau. Les montants exacts dépendent de la nature spécifique de l'usine et ne peuvent donc pas être fournis en ce moment. En termes de coûts, ils contribuent seulement modestement aux coûts de production.
- Les exigences de personnel pour une usine de 10 000 m³/a sont estimées à 30 personnes.

Sous-produits

- La glycérine de grande pureté peut est obtenue (11% de la production de biodiesel).
- Le tourteau résultant de la pression des graines de pourghère sera retourné à la plantation comme engrais organique ou utilisé comme source d'énergie.

8.4 Evaluation financière

8.4.1 Coûts des investissements

Les investissements dans un projet de biodiesel concernent les investissements dans une plantation de pourghère et dans l'usine de biodiesel. Le Tableau 8-6 ci-dessous donne des valeurs estimées de ces investissements.

Tableau 8-6 Indications des coûts d'investissement pour une plantation de pourghère et une usine de biodiesel

	Taille	Investissement (kFCFA)
Plantation (hors terrain)	10 000 ha	3 500 000
Usine biodiesel	10 000 m ³ /a	500 000

- Les indications de coût des investissements dans les plantations, à l'exclusion du terrain, sont d'environ 400-500 EUR/an en Asie (par exemple SRIPHL (2006),

DECD (2005), Riendadi (2006)). Le terrain pourrait être loué pour que les coûts soient inclus en coûts opérationnels annuels.

- Des coûts d’usine de Biodiesel sont basés sur des données concernant les coûts d’usine réels fournis par Bioking.

8.4.2 Coûts de production

Une évaluation des coûts de production par litre de biodiesel est fournie dans le Tableau 8-7 ci-dessous. Noter qu’elle concerne la partie de production de biodiesel, où des graines de pourghère sont achetées de la plantation à un taux fixe par tonne¹⁷. Ce prix inclut des investissements et des coûts opérationnels.

Tableau 8-7 Evaluations des coûts de production du biodiesel (FCFA/l)

Matière première	328	76%
Méthanol	58	13%
Autres coûts	31	9%
Frais financiers	10	2%
Coûts de production totaux	427	100%
Revenu du glycérol	72	
Coûts de production totaux nets	355	
Coûts de production totaux nets - TVA incl.	423	

Les calculs sont fondés sur les hypothèses suivantes :

- Les coûts de matière de base concernent les graines de pourghère, avec un prix de 82 FCFA/kg. Ce niveau des prix est conforme à plusieurs sources (par exemple Henning, 2002).
- L’utilisation de méthanol est de 22% (basé sur des valeurs réelles fournies par Bioking) et un niveau des prix de 262 kCFA/t.
- Les autres coûts incluent le travail, l’eau et l’énergie, dont le dernier est le plus important (300 kWh/m³ de biodiesel). Alternativement, un générateur électrogène fonctionnant au biodiesel pourrait être employé, mais ceci diminuerait le biodiesel annuel produit d’environ 10%.
- Les frais financiers sont basés sur une période de 10 ans avec un taux de 15%.

Suivant les indications du tableau, les coûts de production nets (sans impôt) sont approximativement de 355 FCFA par litre de biodiesel (423 FCFA/l avec la TVA). Les coûts en vrac du diesel sont approximativement de 498 FCFA/l (GdN, 2006) ; compensant les 5% de la consommation de carburant augmenté (voir 2.4), le biodiesel serait donc meilleur marché que le diesel fossile d’environ 11%.

¹⁷ Une évaluation complète des coûts opérationnels et d’entretien d’une plantation de pourghère n’a pas pu être faite dans le contexte de cette étude. Un calcul simple a été exécuté pour vérifier l’importance du prix de graine de pourghère.

8.4.3 Analyse financière

Le Tableau 10-8 montre les paramètres de coût pour une usine de biodiesel, basés sur l'investissement et les coûts de production présentés ci-dessus et un prix de ventes en vrac de 398 FCFA/l (HT).

Tableau 8-8 Vue d'ensemble des paramètres de coût pour une usine de biodiesel (kFCFA)

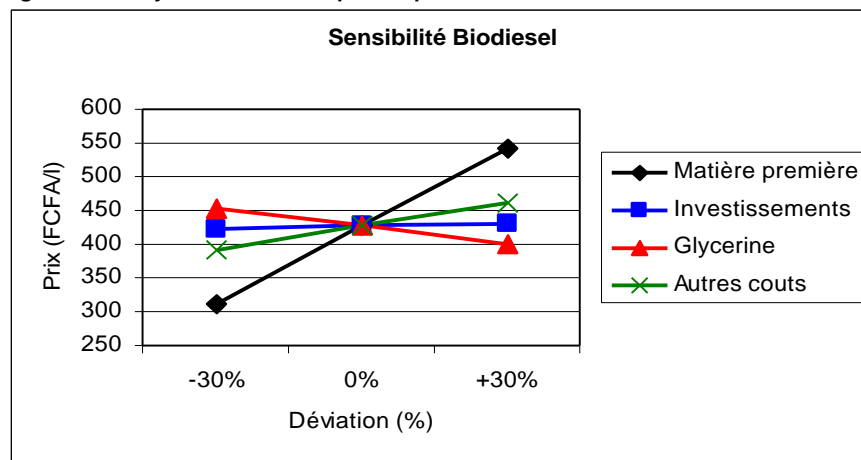
Coût d'investissement	500 000
Coûts de production annuels	4 168 500
Revenus annuels	4 690 630
Flux de trésorerie (cash flow) annuel	522 130
TRI	104%
TRS	1,0

En raison du niveau relativement faible des investissements (500 millions de FCFA) par rapport à au chiffre d'affaires total annuel (4,5 milliards FCFA/a), le cash flow annuel net est relativement haut ce qui donne un TRI élevé.

Sensibilité

La Sensibilité des coûts de production (TVA comprise) pour des possibles variations dans la structure des coûts de différents paramètres a été évaluée ; les résultats sont présentés dans la Figure 8-1.

Figure 8-1 Analyse de sensibilité pour la production de biodiesel



- La sensibilité au niveau des prix des graines de pourghère est de loin la plus aigue; Pour une augmentation des prix de graine de pourghère de 13%, les coûts de biodiesel sont égaux aux coûts diesel fossiles.
- La sensibilité aux variations des autres paramètres est plus faible : pour la glycérine, les investissements et d'autres inputs, elle est de 6%, 1% et 8% respectivement.

La sensibilité élevée au prix de graine de pourghère soulève une question importante. Bien que le prix utilisé pour la graine soit raisonnablement élevé, il dépendra finalement d'un grand nombre de facteurs tels que des rendements de la semence, des coûts opérationnels annuels et des coûts d'investissement par hectare. Tous ces facteurs sont spécifiques à la région. En outre, les investissements de plantation constituent la partie

principale de l'investissement total dans un projet de biodiesel (voir le Tableau 8-6 ci-dessus) et la plantation commencera seulement à produire des graines graduellement.

Avantages économiques

La production du biodiesel comme substituant au diesel fossile peut avoir les avantages économiques significatifs pour le Niger dans l'ensemble.

- Dépendance réduite vis-à-vis des carburants importés. Chaque litre de biodiesel (95%) peut remplacer approximativement 0,95 litre de diesel fossile. Les remplacements totaux de combustible fossile de la production présentée de biodiesel seraient ainsi 9 500 m³/an.
- Devises étrangères dépensées réduites sur les carburants des véhicules à moteur. Chaque litre de biodiesel épargne 415 FCFA des devises étrangères (473 FCFA/l pour le gasoil fossile moins le méthanol importé pour le procédé de production de biodiesel 58 par FCFA/l). L'épargne totale en forex serait ainsi 4,2 milliards de FCFA.
- Impulsion économique et création d'emploi au secteur agricole. Une nouvelle activité économique est créée avec un chiffre d'affaires annuel de 4,7 milliards de FCFA.

8.5 Conclusions

Le potentiel pour la production de l'éthanol est très petit au Niger. Le pays cultive très peu de canne à sucre et le niveau des prix est hors de portée pour être pris comme matières premières pour l'éthanol. Il n'existe pas d'industrie de transformation de fruits au Niger.

Cependant, il y a intérêt particulier pour la production du biodiesel à partir de l'huile de pourghère. Les premiers calculs de coût basés sur des estimations des différents facteurs de production indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au gasoil fossile (le prix étant 11% chers que le gasoil importé). Un point d'attention restant est la vérification des hypothèses, en particulier ceux des coûts de production de graine de pourghère.

9 EVALUATION PAYS : LE SENEGAL

9.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

Situation : Nord Ouest de l'Afrique, Ouest du Sahara, bordé par l'Océan Atlantique. 196 722 km². Capitale : Dakar.

Climat : Sec, tropical, semi-désertique.

Population : 9,3 millions d'habitants, urbanisés à 47% ; croissance démographique modérée (2,6% par an) ; densité de population 48 hab./ km².

Economie : PIB en forte progression depuis cinq ans (environ 5% par an). PIB par habitant : 510 US\$. Pouvoir d'achat par habitant : 1 400 \$.

Le Sénégal dispose de certaines ressources énergétiques, encore insuffisamment exploitées : hydroélectricité sur les fleuves Sénégal et Gambie, tourbe, gaz naturel, énergie éolienne sur la bande côtière, et énergie solaire. Enfin, l'équivalent de 4 Mm³ de bois est prélevé chaque année sur les ressources du pays.

Les consommations de pétrole et d'électricité croissent fortement depuis 10 ans (en moyenne 5% par an environ). Bois et charbon de bois couvrent environ 60% des besoins des consommateurs. Les transports absorbent environ 40% de la consommation de pétrole et l'industrie consomme environ la moitié de l'électricité.

Les Institutions et Politique Energétique

Le **Ministère des Mines et de l'Energie** par le biais de la Direction de l'Energie (DE) prépare et met en oeuvre la politique énergétique du pays et assure la tutelle des entreprises énergétiques nationales, parapubliques ou d'économie mixte.

La production et la commercialisation du bois sont placées sous la responsabilité du **Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature**. Le Ministère de l'Economie et des Finances joue un rôle important dans le financement des investissements et les modifications du système des prix.

Le développement des capacités hydroélectriques du Sénégal est confié à l'**Organisation de Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS)** qui réunit les quatre pays riverains (Mali, Mauritanie, Guinée et Sénégal). La mise en valeur du fleuve Gambie est confiée quant à elle à une autre organisation multinationale, l'OMVG.

Jusqu'en 1998, le secteur de l'énergie était régulé par un organisme unique : la **Commission Nationale de l'Energie (CNE)**. Depuis la libéralisation du secteur, deux organismes sont en charge de la régulation sous la tutelle du Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Hydraulique: le Comité National des Hydrocarbures et la Commission de Régulation du Secteur de l'Electricité.

Le **Comité National des Hydrocarbures (CNH)** a pour principaux rôles de déterminer les prix plafonds pour le pétrole et d'instruire les dossiers de demande de licences.

La Commission de Régulation du Secteur de l'Electricité (CRSE), autorité indépendante, est chargée de la régulation des activités de production, transport et distribution de l'électricité.

Une **Agence Sénégalaise pour l'Electrification Rurale (ASER)** a également été créée pour promouvoir et financer l'électrification rurale.

Les priorités du Sénégal en matière énergétique sont rassemblées dans le plan RENES 2000 (Redéploiement Energétique du Sénégal) qui succède au plan RENES 1981. Elles consistent en la préservation de l'environnement, le redéploiement de l'approvisionnement énergétique, la réhabilitation et la modernisation des infrastructures énergétiques, la promotion d'une politique de prix énergétiques plus attractive pour les entreprises et le développement de l'accès des ménages aux énergies modernes, en particulier en milieu rural.

Au début de l'année 1997, le Gouvernement a décidé un programme de réformes pour le secteur de l'énergie, incluant les actions suivantes :

- modification du cadre institutionnel du secteur électrique pour encourager le secteur privé à investir dans la production et la distribution, incluant la privatisation partielle de Senelec ;
- libéralisation du secteur des hydrocarbures avec l'abolition des monopoles existants (importation, raffinage, transport et distribution) et un ajustement automatique du prix des produits pétroliers sur les prix internationaux ;
- transfert aux collectivités locales de la gestion des ressources ligneuses, suppression progressive de la subvention au butane, et promotion de l'usage du kérosène.

9.2 Le marché des énergies domestiques

9.2.1 Analyse de l'offre et de la demande

Au Sénégal, le marché des combustibles domestiques est dominé par le bois de chauffe, le charbon de bois et le gaz butane. L'utilisation d'autres combustibles domestiques (comme le kérosène) est négligeable. L'évolution de la consommation par type de combustibles est indiquée ci-dessus tiré du système d'information énergétique de la direction de l'énergie¹⁸.

Tableau 9-1 Consommation de combustibles domestiques au Sénégal de 2000 à 2004 (tonnes)

Année	Bois de feu	Charbon de bois	Gaz butane	Kérosène
2000	1 118 524	337 943	93 997	18 582
2001	1 147 756	344 347	97 442	19 154
2002	1 171 582	349 203	102 288	20 297
2003	1 173 392	347 624	112 017	22 203
2004	1 180 771	352 832	122 196	16 295

Source : SIE - Sénégal (2006)

9.2.2 Le prix des énergies domestiques

Au Sénégal, le marché des combustibles domestiques est dominé par le bois de chauffe, le charbon de bois et le gaz butane. L'utilisation d'autres combustibles domestiques (comme le kérosène) est négligeable. Le Tableau 9-2 présente le prix des différents combustibles.

Tableau 9-2 Niveau des prix des combustibles domestiques

Combustible	Prix
Bois (2005) (FCFA/kg)	120
Charbon (2005) (FCFA/kg)	200
Kérosène (2006) (FCFA/l)	439
Gaz butane (2006) (FCFA/kg)	
Bouteille de 2,7 kg	276
Bouteille de 6 kg	279
Bouteille de 9 kg	514
Bouteille de 12,5 / 38 kg	575

Sources : Visser et al (2005), MEM (2006)

L'utilisation du gaz butane dans les petites bouteilles est facilitée et largement subventionnée par le Gouvernement du Sénégal comme un moyen pour diminuer la pression sur les massifs forestiers. Le niveau de prix des bouteilles grandes (12,5 et 38 kg) est le niveau pas subventionné.

¹⁸ La méthode dite « consommateurs finaux » a été privilégiée par le SIE pour estimer les demandes de combustibles ligneux surtout

9.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Le Sénégal est un pays assez pauvre en matière de ressources forestières pour soutenir ses besoins en énergie de cuisson. Fort de ce constat, les autorités Sénégalaises ont initiés depuis les années 1970 une politique de butanisation et de kérosénisation afin de préserver les ressources ligneuses du pays.

Si la butanisation, sur base de forte subvention, a donné des résultats très positifs avec une consommation actuelle supérieure à 120,000 tonnes de gaz butane par an par les ménages, l'introduction de méthode de cuisson sur la base de kérosène n'a jamais pris pieds. La butanisation a permis de faire chuter la consommation de produits ligneux de 20 points depuis 1990.

Tableau 9-3 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Charbon du bois	kg	27,0	150	5,6
Butane	kg	45,7	276	6,0
Kérosène	l	35,3	439	12,5
Essence	l	33,1	648 ^a	19,5
Gasoil	l	36,6	555 ^a	15,2
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	122	6,0
Gel fuel	l	19,0	114	6,0
Biocarburant	l	21,4	418	19,5

^a source : MEM (2006)

Le gaz butane domine les consommations en milieu urbain tandis que le bois de feu reste la principale source d'énergie de cuisson en zone rurale. Le charbon s'est maintenu surtout dans les zones périurbaines réponds encore à des besoins typiques et traditionnels (chauffage de maison entre décembre et avril, encens, repassage d'habits).

L'éthanol comme énergie de cuisson est techniquement faisable dans le contexte Sénégalais eu égard aux tests d'acceptabilités menés par le Programme de Gestion durable Participative des Energies Traditionnelles et de Substitution (PROGEDE) dans les années 2000. L'éthanol de cuisson pourrait même devenir plus rentable si la subvention accordée au gaz est levée, décision qui devait avoir lieu depuis 2004 mais pas encore actuelle en 2006.

L'éthanol de cuisson devrait être particulièrement favorisé par la construction actuelle de l'usine de la CSS qui devrait débiter la production en 2007 (environ de 15 000 m³/an) et le projet Suédois de production d'éthanol à partir de 30 000 ha de cannes à sucre (accord signé avec le Ministère chargé de l'Énergie).

9.3 Production potentielle

9.3.1 Industrie sucrière - CSS

Au Sénégal, le sucre est produit par le Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS), situé à Richard Toll (environ 400 kilomètres au nord de Dakar). La compagnie exploite un total de 10 à 15 000 ha canne cultivée sur ses terres et produit approximativement 90 000 à 100 000 tonnes de sucre annuellement. Une vue d'ensemble des données de production est fournie dans le Tableau 9-4 ci-dessous.

Tableau 9-4 Données de production de CSS

Superficie cultivée par de la canne à sucre (ha)	7 500
Production de canne (t/an)	900 000
Production de sucre (t/an)	90 000
Production de mélasses (t/a)	35 000

Source: CSS (2006)

L'excédent de production de mélasse des dernières années a été autour 30 000-35 000 tonnes par an. Le contenu de sucre est élevé, approximativement 60%. Jusqu'à présent, approximativement 20% de la mélasse est vendu comme aliment pour bétail, le reste est stocké sur des lacs artificiel depuis des années.

La CSS a déjà engagé les travaux de construction d'une usine va produire de l'éthanol industriel (96%) pour l'industrie sénégalaise et de l'éthanol anhydre pour le carburant. L'énergie exigée (vapeur et électricité) est assurée par l'usine¹⁹ de sucre ; les vinasses résultantes seront employées comme engrais. Le Tableau 9-5 ci-dessous donne une vue d'ensemble des entrées et des sorties prévues de l'usine.

Tableau 9-5 Données de production de l'éthanol par CSS

Utilisation annuelle de mélasse (t/an)	35 000
Contenu en sucre (%)	60%
Production d'éthanol industriel (m ³ /an)	2 500
Production d'éthanol anhydre (t/an)	10 000
Production d'éthanol anhydre (m ³ /an)	12 500

Source: CSS (2006)

Procédé de production

Aucun détail technique spécifique du procédé de production d'éthanol de CSS n'a pu être obtenu en ce moment. Cependant, une étude de faisabilité détaillée d'une usine d'éthanol/gel fuel au CSS légèrement plus petite a été exécutée en 2005 (Visser et autres). Une version de taille supérieure de cette usine, bien que produisant de l'éthanol, du gel fuel ou du biocarburant (c.-à-d. pas une combinaison comme est projeté par CSS) peut être employée pour estimer des coûts de production.

¹⁹ En fait, le CSS est également en cours de remettre en état son système production énergétique alimenté à la bagasse de qui augmentera considérablement leur production d'énergie.

La mélasse de canne à sucre sera diluée pour réduire le contenu de sucre aux niveaux fermentescibles (autour 20%). La mélasse diluée peut être fermentée dans les cuves de fermentation, qui sont maintenues à une température optimale de fermentation. La réutilisation de levure peut garder des concentrations en cellules de levure aux niveaux suffisants sans approvisionnement continu en nouvelle levure. La distillation du lavage fermenté donne un éthanol à 96%, qui peut être dénaturé et emballé en tant que tels ou gélifié, ou il est déshydraté pour former l'éthanol anhydre. La puissance et la chaleur seront assurées à partir de la sucrerie.

L'usine fonctionnera en production continue le temps de la campagne de canne à sucre, approximativement 6-8 mois par an.

Entrées de processus

Le Tableau 9-6 donne une vue d'ensemble des entrées d'une d'usine de transformation de mélasse en éthanol de 15 000 m³/an d'éthanol.

Tableau 9-6 Intrants usines d'éthanol / gel fuel de 15 000 m³/a

	Unité	unités/m ³ éthanol	unités/an
Matière première	tonne	2,3	35 000
Chaleur	GJ	5	75 000
Electricité	MWh	150	2 250
Eau	m ³	10	150 000
Dénaturants			
MEK	kg	8,14	122 100
Bitrex	kg	0,01	150
Main d'oeuvre	etp	-	20
Gélifiant ^a	kg	17,0	285 000

- Besoins en matière de base - la production estimée de mélasse de la sucrerie est de 35 000 t/an à partir de laquelle 15 000 t/a d'éthanol peut être produit selon la CSS. La part de la mélasse par unité d'éthanol est ainsi 2,33 kg/l²⁰
- Besoins en énergie - pour une demande de la chaleur de 5 MJ/l, les besoins en énergie annuels totaux seraient de 75 000 GJ. La consommation annuelle d'électricité, à 0,15 kWh par litre, serait de 2 250 000 kWh.
- Besoins en eau - estimés à 10 litres par litre d'éthanol, c.-à-d. 15 000 m³/an.
- Autres inputs - en particulier produits chimiques de processus et levure.
- Dénaturants - par exemple 1%pd de MEK (122 t/an) et 10 g de Bitrex par m³ (150 kg/an).
- Gélifiant - par exemple 2%pd Bermocol (385 t/an).
- Besoins de main-d'oeuvre - estimés à 20 personnes.

Sous-produits

Comme indiqué ci-dessus, le sous-produit est la vinasse, qui peut être appliquée sur les champs de canne comme engrais.

²⁰ En dépit du niveau élevé de sucre de la mélasse, ceci semble très bas

9.3.2 Pomme d'anacardier

L'utilisation des pommes d'anacardier comme matière de base pour la production de carburant éthanol et de gel fuel a eu un écho favorable au Sénégal (voir le PROGEDE, 2004). Le pays possède un secteur modeste de production de noix de cajou dans le sud-ouest (région de Casamance) : les indications officielles de production d'anacarde de la FAO (2006) sont de 4 500 t/an (FAO 2006) mais d'autres sources indiquent des évaluations plus élevées²¹.

Comme dans beaucoup d'autres pays, les pommes d'anacardier du Sénégal sont peu consommées.

En se basant sur le rendement indiqué de production d'anacarde et un rapport noix-à-pomme de 4 kg/kg, la production de pomme d'anacardier au Sénégal serait d'environ 18 000 t/an. Avec un rendement d'éthanol de 30 litres par tonne, la production d'éthanol de toutes les pommes d'anacardier serait 540 m³/a. Indépendamment de la quantité de pommes qui pourraient normalement être recueillie et des coûts, ce potentiel ne peut pas justifier un investissement industriel de production d'éthanol.

9.3.3 Autres matières premières

- La production d'amidon au Sénégal est modeste. Les sources sont le mil, le maïs et le manioc (environ 500, 200 et 200 par an en moyenne durant la période 2000-2004). En plus, ces récoltes sont pour l'alimentation humaine.
- La grande production de jus de fruit au Sénégal se base sur l'importation de concentré alors la transformation des fruits produits au Sénégal se fait de manière artisanale. La production de fruits au Sénégal est concentrée dans la région de Casamance, dans le sud-ouest du pays. Le fruit principal est la mangue, qui est récoltée et transportée vers le nord. Bien que des pertes rapportées pendant le transport soient censées être considérables (ITA, 2006), il n'y a aucun approvisionnement continu en matériel qui pourrait être employé pour de la fermentation.
- Aucune expérience du Sénégal avec la production ou l'utilisation du sorgho sucré n'a été identifiée ; son utilisation exigerait une étude agronomique comparant la production de la canne à sucre et du sorgho sucré.
- Le Sénégal possède plus de 240 000 hectares sur la vallée du Fleuve Sénégal qui peut produire de grandes quantités de matières premières pour l'éthanol et le biocarburant.
- Plusieurs grandes compagnies s'intéressent à la filière pourghère pour la production de biocarburant: la CSS, NYCOMB, SODEFITEX, Bioking.

²¹ Ndiaye (2006) cite une évaluation d'EnterpriseWorks de 12-15 mille tonnes par an

9.4 Evaluation financière

9.4.1 Coûts des investissements

Les estimations des investissements pour les usines d'éthanol (petite et grande taille), de gel fuel et de biocarburant sont présentées dans le Tableau 9-7 ci-dessous. Les estimations sont basées sur l'information de CSS (2006) et les données sont plus ou moins conformes avec les valeurs utilisées dans l'étude de faisabilité réalisée en 2005 (Visser et al, 2005). L'exactitude est $\pm 30\%$.

Tableau 9-7 Coûts d'investissement des usines d'éthanol, gel fuel et biocarburant (kFCFA)

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Biocarburant
Capacité (m ³ /an)	15 000	16 765	14 293
Investissements (kFCFA)	3 144 000	3 242 250	3 150 550

9.4.2 Coûts de production

Une vue d'ensemble des différents coûts pour la production de l'éthanol, du gel fuel et de l'éthanol anhydre est fournie dans le Tableau 9-8.

Tableau 9-8 Coûts de production pour l'éthanol (95%), le gel fuel et le biocarburant (petite échelle)

	Ethanol (95%) (FCFA/l)	Gel fuel (FCFA/l)	Biocarburant (FCFA/l)
Production annuelle (m³/a)	15 000	16 765	14 293
Matière première	87,5	78,3	91,8
Energie et eau	23,9	21,3	25,0
Autres entrées	8,0	62,9	2,1
Main d'oeuvre	1,5	1,4	1,6
Maintenance	6,3	5,6	6,8
Frais de capital	41,8	37,4	45,2
Coûts de production HT	169,0	206,9	172,5
Emballage et distribution	41,3	49,0	12,1
Coût de production vendu HT	210,3	255,9	184,7
Coût de production vendu TTC	248,1	302,0	217,9
Coût de production vendu (FCFA/MJ)	12,3	15,9	10,2

- Les coûts de la mélasse sont de 30 000 FCFA/t. Le prix de la mélasse comme aliment de bétail est considérablement élevé (environ 70 FCFA/kg) sur le marché de détail.
- La chaleur et l'électricité seront obtenues à partir de l'usine de sucre. Les niveaux des prix sont pris de l'étude de faisabilité fait en 2005 (23 FCFA/kWh pour l'électricité et de 4 000 FCFA/GJ pour la chaleur)
- Besoins en eau - estimés à 10 litres par litre d'éthanol, c.-à-d. 15 000 m³/an. Le prix sur place est fixé à 40 FCFA/m³.
- L'entretien annuel est de 3% du coût d'investissement.
- Les niveaux des prix pour les dénaturants et les produits chimiques (autres) sont basés sur Visser et autres (2005).

- Les coûts de la main-d’œuvre sont basés sur les salaires moyens plus les avantages (96 000 FCFA/a).
- Les frais financiers sont calculés avec une annuité constante sur 10 ans avec un retour de 15%.
- Les coûts de distribution incluent le transport de jusqu’à 400 kilomètres et une marge de distributeur de 12%.

Les tableaux montrent la situation suivante :

- La majorité des coûts de production sont des coûts de matière première. Pour l’éthanol (95%) et la production biocarburant, ils forment plus de 50% de coûts de production. Pour le gel fuel ils sont presque 40%.
- Les autres grands postes de coût sont les frais financiers (environ 20-25%) et l’énergie (10-15% de coûts de production).
- Dans le prix du gel fuel, « autres inputs » est un élément très dominant, comportant 30% des coûts de production. Ceci est causé par le gélifiant, qui compose environ 25% des coûts de production.
- Les combustibles domestiques (éthanol, gel fuel) exigent des coûts considérables pour l’emballage, le transport et la distribution. Pour le biocarburant, ceci est limité au transport.

9.4.3 Analyse financière

Comparaison avec différents carburants

Le Tableau 9-9 donne les prix estimés de l’éthanol, du gel fuel et du biocarburant, et les niveaux de prix réels du kérosène, du butane et de l’essence. Les prix des combustibles à base d’éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 9-9 Prix des combustibles conventionnels et les combustibles à base d’éthanol

	Ethanol (95%)	Gel fuel	Kérosène	Butane (kg)	Biocarb.	Essence
CFA/unité (l)	248	302	439	276	218	648
CFA/MJ (TTC)	12,3	15,9	12,5	6,0	10,2	19,5
CFA/MJ (HT)	10,4	13,5			8,1	

^a Les niveaux des prix combustibles à base d’éthanol excluent les droits d’accises

Des données du tableau, on peut conclure ce qui suit :

1. Le niveau des prix du gel fuel est approximativement 30% au-dessus de celui de l’éthanol (95%).
2. Le niveau des prix de l’éthanol (95%) est plus de deux fois plus élevé que le prix du marché actuel du gaz butane, sur une base énergie-pour-énergie. Le niveau des prix du gel fuel est 164% au-dessus de celui du butane.
3. Le niveau des prix du biocarburant est approximativement la moitié de celui de l’essence, sur la base d’un rapport énergétique égale.

Les prix de combustibles à base d’éthanol sont ainsi considérablement au-dessus des niveaux actuels de prix du marché du gaz butane. Cependant, des prix du gaz butane sont

maintenus artificiellement bas afin de maintenir la cuisson avec un gaz accessible pour tous. Le niveau de prix du gaz butane non-subsventionné, par exemple celui vendu dans de grandes bouteilles, est de 575 FCFA (12,6 FCFA/MJ). Sans subsventions sur le butane, le prix d'éthanol serait 7% au-dessous du prix du gaz de butane.

En outre, le prix de l'éthanol anhydre (biocarburant) est beaucoup bien au delà de la fourchette des prix des combustibles domestiques, ce qui signifierait qu'un producteur d'éthanol vendrait plutôt ses produits comme biocarburant que comme combustible domestique. En tant que tel, le prix (par MJ) de l'éthanol comme remplacement de butane devrait être comparé au prix (par MJ) de l'éthanol anhydre en tant que biocarburant. La comparaison montre que la valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 69% au-dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant. Une comparaison avec les prix non-subsventionnée donnerait 36%.

Le prix minimum calculé du bio-éthanol (sur une base d'énergie) est au-dessous de celui de l'essence. Si le biocarburant peut être vendu au même niveau de prix (19,5 FCFA/MJ), son prix serait de 416 FCFA/l.

Analyse de sensibilité

Les Figures 9-1 à 9-3 montrent la sensibilité des niveaux de prix du marché (TTC) de l'éthanol, du gel fuel et du biocarburant en cas de variation des coûts de la matière première, du coût des investissements et des coûts énergétiques.

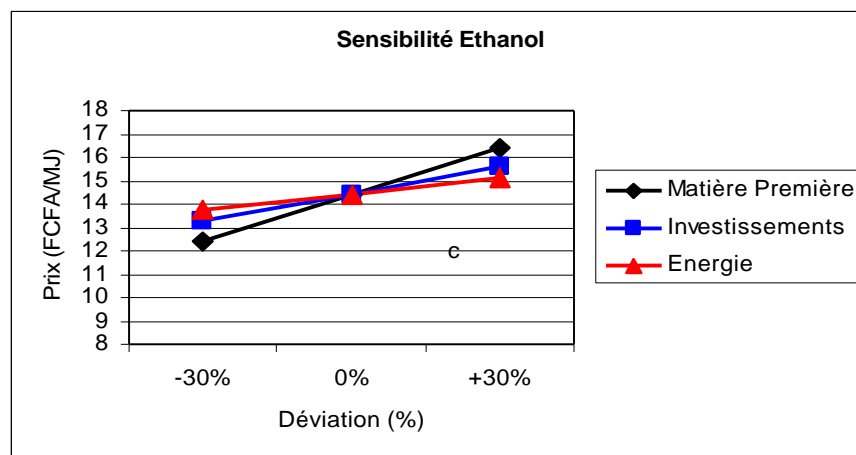


Figure 9-1 Analyse de sensibilité pour la production d'éthanol

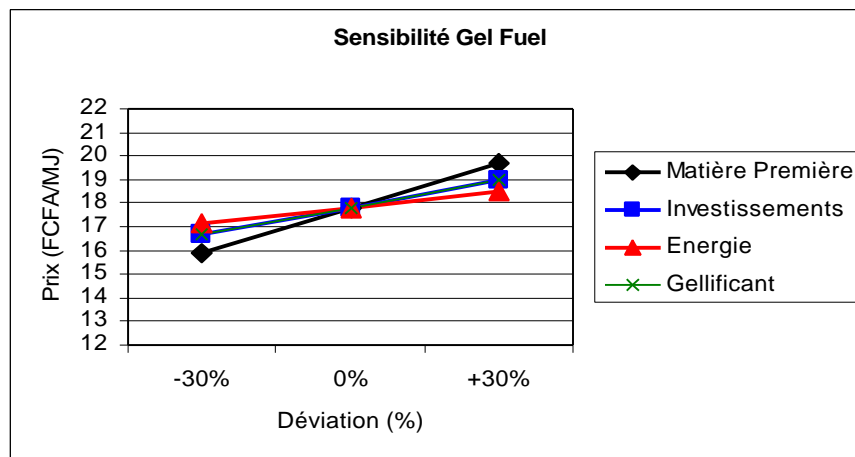


Figure 9-2 Analyse de sensibilité pour la production de gel fuel

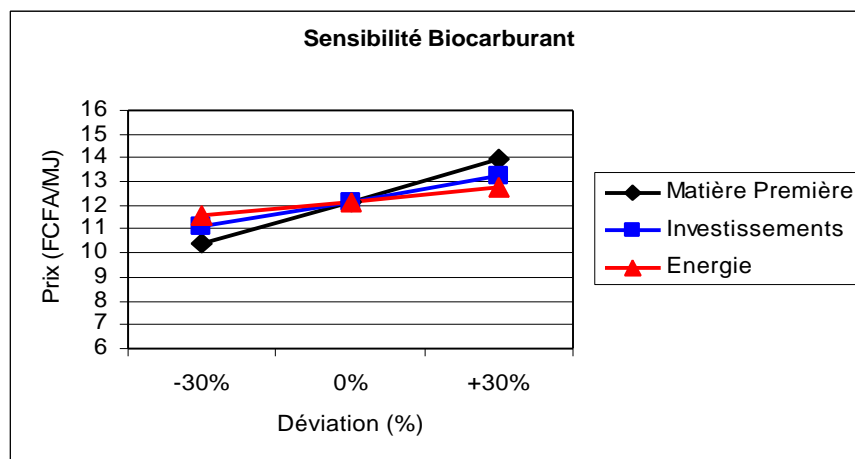


Figure 9-3 Analyse de sensibilité pour la production de biocarburant

- Pour chacun des trois produits, la sensibilité aux coûts de matière première est élevée, en raison de la contribution relativement forte des coûts de la matière de base sur tous les coûts de production. Une variation de 30% donne des changements de 10-15% au niveau des prix du marché.
- La sensibilité aux variations des autres paramètres est plus petite, c.-à-d. 6-8% pour les investissements et le gélifiant (gel fuel). La sensibilité aux variations sur les coûts énergétiques est encore plus petite (3-4%).

Indicateurs financiers

Le Tableau 9-10 présente les coûts d'investissement, les coûts annuels de production (net des frais financiers) et des revenus (net des coûts de distribution et de TVA) des usines de grande taille, en supposant que les prix de vente seront égaux aux niveaux de prix calculés du marché présentés dans le tableau ci-dessus²².

²² Cette hypothèse pourrait se vérifier si, par exemple, le support structurel (exonération d'impôt et/ou subvention) serait fourni sur chaque litre d'éthanol vendu.

Tableau 9-10 Aperçu des différents paramètres financiers (en kFCFA)

	Ethanol	Gel fuel	Biocarburant
Coûts d'investissement	3 144 000	3 242 250	3 150 550
Coûts de production (net des frais financiers)	1 907 931	2 841 573	1 820 176
Revenus (net de la distribution et de la TVA)	2 534 380	3 469 327	2 639 218
Flux de trésorerie annuel net	626 448	627 754	819 042
TRI	15%		
TRS	5,0		

Notons que dans tous les cas, les valeurs pour le taux de rendement interne (TRI) et le temps de retour simple (TRS) sont égales par défaut. Les flux de trésorerie annuels nets sont égaux aux frais financiers, qui à leur tour sont calculés à un taux de retour fixe sur le capital investi de 15% sur une période de projet de 10 ans.

Des revenus élevés, et ainsi un TRI supérieur peuvent être atteints si les produits sont vendus à des prix plus hauts.

- Sans subventions pour le butane, l'éthanol (95%) pourrait être vendu au prix de 254 FCFA/l. Le TRI augmenterait alors de 24%.
- L'éthanol anhydre pourrait être vendu au prix de 416 FCFA/l s'il était tarifé de manière équivalente à l'essence sur la même base énergétique. Le niveau de TRI monterait de 94%.

Les retours sur le capital investi peuvent être considérablement plus élevés que le taux de rendement interne, si une partie des investissements peut être couverte par une subvention ou avec un prêt à un taux d'intérêt inférieur au TRI. Dans les cas spécifiques présentés ici, si 2/3 du capital exigé pouvait être couvert par un prêt avec un taux d'intérêt de 12%, le retour sur le capital investi par l'investisseur principal grimperait jusqu'à 21%.

Avantages économiques

La production de l'éthanol, du gel fuel et/ou des biocarburants présente des avantages économiques pour le Sénégal.

- Dépendance réduite sur les carburants importés. Chaque m³ d'éthanol (95%) peut remplacer 572 litres de kérosène ou 440 kg de gaz butane. Chaque m³ de l'éthanol anhydre (biocarburant) peut remplacer 644 litres d'essence. Le résultat des substitutions de combustibles fossiles par 15 000 m³/an d'éthanol sont présentés dans le Tableau 9-11.
- Réduction des devises étrangères dépensées sur les carburants. Chaque litre d'éthanol (95%) épargne 135 FCFA de dépense de forex sur le butane. Chaque litre de biocarburant épargne 191 FCFA de dépense de forex sur l'essence. L'épargne totale de forex sur 15 000 m³/an d'éthanol est donnée dans le Tableau 9-11.
- Impulsion économique et création d'emploi dans le secteur de production d'éthanol.

Tableau 9-11 Remplacement de combustibles fossiles et forex épargné

	Combustible remplacé	Remplacement (t/m³)	Remplacement (t/an)	Forex épargné (FCFA/l)	Forex épargné (Mio FCFA/an)
Ethanol	Gaz butane	441	6 620	135	891
Gel fuel	Gaz butane	415	6 950	126	879
Biocarburant	Essence	644	9 210	191	1 757

9.5

Conclusions

Il existe un potentiel considérable pour la production de l'éthanol au Sénégal. La Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) produit approximativement 35 000 tonnes de mélasse avec un fort contenu en sucre, qu'ils projettent de transformer en 2 500 m³ de l'éthanol industriel (96%) et de 10 000 tonnes (12 500 m³) d'éthanol anhydre comme biocarburant.

Cependant, l'éthanol ne peut pas concurrencer comme combustible domestique, son niveau de prix étant presque deux fois celui du butane (sur une base énergie-pour-énergie). Si les subventions sur le butane seraient abandonnées, il pourrait être produit et distribué compétitivement.

Une comparaison entre le niveau des prix de revient d'éthanol anhydre à ceux de l'essence prouve que l'éthanol peut être un biocarburant très concurrentiel. Son niveau de prix, sur une base énergie-pour-énergie, représente seulement la moitié du prix à la consommation de l'essence.

10 EVALUATION PAYS : LE TOGO

10.1 Introduction



Source : CIA - The World Factbook

Situation : Afrique de l’Ouest, bordé au sud par le Golfe de Guinée. 56 700 km².
Capitale : Lomé.

Climat : Tropical humide, plus sec au nord.

Population : 5 millions d’habitants, urbanisés à 32% ; forte croissance démographique (3,1% par an). Densité moyenne 83 hab./ km² ; grandes disparités entre le sud et le nord fortement peuplés, et le centre.

Economie : PIB moyen de 320 US\$ par habitant. Economie très sensibles aux aléas des cours du phosphate, café, cacao et coton. Croissance négative de 1991 à 1998. forte reprise depuis 1994 (à l’exception de 1998). pouvoir d’achat de 1 400 \$/hab.

La biomasse constitue la principale ressource énergétique du pays. Le potentiel hydraulique n’étant que modérément exploité, les besoins en énergies conventionnelles sont presque entièrement couverts par des importations.

Les Institutions et Politique Energétique

La Direction Générale de l’Energie du Ministère des Mines, de l’Equipement, des Transports et des Postes et Télécommunications élabore et met en œuvre la politique énergétique. Elle assurait jusqu’en décembre 2000, aux côtés du Ministère des Sociétés d’Etat et du Développement de la zone Franche, la tutelle de l’entreprise nationale d’électricité, la Compagnie d’Energie Electrique du Togo (CEET). Depuis le 1er

décembre 2000, CEET a été remplacée par Togo Electricité, nouveau nom de la compagnie dont la concession a été confiée à un consortium composé de Elyo et Hydro-Québec International. Les repreneurs se sont engagés à investir 275 millions de francs sur les 5 premières années de la concession prévue pour durer 20 ans. Togo Electricité distribue l'électricité qu'elle produit ou achète à la Communauté Electrique du Bénin (CEB). Organisme binational (Bénin-Togo) à créé en 1968, CEB a le monopole de la production hydroélectrique, du transport et des importations d'électricité dans chaque pays, ainsi que de la réalisation d'installations hydroélectriques. Il est placé sous l'autorité d'un Haut Conseil Inter-Etatique composé de ministres des deux pays.

Le secteur pétrolier est supervisé par le Ministère de l'Industrie et du Commerce. Le Groupement Professionnel des Pétroliers (GPP) importe et distribue les produits pétroliers. Regroupant à l'origine six sociétés, il ne compte plus, depuis décembre 1995, que Elf, les autres compagnies s'étant retirées. La Société Togolaise d'Entreposage (STE) assure le stockage avec la Société Togolaise de Stockage de Lomé (STSL). La Société Togolaise des Hydrocarbures a été mise en liquidation en décembre 1995 ; l'unité de raffinage le composant a été mis en vente dans le cadre d'un programme de privatisation.

Trois administrations se partagent la gestion des ressources forestières : l'Office pour le Développement de l'Exploitation des Ressources Forestières (ODEF, production et commercialisation), la Direction des Productions Forestières (DPF, exploitation des forêts communautaires, délivrance des permis de coupe), et le Ministère de l'Environnement et des Ressources Forestières (environnement et reboisement).

Ressources et Production

N'ayant pas été concluante, l'exploration pétrolière s'est arrêtée en 1987. Les importations de produits pétroliers, en provenance de divers pays dont le Gabon, la Côte d'Ivoire, l'Espagne et le Nigeria, sont stables depuis 1990. Toutefois, certains (GPP) estiment que les importations illicites de carburants atteignent jusqu'à 25% de la consommation.

L'approvisionnement total du Togo (520 GWh en 2000) comprend la production de Togo Electricité, celle des auto-producteurs (50% de la capacité de production togolaise et 36% de la production) - essentiellement l'Office Togolais des Phosphates -, et les achats à la CEB. Cette dernière exploite le barrage de Nangbéto sur le Mono (65 MW dont 30 MW reviennent au Togo) et se fournit à 70% auprès de la Volta River Authority au Ghana. Depuis août 1994, CEB achète en outre de l'électricité à la Compagnie Ivoirienne d'Electricité (30MW pour l'alimentation aux heures de pointe). Le potentiel hydroélectrique du pays est estimé à plus de 200 MW. La production électrique d'origine thermique fluctue de façon importante.

Les ressources forestières diminuent chaque année face à la surexploitation, en particulier au nord où la densité de population rurale est plus forte. La production de charbon de bois absorbe environ la moitié de la consommation de bois de feu.

10.2 Le marché des énergies domestiques

La population Togolaise est estimée à 5 millions d'habitants environ avec 70% de ruraux. En l'absence de recensement récent, ces estimations officielles du Gouvernement togolais sont données dans le tableau suivant :

Tableau 10-1 Population du Togo, 1999-2004

Année	Population ('000)			Taux d'Urbanisation
	Urbaine	Rurale	Total	
1999	1 484	3 028	4 512	32,9%
2000			4 629	
2001			4 740	
2002			4 854	
2003			4 970	
2004			5 090	

Source: Direction Générale de la Statistique et de la Comptabilité Nationale

10.2.1 L'analyse de l'offre et de la demande

La biomasse ligneuse

La biomasse végétale est essentiellement composée de ressources forestières et de déchets végétaux. Les ressources forestières naturelles existantes sont caractérisées par une forêt dense de faible superficie localisée essentiellement dans les zones montagneuses inaccessibles et les réserves protégées. D'une manière générale, cette végétation devient clairsemée vers le centre pour faire place à une savane arborée sur pratiquement tout le reste de la moitié du nord du pays.

En terme de réserves de combustibles ligneux, les formations naturelles représentent 96,1% et les plantations 3,9%.

Le sous secteur biomasse énergie est généralement détenu par l'informel. Les femmes, les enfants, les jeunes filles et le monde rural sont surtout les principaux acteurs. L'ODEF ne détient que près de 10% des activités commerciales des produits qu'il produit et revend. En définitif, les prix des combustibles ligneux ne sont pas réglementés par les Autorités gouvernementales. Chaque intervenant dans le circuit commercial produit et fixe le prix.

L'approvisionnement des grands centres urbains relève d'un secteur fortement monétarisé. La demande urbaine représente près de 75% en charbon de bois et 25% en bois de feu. 60 à 65% en charbon de bois et 30% en bois de feu seulement sont appréhendés par la police forestière.

Les produits pétroliers

Le pétrole lampant et le GPL (le butane) sont les combustibles domestiques importés des pays voisins et de l'Europe pour les besoins de la population. Ils sont utilisés :

- le pétrole est utilisé pour l'éclairage surtout et dans une petite proportion pour la cuisson des aliments ;
- le GPL est utilisé pour la cuisson par les ménages peu aisés et dans les unités industrielles.

Tableau 10-2 Types de combustibles de cuisson utilisés dans les ménages au Togo

Année	Bois (kt)	charbon (kt)	Déchets végétaux (kt)	Pétrole lampant ^a (m ³)	Gaz butane (tonnes)
2000	1 606	273	465	91 062	978
2001	1 645	280	462	38 823	1 041
2002	1 684	286	470	57 585	1 226
2003	1 725	293	531	77 710	1 518
2004	1 766	300	523	-	-

Source : Direction de l'Energie du Togo (2006) ^a Les données sur le pétrole lampant sont des données d'importation et pour l'année 2000 c'est la somme du pétrole + le Jet A1

10.2.2 Les prix des énergies domestiques

Les prix des combustibles domestiques (à la consommation) sont présentés dans le tableau ci-dessus :

Tableau 10-3 Prix des combustibles domestiques

Année	Bois de feu (FCFA/kg)	Charbon de bois (FCFA/kg)	Pétrole (FCFA/l)	Gaz butane (FCFA/kg)
2000	25	60 à 75	215/230	320
2001	25	60 à 75	230	320
2002	25	60 à 75	230	320
2003	25	60 à 75	230	320
2004	25	60 à 75	230/250	320/280
2005	25	60 à 75	375	280

Source : Direction du Commerce Intérieur, rapport RPTES/Banque mondiale

NB : les prix du combustible indiqué dans le tableau ci-dessus (bois de feu et charbon de bois) est un prix officiel et varie d'une région à une autre ; d'une ville à une autre et d'une localité à une autre. Par contre le prix du gasoil est passé de 300 en fin 2005 à 515 FCFA en Juin 2006.

10.2.3 Introduction de l'éthanol / gel fuel comme énergie domestique

Pays relativement bien arrosé, la consommation des énergies domestiques restent largement dominé par le bois et le charbon de bois.

L'introduction d'énergie de substitution ne pourra se faire que par alignement au gaz butane compte tenu du coût relativement faible du bois et du charbon de bois. Le kérosène n'est pas utilisé comme énergie de cuisson au Togo. L'éthanol et le gel fuel comme énergie domestique pourra théoriquement se situer au niveau du gaz (6.1 FCFA/MJ).

Tableau 10-4 Comparaison des prix des combustibles

	Unité	MJ/unité	FCFA/unité	FCFA/MJ
Prix réel sur le marché				
Bois du feu	kg	15,0	25	1,7
Charbon du bois	kg	27,0	74	2,8
Butane	kg	45,7	280	6,1
Kérosène	l	35,3	375	10,6
Essence	l	33,1	525 ^a	15,8
Gasoil	l	36,6	515 ^a	14,1
Prix d'introduction souhaité				
Ethanol (95%)	l	20,2	141	7,0
Gel fuel	l	19,0	133	7,0
Biocarburant (éthanol)	l	21,4	396	18,6
Biocarburant (biodiesel)	l	36,6	515	14,1

^a source : GdT (2005)

Par contre, l'implantation prévue de firmes canadiennes et suédoises sur le secteur de la production d'éthanol et de biocarburant pourrait accroître la capacité de production. De même, quelques projets d'industriels locaux, qui ont été à l'origine d'un projet d'arrêté ministériel sur la filière bioénergie, sont identifiés. En somme, grâce à l'ouverture des autorités publiques et l'intérêt de grandes firmes internationales, le TOGO pourrait être un pays émergeant dans le domaine de la bioénergie.

10.3 Production potentielle

10.3.1 Production d'éthanol/gel fuel

Industrie du sucre

Le Togo possède une petite industrie sucrière dans la ville d'Anié (200 kilomètres au Nord de Lomé). L'entreprise est détenue et exploitée par l'Etat Chinois. Le Tableau 10-5 donne une vue d'ensemble des paramètres principaux de production de l'entreprise.

Tableau 10-5 Données de production de sucrière d'Anié

Superficie cultivée par de la canne à sucre (ha)	1 250
Capacité de production de sucre (t/an)	8 000
Capacité de production de l'éthanol à 95% (m ³ /an)	800

Source: Sucrière d'Anié (2006)

L'entreprise emploie toute sa mélasse pour produire l'éthanol industriel. La majeure partie de l'éthanol est vendue à l'industrie pharmaceutique locale; une partie est exportée vers le Togo et le Ghana.

Les contraintes par rapport au développement de la production de canne sont l'étroitesse des surfaces de terre disponible. L'usine actuellement produit une faible partie des besoins du pays en sucre et en éthanol. Le personnel de l'usine évoque également la situation de l'entreprise qui est une société d'état chinoise. Une décision d'agrandir les

superficiés de culture de canne pour la production d'éthanol doit venir du gouvernement Chinois.

Autres matières premières

- La canne à sucre est largement produite dans les régions maritimes et centrales du Togo. Il s'agit de petits producteurs qui intègrent la canne dans les systèmes de production familiale. La canne est vendue dans les rues et marchés publics à des fins de consommation directe.
- En dépit de la grande production de fruit au Togo (ananas), le secteur de transformation de fruits est d'une petite échelle. Le secteur comporte trois entreprises, dispersées dans le pays, actives dans la production des jus de fruit et des fruits secs. Les capacités de production sont de 26 tonnes par an. La taille du secteur n'est pas encore suffisante pour une production industrielle de l'éthanol.
- La production de produits amidonnés concerne la plupart du temps le manioc et le maïs (production moyenne environ 700 kt/an et 500 kt/an, respectivement). Cependant, ces récoltes sont développées pour la production de nourriture.

10.3.2 Production de biodiesel

Comme le potentiel de production d'éthanol au Togo est très limité au point de vue de la disponibilité des matières premières, les opportunités pour produire le biodiesel à partir de l'huile de pourghère ont été brièvement évaluées. Il y a beaucoup d'intérêt pour la production d'huile de pourghère au Togo, entre d'autres des ONGs.

Plantation

Comme taille de production, une superficie de 10 000 ha est choisie. La production de graine, dans une situation stable, sera de 40 000 tonnes par an ; le potentiel annuel de production de carburant serait de 10 000 tonnes.

Usine de production de biodiesel

La base pour l'évaluation est une usine de biodiesel produisant 10 000 tonnes de biodiesel par an. Pour la technologie de production, un système comme offert par Bioking est considéré approprié ; la technologie est efficace et les coûts d'investissements sont faibles.

Entrées de processus

- Graines de Pourghère. Les quantités nécessaires sont de 40 000 tonnes par an, dont 10 000 tonnes à partir d'huile peuvent être extraites.
- Alcool - l'alcool le plus utilisé pour la production de biodiesel est le méthanol. Les quantités nécessaires, pour la technologie « Bioking », sont approximativement de 220 kg/m³ de biodiesel.
- Autres inputs - comme le catalyseur (par exemple soude caustique), l'énergie (électricité) et l'eau.
- Les exigences de personnel pour une usine de 10 000 m³/a sont estimées à 30 personnes.

Sous-produits

- La glycérine de grande pureté est produite à un taux d'environ 11% de la production de biodiesel.
- Le tourteau résultant de la pression des graines de pourghère sera retourné à la plantation comme engrais organique.

10.4 Evaluation financière

10.4.1 Coûts des investissements

Les investissements dans un projet de biodiesel concernent les plantations de pourghère et dans l'usine de biodiesel. Le Tableau 10-6 donne des valeurs estimées de ces investissements.

Tableau 10-6 Indications des coûts d'investissement pour une plantation de pourghère et une usine de biodiesel

	Taille	Investissement (kFCFA)
Plantation (hors terrain)	10 000 ha	3 500 000
Usine biodiesel	10 000 m ³ /a	500 000

- Les indications de coût des investissements dans les plantations, à l'exclusion du terrain, sont d'environ 400-500 EUR/an en Asie (par exemple SRIPHL (2006), DECD (2005), Riendadi (2006)). Le terrain pourrait être loué pour que les coûts soient inclus en coûts opérationnels annuels.
- Des coûts d'usine de Biodiesel sont basés sur des données concernant les coûts d'usine réels fournis par Bioking.

10.4.2 Coûts de production

Une évaluation des coûts de production par litre de biodiesel est fournie dans le Tableau 10-7. Noter qu'elle concerne la partie de la production de biodiesel, où des graines de pourghère sont achetées de la plantation à un taux fixe par tonne²³. Ce prix inclut des investissements et des coûts opérationnels.

Tableau 10-7 Estimation des coûts de production du biodiesel (FCFA/l)

Matière première	328	76%
Méthanol	58	13%
Autres coûts	37	9%
Frais financiers	10	2%
Coûts de production totaux	433	100%
Revenu du glycérol	72	
Coûts de production totaux nets	361	
Coûts de production totale (TVA incl)	426	

²³ Une évaluation complète des coûts opérationnels et d'entretien d'une plantation de pourghère n'a pas pu être faite dans le contexte de cette étude. Un calcul simplifié a été fait pour vérifier l'importance du prix de graine de pourghère.

Les calculs sont fondés sur les hypothèses suivantes :

- Les coûts de matière de base concernent les graines de pourghère, avec un prix de 82 FCFA/kg. Ce niveau des prix est conforme à plusieurs sources (par exemple Henning, 2002).
- L'utilisation de méthanol est de 22% (basé sur des valeurs réelles fournies par Bioking) et un niveau des prix de 262 kCFA/t.
- Les autres coûts incluent le travail, l'eau et l'énergie, dont le dernier est le plus important (300 kWh/m³ de biodiesel). Alternativement, un générateur électrogène fonctionnant au biodiesel pourrait être employé, mais ceci diminuerait le biodiesel annuel produit d'environ 10%.
- Les frais financiers sont basés sur une période de 10 ans avec un taux de 15%.

Suivant les indications du tableau, les coûts de production nets (sans impôt) sont approximativement de 361 FCFA par litre de biodiesel (426 FCFA/l avec la TVA). Les coûts en vrac du gasoil sont approximativement de 470 FCFA/l en 2005 (GdT, 2006) ; compensant les 5% de la consommation de carburant augmenté (voir 2.4), le biodiesel serait donc meilleur marché que le gasoil fossile d'environ 5%

10.4.3 Analyse financière

Le Tableau 10-8 montre les paramètres de coût pour une usine de biodiesel, basés sur l'investissement et les coûts de production présentés ci-dessus et un prix de ventes en vrac de 378 FCFA/l (HT).

Tableau 10-8 Vue d'ensemble des paramètres de coût pour une usine de biodiesel (kFCFA)

Coût d'investissement	500 000
Coûts de production annuels	4 229 400
Revenus annuels	4 498 898
Flux de trésorerie (cash flow) annuel	269 498
TRI	53%
TRS	1,9

En raison du niveau relativement bas des investissements (500 millions de FCFA) par rapport au chiffre d'affaires total annuel (4,5 milliards FCFA/a), le cash flow annuel net est relativement haut ce qui donne un TRI élevé.

Sensibilité

La Sensibilité des coûts de production (TVA comprise) sont présentés dans la Figure 10-1.

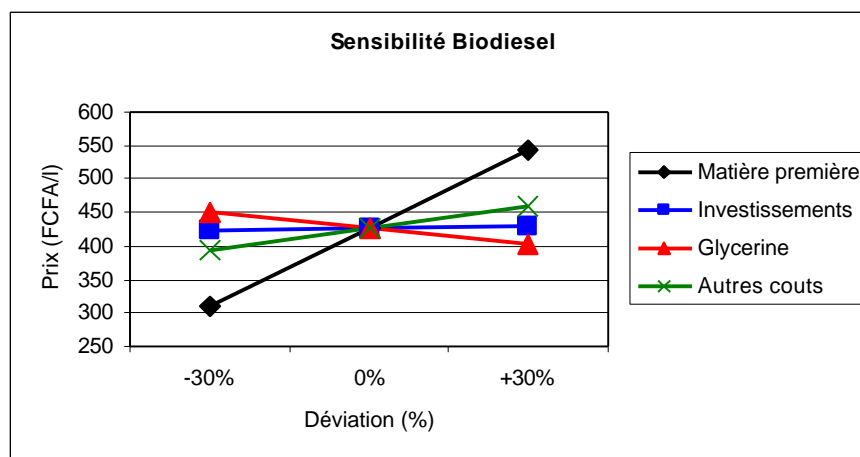


Figure 10-1 Analyse de sensibilité pour la production de biodiesel

- La sensibilité au niveau des prix des graines est de loin la plus nette; entraînant des variations de résultat de 30% pour des changements de prix d'achat de 27%. Pour une augmentation des prix de graine de pourghère de 5%, les coûts de biodiesel sont égaux aux coûts gasoil fossiles.
- La sensibilité au niveau de prix de la glycérine, des investissements et d'autres entrées est de 6%, 1% et 7% respectivement.

La sensibilité élevée au prix de graine de pourghère soulève une question importante. Bien que le niveau des prix utilisé de graine soit raisonnablement élevé, il dépendra finalement d'un grand nombre de facteurs tels que des rendements de la semence, des coûts opérationnels annuels et des coûts d'investissement par hectare. Tous ces facteurs sont spécifiques à la région. En outre, les investissements de plantation constituent la partie principale de l'investissement total dans un projet de biodiesel (voir le Tableau 10-6) et la plantation commencera seulement à produire des graines graduellement. Ceci signifie que l'investissement est pour le plus long terme

Avantages économiques

La production du biodiesel pour substituer le gasoil fossile peut avoir les avantages économiques importants pour le Togo dans l'ensemble.

- Dépendance réduite vis-à-vis des carburants importés. Chaque litre de biodiesel (95%) peut remplacer approximativement 0,95 litre de gasoil fossile. Les substitutions totales de combustible fossile par la production de biodiesel seraient ainsi 9 500 m³/an.
- Devises étrangères dépensées réduites sur les carburants des véhicules à moteur. Chaque litre de biodiesel épargne 238 FCFA des devises étrangères (296 FCFA/l pour le gasoil fossile moins le méthanol importé pour le procédé de production de biodiesel 58 par FCFA/l). L'épargne totale de forex de la production présentée de biodiesel serait ainsi 2,4 milliards de FCFA.
- Impulsion économique et création d'emploi au secteur agricole. Une nouvelle activité économique est créée avec un chiffre d'affaires annuel de 4,5 milliards de FCFA.

10.5

Conclusions

En dépit de la présence de la (petite) industrie du sucre, le potentiel pour la production d'éthanol pour l'énergie est faible. L'usine de sucre elle-même est limitée dans ses possibilités d'extension. L'industrie de transformation de fruits est très petite au Togo.

Cependant, il y a intérêt particulier pour la production du biodiesel à partir de l'huile de pourghère. Les premiers calculs de coût basés sur les estimations des différents facteurs de production indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au gasoil fossile (prix inférieur de 5%). Un point d'attention qui doit faire l'objet d'une étude spéciale est la production de graine de pourghère.

11.1 Concepts de projet potentiels

Une vue d'ensemble des différentes projets potentiels dans les pays de l'UEMOA est fournie dans Tableau 11-1.

Tableau 11-1 Projets potentiels dans les pays UEMOA

Pays	Type projet/potentiel	Echelle des unités	Investissement	Remarques
Bénin	Ethanol à base de manioc (20 000 m ³ /an si 5% de manioc est utilisée)	1 000 - 10 000 m ³ /an	FCFA 337 mio (petite taille) FCFA 2,6 mld (grande taille)	Ethanol anhydre comme biocarburant (11% plus chère qu'essence)
Burkina Faso	Ethanol à base de canne à sucre (20 000 m ³ /an au base des 5 000 ha de la sucrière)	20 000 m ³ /an	FCFA 5,3 mld	Ethanol anhydre comme biocarburant (17% moins chère qu'essence)
Côte d'Ivoire	Ethanol à base de mélasse (19 000 m ³ /an dans 3 usines sucrières)	10 000, 5 000 et 4 000 m ³ /an	FCFA 2,1 mld FCFA 1,2 mld FCFA 966 mio	Ethanol anhydre comme biocarburant (50% moins chère qu'essence)
Guinée Bissau	Ethanol à base de Pomme d'anacardier (~10 000 m ³ /an si tout les pommes disponibles sont utilisées)	1 000 m ³ /an	FCFA 652 mio	Ethanol anhydre comme biocarburant (2% plus chère qu'essence)
Mali	Ethanol à base de mélasse (18 000 m ³ /an)	18 000 m ³ /an	FCFA 4,8 mld	Ethanol anhydre comme biocarburant (34% moins chère qu'essence)
Niger	Biodiesel à base de pourghère	10 000 m ³ /an	FCFA 500 mio (usine biodiesel) FCFA 3,5 mld (plantation pourghère)	Biodiesel est 11% moins chère que gasoil
Sénégal	Ethanol à base de mélasse (15 000 m ³ /an)	15 000 m ³ /an	FCFA 3,2 mio	Ethanol anhydre comme biocarburant (48% moins chère qu'essence)
Togo	Biodiesel à base de pourghère	10 000 m ³ /an	FCFA 500 mio (usine biodiesel) FCFA 3,5 mld (plantation pourghère)	Biodiesel est 5% moins chère que gasoil

Total Général	Ethanol (93 000 m³/an) et biodiesel (20 000 m³/an)	Ethanol : 1 000 - 20 000 m³/an ; Biodiesel : 10 000 m³/a	Ethanol : FCFA 23,2 mld (EUR 35,4 mio) Biodiesel : FCFA 8,0 mld (EUR 12,2 mio)	Substitution de 57 100 m³ d'essence et 19 000 m³ de gasoil. Forex épargné FCFA 20,6 mld (EUR 31,4 mio)
----------------------	---	---	---	---

De manière générale, l'étude démontre que la conversion de l'éthanol en biocarburant plutôt qu'en combustible domestique est l'option la plus faisable d'un point de vue économique dans l'espace UEMOA. Les chapitres consacrés aux analyses par pays concluent que les combustibles domestiques à base d'éthanol sont beaucoup plus chers que les combustibles traditionnels (par exemple le gaz butane). La différence de prix entre l'éthanol combustible domestique et le gaz butane subventionné se situe dans l'ordre de 67 à 183% dans la sous région.

Dans les pays où le gaz est peu subventionné (Bénin, Burkina Faso, Guinée et Mali), la substitution du gaz par l'éthanol en matière d'énergie de cuisson sera difficilement réalisable à cause des coûts mais aussi des faibles niveaux de consommation par rapport au bois de feu (qui est coûte très peu). En revanche, la différence de prix observé en Côte d'Ivoire et au Sénégal, respectivement 31 et 13% semble surmontable si la subvention sur le gaz est levée mais aussi compte tenu du contexte actuel de surenchérissement des coûts des produits et dérivés pétroliers. Cependant, les revenus qui peuvent être tirés de l'éthanol à des fins de biocarburants resteront supérieurs celui de l'éthanol utilisé comme combustible domestique.

11.2 Acteurs

11.2.1 Acteurs privés

Une partie intégrale de cette étude était l'identification des sociétés, organisations et d'individus du secteur privé qui peuvent contribuer au développement de la filière éthanol / biocarburant. Tableau 11-2 donne une vue d'ensemble.

Tableau 11-2 Liste des sociétés et organisations privées contactées et rencontrées pendant l'étude

Pays	Acteurs identifiés	Secteur d'intérêt
Bénin	CICAF Bénin	Passage de la production d'eau de vie à base de manioc à la production industrielle d'éthanol
Bénin	SOTABE	Passage de la production d'éthanol à base de manioc de petite à grande échelle
Bénin	BENIN BIO ENERGIE Sarl	Production industrielle de biodiesel à base de Pourghère sur 15 000 hectares
Bénin	ADB ONG	ONG de développement voulant expérimentation de la culture du Pourghère et de la production d'huile
Burkina Faso	SOPAL / SOCUSO	Extension de la production d'éthanol à base de canne à sucre sur 5 000 hectares
Burkina Faso	SN CITEC groupe Dagrís	Production de biodiesel base de graine de coton

Côte d'Ivoire	SUCAF - CI	Transformation de la mélasse en éthanol. La compagnie produit annuellement 35 000 tonnes de mélasse.
Côte d'Ivoire	SUCRIVOIRE	Transformation de la mélasse en éthanol. La compagnie produit annuellement 25 000 tonnes de mélasse.
Guinée Bissau	Paulo Barros & Filhos	Production d'éthanol à base de la pomme d'anacardier. L'entreprise produit actuellement de l'eau de vie
Guinée Bissau	CAPE	Producteur d'éthanol dans la province Sud de la Guinée Bissau
Guinée Bissau	ANAG	Association des exportateurs de produits agricoles aimerait développer une usine de production d'éthanol à base de la pomme d'anacardier
Mali	SUKALA	Extension de la capacité de production des deux usines d'éthanol de SUKALA afin de pouvoir convertir toute la mélasse disponible (environ 1 500 m ³ d'éthanol par an en plus)
Mali	MARKALA	Cette entreprise projette de mettre en place un complexe industriel de production de sucre de canne et d'éthanol (18 000 m ³ /an)
Mali	NTEE	NTEE a pu regrouper plus de 2 000 producteurs de Pourghère au Mali qui pourra lui livrer la production nécessaire à la mise en place d'une usine d'une capacité de 100 tonnes de biodiesel par jour.
Niger	IBS	Création d'une usine de 24 tonnes de biodiesel à partir de Pourghère
Niger	SOHINY	Entreprise d'embouteillage et de distribution de gaz, la SIHINY aimerait regrouper plusieurs acteurs au Niger pour développer la filière biodiesel en association avec le cabinet KRB et les grands planteurs
Sénégal	NYKOMB Synergetics AB, Suède	Signature d'un accord avec le Ministère chargé de l'Energie au Sénégal pour produire de l'éthanol à partir de 30 000 hectares de canne à sucre.
Sénégal	CSS	Mise en œuvre d'une usine de transformation de la mélasse en éthanol. Usine actuellement en construction.
Sénégal	GMS – C3E	Développement de 15 000 hectares de Pourghère en association avec les communautés rurales de Mpal et Gandon
Sénégal	SODEFITEX	8 000 hectares de tournesol pour la production de biodiesel
Togo	CREPER	Création d'une usine de biodiesel à base de Pourghère et de ricin d'une capacité de 100 tonnes jour

11.2.2 Acteurs institutionnels

UEMOA - coordination supra-nationale

La Commission de l'UEMOA reconnaît que le présent siècle pourrait être marqué par un net recul de l'économie fondée sur l'usage des combustibles fossiles au profit d'une économie fondée sur les bioénergies, avec l'agriculture et la foresterie comme principales sources de biomasse pour les combustibles biologiques tels que le bois de feu, le charbon de bois, les granules de bois, le bioéthanol, le biodiesel et la bioélectricité. C'est là une donnée fondamentale qui interpelle l'Union et l'oblige à réajuster davantage sa politique vers l'agro énergie d'autant que les biocombustibles liquides ont pris de l'importance au cours des dernières décennies au Brésil et plus récemment en Europe, aux États-Unis, au Japon et dans d'autres pays de l'OCDE, notamment dans le secteur des transports. Dans le même temps, le rôle de l'agriculture en tant que productrice de ressources énergétiques est en train de s'affirmer.

A l'heure actuelle et compte tenu des différentes démarches initiées dans le cadre du PBRE, l'UEMOA devra inciter la mise en œuvre d'une politique de développement institutionnel afin de créer un climat favorable à l'investissement dans le secteur de l'éthanol et du biocarburant dans les 8 pays membres.

Les Ministères chargés de l'Énergie des pays de l'UEMOA

Les différents ministères en charge de la politique énergétique dans les différents états de l'Union devront prendre en charge les recommandations et directives sous régionales. Il s'agira de créer dans chaque pays membre, les conditions institutionnelles et réglementaires afin de rendre le secteur des biocarburants attractif. A titre d'exemple, l'obligation de mélange de l'éthanol et des autres formes de biocarburant avec les produits pétroliers dans le secteur du transport et de la production électrique constituerait un pas considérable pour créer le marché et attirer les investissements.

L'adoption de textes et règlements appropriés reste une condition préalable pour le développement de ce sous secteur de l'énergie.

Les Ministères chargés de l'Agriculture des pays de l'UEMOA

L'UEMOA peut légitimement ambitionner de devenir un important producteur de bioénergie en raison des importantes ressources en terres irrigables, un climat favorable à la culture de plantes énergétiques tout en créant des millions d'emplois agricoles. L'Union couvre une superficie d'environ 3,5 millions de km² pour une population estimée en 2005 à 78 millions d'habitants. A l'opposé de l'Europe qui manque de terres et de l'Inde qui malgré ses énormes efforts pour développer le secteur des biocarburants se trouve confronté par des manques de terres, l'Union pourrait potentiellement réserver des dizaines de millions d'hectares pour l'agro- énergie sans hypothéquer la production alimentaire. Cette situation, en réalité une position très luxueuse, peut catalyser un véritable développement de la sous région en répondant à terme au besoin énergétique d'une bonne partie de la planète. C'est de cette analyse qu'est né le concept actuellement véhiculé par quelques analystes de « baron du Sahel » à l'image des barons du pétrole du Golf Persique et qui explique l'intérêt grandissant de quelques grandes compagnies dans la sous région.

Le développement du secteur de la bioénergie contribuera de manière effective à réduire la pauvreté en accélérant le développement agricole et industriel dans la sous région. L'Union dispose de plusieurs options et opportunités de convertir ses ressources agro industrielles en biocarburant et bioélectricité afin de réduire la dépendance sur les produits pétroliers importés tout en minimisant les impacts environnementaux.

Les ministères chargés de l'agriculture auront la charge de développer de véritables politiques agricoles et de sécurité foncière.

Les Ministères chargées de l'Environnement des pays de l'UEMOA

L'ensemble des pays membres de l'UEMOA sont signataires du Protocole de Kyoto et devraient légitimement tirer des profits environnementaux et financiers considérables du Mécanisme de Développement Propre et du marché international de CO₂ en particulier. En effet, les énergies renouvelables constituent des gisements conséquents pour améliorer les performances environnementales, répondre aux engagements internationaux et attirer les investissements internationaux.

C'est dans cet esprit que les ministères chargés de l'environnement dans l'Union seront des partenaires utiles pour la promotion de la filière bioénergie.

Les Ministères chargées des Finances des pays de l'UEMOA

A l'image des politiques de soutien à l'introduction des combustibles de substitution (le gaz butane), des mesures incitatives seront nécessaires pour le développement du secteur par une fiscalité appropriée.

11.2.3 Autres acteurs

La crise énergétique actuelle et le succès du Brésil dans le secteur de la bioénergie milite grandement pour la recherche de partenaires internationaux pour relever le défi de l'espace UEMOA. De plus, les bailleurs traditionnels sont actuellement preneurs pour le développement de ces filières en Afrique.

L'UEMOA pourrait nouer des partenariats féconds avec les institutions traditionnelles et le secteur privé pour mobiliser les moyens financiers et technologiques indispensables au développement du secteur.

Les institutions sous régionales et nationales devraient particulièrement être mise en contribution pour mobiliser les ressources financières. Les centres de recherches nationales et internationales pourront positivement contribuer à aider les promoteurs de projets à maîtriser les technologies par des projets de transfert mais aussi par les recherches sur des spécificités cas typiquement régionales (éthanol à base de manioc, pomme d'anacardier, ananas et mangues par exemple).

11.3 Stratégie de mise en oeuvre

11.3.1 Les barrières identifiées

Basé sur l'étude, les barrières suivantes pour la mise en place d'une filière d'éthanol et de biocarburant ont été identifiées.

Au niveau technique

Les barrières d'ordre technique identifiées sont en relation avec la faible information disponible au niveau des preneurs de décisions institutionnels comme au niveau du secteur privé local. L'information sur les méthodes culturales, les technologies transformation et le marché n'est pas accessible à la plus part des personnes ressources rencontrées par le Consultant durant sa visite circulaire dans les pays de l'UEMOA. Sans la maîtrise de ces technologies et du savoir faire, il sera difficile d'orienter les investissements dans le secteur.

Les contraintes financières

La grande majorité des projets identifiés se trouvent encore dans une phase d'idée et de conception. A l'exception des investissements en cours - la CSS au Sénégal, dans une moindre mesure le programme de conversion de la production d'huile de coton à celui du biocarburant de la SN CITEC au Burkina Faso - la mise en oeuvre des différents projets identifiés se heurtera au besoin d'accompagnement institutionnel et de financement.

Au niveau agricole, le développement de plantations à des fins de biocarburant et d'éthanol nécessite de grands investissements et des coûts opérationnels assez lourds. De même, la mise en place d'unité de production nécessite également la mobilisation préalable de moyens financiers conséquents.

L'accès aux matières premières et coût de la logistique

Le faible niveau d'infrastructure routière, ferroviaire et fluviale de l'Union est en soi un frein à la collecte de matières premières potentiellement disponible et résulte en des coûts de logistiques exorbitants. Par conséquent, les matières premières sont perdues sur place (au niveau des zones de production). A titre d'exemple, seul 30% de la production de pomme d'anacardier est valorisée en Guinée Bissau. Au Bénin, une usine d'éthanol n'utilise que 40% de ses capacités à cause du coût du transport du manioc. De même, les usines d'éthanol à base de canne à sucre du Togo et du Bénin sont largement handicapées par le coût de la collecte au delà d'un certain rayon, entraînant des chômages techniques conséquents.

Le marché

Le marché des biocarburants et de l'éthanol est sous développé dans la région par l'absence de demande ; le transport et la génération d'électricité étant approvisionnés par les produits pétroliers importés. L'absence d'obligation pour le mélange des carburants et surtout la méconnaissance des possibilités constituent les barrières pour le développement du marché.

11.3.2 Implémentation

1. Atelier de validation

Il sera utile de regrouper tous les porteurs projets identifiés autour d'un atelier de validation de la présente étude ; ce qui aura l'effet de sensibiliser d'avantage les autorités publiques et les institutions financières sur le besoin mettre des moyens financiers et institutionnels sur le secteur.

2. Adoption de directives communautaires pour développer le marché

L'adoption de directives communautaires pour la promotion de la filière bioénergie inciterait les pays membres à prendre les dispositifs réglementaires et fiscaux appropriés pour promouvoir la production et la consommation locale. Ces mesures devraient également fixer des objectifs quantitatifs en matière de substitution des produits pétroliers et définir les mesures fiscales pour promouvoir les investissements. Enfin, une campagne de sensibilisation des grands utilisateurs (compagnies électrique, raffinage et distribution de produits pétroliers) pourraient accompagner ces mesures.

3. Mise en oeuvre de programme de soutien pour développer la connaissance

Il s'agira d'assister le secteur privé à pouvoir mener des études de faisabilité techniques et financières pour boucler des dossiers d'investissement, de faciliter les transferts de technologies et de développer la recherche au niveau des institutions spécialisées locales.

4. Création d'un fonds de promotion de la filière bioénergie

A l'heure actuelle, l'opportunité de création de fonds de promotion des investissements dans la filière bioénergie dans l'espace UEMOA dans le cadre d'un partenariat entre le secteur public et privé des pays membres se justifie.

Le fonds sera destiné à stimuler un climat propice aux investissements dans le secteur et à financer directement le secteur privé dans la création d'unités de production. Les projets de production pourront être présentés par le secteur privé et ne seront éligibles que lorsque le pays hôte aura adopté un plan d'action adéquat pour promouvoir la filière.

L'UEMOA pourrait s'associer avec les institutions financières sous régionales telle que la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) et le Fonds Africain de Garantie et de Coopération Économique (FAGACE) lever le financement du fonds et sa gestion. La branche privée de la BOAD pourrait gérer les lignes de crédit tandis le FAGACE apportera les garanties nécessaires au secteur privé.

5. Accompagnement et suivi des projets

Au delà de fortifier les chances de réussite des projets, l'activité de monitoring de projets en cours pourraient produire un certain nombre d'information utiles pour évaluer les politiques existantes et alimenter la prise de décision en matière de réformes du secteur. Dans ce sens, la création d'une association sous régionale des acteurs de la bioénergie serait un outil de collecte de données et d'échanges d'expérience et de fortifier mutuellement.

12.1 Conclusions

12.1.1 Marché de l'énergie

Le Tableau 12-1 donne les prix des combustibles et carburants dans les pays membres de l'UEMOA

Tableau 12-1 Prix des combustibles et carburants dans les pays membres de l'UEMOA

Pays	Bois (FCFA/kg)	Charbon (FCFA/kg)	Kérosène (FCFA/l)	Butane (FCFA/kg)	Essence (FCFA/l)	Gasoil (FCFA/l)
Bénin	22	72	400	385	450	440
Burkina Faso	65	100	286	415	604	536
Côte d'Ivoire	N/A	141	250	470	615	545
Guinée Bissau	40	100	533	430	736	478
Mali	24	150	320	500	615	510
Niger	35	100	542	254	593	555
Sénégal	N/A	150	276	439	648	555
Togo	25	74	280	375	525	515

Dans tous les pays membres de l'UEMOA, le bois et le charbon de bois sont les formes d'énergie de cuisson les plus utilisées, suivies par le gaz butane. Le kérosène est quasi exclusivement utilisé pour l'éclairage. Dans la plupart des pays, le gaz butane est subventionné (entre 30-60%). Néanmoins, le bois et le charbon de bois sont les combustibles domestiques les meilleurs marchés.

12.1.2 Les matières premières disponibles

Le Tableau 12-2 montre un aperçu de la production d'éthanol présente dans les pays membres de l'UEMOA.

Tableau 12-2 Aperçu de la production d'éthanol dans les pays UEMOA

Pays	Production d'éthanol	Matière première	Production (m ³ /a)
Bénin	Oui, (semi)industrielle et artisanale	Mélasse, manioc, fruits	2 500 (mélasse) 500 (manioc)
Burkina Faso	Oui, industrielle	Mélasse	1 500
Côte d'Ivoire	Non	-	-
Guinée-Bissau	Oui, artisanale	Pomme d'anacardier, fruits	Inconnu
Mali	Oui, industrielle; 2 usines planifiées	Mélasse	2 300
Niger	Non	-	-
Sénégal	1 usine d'éthanol est en construction	Mélasse	12 500 à 99,7% 2 500 à 95%
Togo	Oui, industrielle	Mélasse	800

Le Bénin

Le manioc est la matière première la plus appropriée pour la production d'éthanol/gel fuel. La production annuelle moyenne était ces dernières années de 2,8 millions de tonnes. Si seulement 5% de cette quantité pouvait être rendu disponible pour la production d'éthanol, la production annuelle d'éthanol pourrait être d'environ 20 000 m³. Le manioc est disponible tout au long de l'année.

Le Burkina Faso

La canne à sucre semble être actuellement la matière première la plus abordable pour la production d'éthanol, sur la base de nouvelle culture de canne. Si les 5 000 ha que possède SOSUCO étaient utilisés à ces fins, on peut raisonnablement estimer à 20 000 m³ l'éthanol produit. L'énergie serait alors produite par la bagasse.

Comme potentialité dans ce pays, on peut citer également le sorgho sucrier si l'aménagement prévu dans la Vallée du Sourou devient une réalité. Au niveau des biocarburants, la SN CITEC (groupe Dagrif) envisage dans le court terme de monter une usine de production d'une capacité de 10 000 tonnes par an à partir de la graine de coton.

La Côte d'Ivoire

Le pays possède un grand potentiel pour produire de l'éthanol avec la disponibilité de beaucoup de mélasse, à faible coût devant permettre une production rentable d'éthanol, de gel fuel et/ou de biocarburant. Le potentiel est de 19 000 m³/a. Les coûts de production sont estimés à respectivement 121, 165 et 122 FCFA/l pour l'éthanol, le gel fuel et le biocarburant.

La Guinée Bissau

En Guinée Bissau, la pomme d'anacardier semble actuellement être la matière première la plus disponible pour la production d'éthanol. Sa production annuelle est estimée à 400-600 mille tonnes, dont seulement 30% est employé pour la production de jus, de vin et d'eau-de-vie. Si les 70% restant pouvaient être employés à la production d'éthanol, le potentiel de production d'éthanol serait environ de 8 400-12 600 m³/a.

Le Mali

Bien que l'éthanol soit déjà produit au Mali à une échelle modeste, le vrai potentiel de production résidera principalement dans la nouvelle sucrière de MARKALA. Indépendamment de 170 000 tonnes de sucre, cette usine produira annuellement 61 000 tonnes de mélasse, pouvant être transformées en 18 000 m³ d'éthanol.

Le Niger

Le potentiel pour la production de l'éthanol est très faible au Niger. Cependant, le secteur privé local témoigne d'un grand intérêt pour la production du biodiesel à base d'huile de pourghère. Les premières estimations de coûts basés sur les différents facteurs de production indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au gasoil (prix inférieur de 11%). Un point d'attention reste le développement de plantation de pourghère à des prix abordables.

Le Sénégal

Le potentiel pour la production de l'éthanol au Sénégal considérable. Le Compagnie Sucrière Sénégalaise (CSS) produit approximativement 35 000 tonnes de mélasse avec un fort contenu en sucre, qu'ils projettent de transformer en 2 500 m³ de l'éthanol industriel (96%) et de 10 000 tonnes (12 500 m³) d'éthanol anhydre comme biocarburant.

Le Togo

En dépit de la présence de la (petite) industrie du sucre, le potentiel immédiat pour la production d'éthanol est faible à moins de développer des nouvelles plantations de canne à sucre. Cependant, comme au Niger, le secteur privé présente un intérêt particulier pour la production de l'huile de pourghère pour la production de biodiesel. Les premiers calculs basés sur des estimations des coûts des différents facteurs de production, indiquent que le biodiesel pourrait être concurrentiel au le gasoil (prix inférieur de 5%). Un point d'attention demeure néanmoins la production de graine de pourghère à un niveau concurrentiel.

L'ensemble sous régional

D'un point de vue régional, le potentiel de production agricole pour la filière éthanol biocarburant est très consistant avec les grands ensembles écologiques autour des fleuves Niger, Sénégal et Gambie. Une coopération avec les organisations chargées de la mise en valeur de ces ensembles sous régionale pourra permettre la mise en œuvre de projets. Il s'agit :

- de l'OMVS (qui comprend le Sénégal, le Mali, la Mauritanie et la Guinée Conakry) l'aménagement de plus de 600 000 hectares (240 000 hectares sont déjà disponibles pour le Sénégal au niveau de la SAED).
- de l'OMVG (Sénégal Gambie, Guinée Conakry et Guinée Bissau) : 50 000 hectares pourraient être exploités.
- Quant à l'Office du Niger au Mali on peut également compter sur au moins 800 000 hectares.

12.1.3 Évaluations financières

Le Tableau 12-3 montre les niveaux des prix calculés de l'éthanol et les niveaux de prix réels du butane subventionné et non-subventionné. Les prix des combustibles à base d'éthanol incluent la production, la distribution et la TVA.

Tableau 12-3 Prix par MJ de l'éthanol et des combustibles domestiques

Pays	Matière première	Ethanol	Prix butane réel		Prix butane non subv.	
		(FCFA/MJ)	(FCFA/MJ)	(%) ^a	(FCFA/MJ)	(%) ^a
Bénin	Manioc	17,8	8,7	103%	13,0	37%
Burkina Faso	Canne à sucre	17,7	6,3	183%	12,7	39%
Côte d'Ivoire	Mélasse	9,1	5,5	67%	13,0	-30%
Guinée Bissau	Pomme d'anacardier	25,2	11,7	117%	11,7	117%
Mali	Mélasse	14,4	7,0	106%	12,0	20%
Sénégal	Mélasse	11,7	6,0	94%	12,6	-7%

^a Pourcentage supériorité/infériorité des prix d'éthanol

Les chiffres présentés indiquent que dans les conditions du marché actuel, les combustibles domestiques à base d'éthanol ne peuvent pas concurrencer du butane. Les niveaux des prix du bois et du charbon de bois, par unité d'énergie, sont inférieurs à ceux du gaz de butane, et ne sont pas inclus dans la comparaison. Les coûts de production de gel fuel sont généralement 20-30% plus élevés que ceux de l'éthanol, et ne sont pas inclus dans la comparaison.

Au Sénégal et en Côte d'Ivoire, l'éthanol pourrait concurrencer le gaz de butane quand des subventions sur le butane auront été abandonnées ou des subventions égales auront été introduites sur l'éthanol. Cependant, dans ces situations, la production de l'éthanol anhydre (voir le Tableau 12-4) serait plus profitable ; la comparaison montre que la valeur de l'éthanol comme combustible domestique serait 36-70% au-dessous de la valeur de l'éthanol en tant que biocarburant. Un alignement sur le niveau des prix non-subsventionnée serait de 4-47%.

Le Tableau 12-4 donne les coûts de production de l'éthanol anhydre et du biodiesel comme biocarburants.

- Dans la plupart des pays disposant de matières premières pour la production d'éthanol, l'éthanol anhydre peut concurrencer l'essence. Les coûts de production d'éthanol sont 17-50% inférieurs de ceux de l'essence. Seulement au Bénin et la Guinée Bissau, les coûts de production sont légèrement au-dessus des prix d'essence. Dans ces pays, les mesures relativement modestes de soutien (par exemple exonérations d'impôt) pourraient rendre la production de l'éthanol anhydre viable.
- Au Niger et au Togo, les premiers calculs indiquent que le biodiesel à base de pourghère peut être concurrentiel avec le gasoil. Les coûts de production de biodiesel sont 5-11% au-dessous de ceux du gasoil, bien qu'ils dépendent beaucoup des coûts de graines de pourghère.

Tableau 12-4 Prix par MJ de l'éthanol anhydre, du biodiesel et des carburants fossiles

Pays	Matière première	Produit	Prix (FCFA/MJ)	Prix essence (FCFA/MJ)	(%) ^a
Bénin	Manioc	Ethanol anhydre	15,0	13,6	11%
Burkina Faso	Canne à sucre	Ethanol anhydre	15,1	18,2	-17%
Côte d'Ivoire	Mélasses	Ethanol anhydre	9,3	18,6	-50%
Guinée Bissau	Pomme d'anacardier	Ethanol anhydre	22,6	22,2	2%
Mali	Mélasses	Ethanol anhydre	12,2	18,6	-34%
Niger	Pourghère	Biodiesel		15,2 ^b	-11%
Sénégal	Mélasses	Ethanol anhydre	10,2	19,5	-48%
Togo	Pourghère	Biodiesel		14,1 ^b	-5%

^a Pourcentage supériorité/infériorité des prix de biocarburants ^b Gasoil

En générale, les combustibles domestiques à base d'éthanol ne pourront concurrencer les combustibles domestiques conventionnels tels que le gaz butane à moins de mettre en œuvre de véritables programmes de soutien et de subvention. En tous cas les autres forme d'utilisations d'éthanol telles que biocarburant seront beaucoup plus profitables.

D'autre part, il y a de bonnes opportunités pour la production des biocarburants dans la plupart des pays, sur la base d'éthanol ou de biodiesel.

12.2 **Recommandations**

La recommandation générale est de poursuivre le développement d'une filière biocarburant dans la région de l'UEMOA. Dans tous les pays membres de l'Union, il existe un grand potentiel pour produire l'éthanol anhydre ou pour produire le biodiesel. Cette production est faisable ou peut être rendue faisable par des mesures de support institutionnelles et fiscales relativement simples.

Des recommandations spécifiques pour des étapes suivantes incluent :

1. Organisation d'un atelier de validation pour regrouper tous les porteurs projets identifiés ; ce qui aura l'effet de sensibiliser d'avantage les autorités publiques et les institutions financières sur le besoin mettre des moyens financiers et institutionnels sur le secteur.
2. Adoption de directives communautaires pour développer le marché. L'adoption des directives pour la promotion de la filière bioénergie inciterait les pays membres à prendre les dispositifs réglementaires et fiscaux appropriés pour promouvoir la production et la consommation locale.
3. Mise en œuvre une programme de soutien pour développer la connaissance, pour assister le secteur privé à pouvoir mener des études de faisabilité techniques et financières pour boucler des dossiers d'investissement, de faciliter les transferts de technologies et de développer la recherche au niveau des institutions spécialisées locales.
4. Mise en place de véritables politiques d'agro énergie visant le long terme afin de viabiliser les énormes atouts en terme de terres disponibles pour la production d'une grande variété d'espèces pour fabriquer de l'éthanol et du biodiesel. Cette politique devra également régler la question foncière afin de faciliter l'investissement privé.
5. Création d'un fonds de promotion de la filière bioénergie, destiné à stimuler un climat propice aux investissements dans le secteur, et à financer directement le secteur privé dans la création d'unités de production. L'UEMOA pourrait s'associer avec les institutions financières sous régionales telle que la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) et le Fonds Africain de Garantie et de Coopération Économique (FAGACE).

-
6. Prévoir des activités d'accompagnement et suivi de la mise en œuvres de projets portés par le secteur privé et public visant la création d'un climat favorable au développement du marché. A cet effet, le PRBE pourrait être institutionnalisé en une agence sous régionale chargée de coordonner et stimuler le développement des filières bioénergie dans la région ouest africaine.

Bibliographie

Abiyou (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport Togo

ANAG - Association Nationale des Agriculteurs de la Guinée Bissau (2006) Communication personnelle entre consultant et ANAG Président Mr. Mamadu Samba Embaló.

Armstrong A.P., Baro J., Dartoy J., Groves A.P., Nikkonen J. & Rickeard D.J. (2002) Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe - an update. CONCAWE, Brussels

Benicio (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA- Rapport Guinée Bissau

Berg (2004) World Fuel Ethanol Analysis and Outlook. The Online Distillery Network.
<http://www.distill.com/World-Fuel-Ethanol-A&O-2004.html>

Biopact (2006) Nigeria, China sign agreement on ethanol production. In: Biopact, 14 august 2006.
<http://biopact.com/2006/08/nigeria-china-sign-agreement-on.html>

Bullock (2002) Ethanol from Sugarcane. Sugar Research Institute, Mackay, Australia
<http://www.zeachem.com/pubs/Ethanol%20from%20Sugarcane.pdf>

CILSS/PREDAS (2004) Enquête de consommation de combustibles domestiques au Mali. CILSS/PREDAS-BEAGGES, Bamako août 2004

CIMA International (2006) Etude sur la Stratégie Nationale de énergies domestiques au Niger

CSS - Compagnie Sucrière Sénégalaise (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de CSS (Sénégal)

DECD - Directorate of Estate Crop Development (2005) Development of Jatropha Curcas plantation as a source of raw material for Biodiesel. Jakarta, Indonesia

DGE - Direction Générale de l'Energie de Bénin (2001) Tableau de Bord de l'Energie au Bénin 2001

DGE - Direction Générale de l'Energie de Bénin (2005) Tableau de Bord de l'Energie au Bénin 2004

DGE - Direction Générale de l'Energie de Guinée Bissau (2006) Prix des combustibles ménagers pour les consommateurs finaux. Guinée Bissau

DoE (2005) Argonne National Laboratory Ethanol Study: Key points. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy

DPIF - Direction de la Production et des Industries Forestières (2006) Statistiques obtenues à partir des exploitants agréés. Ministère des Eaux et Forêts et de l'Environnement, Côte d'Ivoire

Elsayed M.A., Matthews R. and Mortimer N.D (2003) Carbon and energy balances of a range of biofuels options. DTI Sustainable Energy Programmes, Project No. B/B6/00784/REP, UK

FACT (2006) Jatropha Handbook. FACT Foundation, Eindhoven, The Netherlands.

FAO (2006) FAOSTAT agricultural production data. <http://faostat.fao.org>

GdN - Gouvernement du Niger (2006) Structure des prix des hydrocarbures, avril 2006

GdT - Gouvernement du Togo (2005) Structure des prix des carburants. Arrêté interministériel No. 032/MCIA/MMEE/MEFP du 10 octobre 2005.

Grassi G., Chiaramonti D., Agterberg A., Grimm H. & Coda B. (2002) Large Bio-ethanol project from Sweet Sorghum in China and Italy (ECHIT). Paper for the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17-21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands

Heller, J. (1996) Physic Nut Jatropha Curcac L. International Plant Genetic Resources Institute, Rome

Henning, R.K., Sidibé, Y. & Sanankona, O. (1994) Rapport intermédiaire sur la production et utilisation de l'huile de Pourghère comme carburant au Mali- Novembre 1994

Henning, R.K. (2002) Notes sur les connaissances autochtones, numéro 47 août 2002

IEA (2004) Energy Statistics Manual. International Energy Agency, Paris, France.

INRAB – Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (2006) Communication personnelle entre consultant et INRAB (Mme DJINADOU IGUE Kouboura)

International Starch Institute (1999) Cassava. International Starch Institute, Aarhus, Denmark. <http://www.starch.dk/isi/starch/cassava.htm>

Issoufou (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport Niger

ITA - Institut Technologie Alimentaire (2006) Communication personnelle avec le Chef du Département Biotechnologie, Mr. Lat Souk TOUNKARA

Kavalov (2004) Biofuel Potentials in the EU. European Commission Joint Research Centre, Report EUR 21012 EN

La Van Kinh, Vu Van Do & Dang Duc Phuong (1996) Chemical composition of cashew apple and cashew apple waste ensiled with poultry litter. Institute of Agricultural Sciences, Ho Chi Minh City, Vietnam

Lu Nan, Best G. & Carvalho Neto C.C. (1994) Integrated energy systems in China - The cold Northeastern region experience. FAO, Rome

Macedo de Carvalho, I., Leal, M.R.L.V. & da Silva, J.E.A.R (2004) Assessment of greenhouse gas emissions in the production and use of fuel ethanol in Brazil.

Mathewson (1980) The Manual for the Home and Farm Production of Alcohol Fuel. J.A. Diaz Publications

MEM - Ministère de l'Énergie et des Mines de Sénégal (2006) Structure des prix des produits pétroliers a compter de 17 juin 2006

Ministère d'Agriculture de Côte d'Ivoire (2006) Communication personnelle entre consultant et Mr. TRAORE Salif, Direction Générale des Productions et de la Diversification Agricole, Direction de la Valorisation des Produits

Mostert, O. (2005) New Alcohol Production Plant. Non publié.

Ndiaye (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA - Rapport Sénégal

Pacôme (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport provisoire Côte d'Ivoire

PERACOD (2004) Estimation des consommations en combustibles domestiques au Sénégal de 1990 à 2004

PETROCI-GAZ (2006) Information du Vente de gaz butane au niveau du Marché National. Centre emplisseur de PETROCI-GAZ, Côte d'Ivoire

Pimentel, D and Patzek, T.W. (2005) Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. Journal of Natural Resources Research, Volume 14, Number 1 / March, 2005.

PROGEDE (2004) Rapport de l'Etude de Faisabilité pour la Mise en Place d'une Unité de Production Industrielle de Gel Fuel au Sénégal. Progede, Dakar, Sénégal.

Raouf (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport Bénin

Rajvanshi, A.K., Patil, S.M & Mendoca, B (2004) Development of Stove running on low ethanol concentration. Nimbkar Agricultural Research Institute (NARI), Maharashtra (India)

Riendadi, D.Y. (2006) Investment for 100 Hectare Jatropha Curcas Plantation. <http://www.ecoworld.com/forum/jatropha/forum13/24.html>

Sanogo (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport Mali

SIE Niger (2006) Système d'Information Energétique, Niger

SIE Sénégal (2005) Système d'Information Energétique, Sénégal

Shapouri & Gallagher (2005) USDA's 2002 Ethanol Cost-of-Production Survey. United States Department of Agriculture, Agricultural Economic Report Number 841, July 2005

Somé (2006) Etude sur le développement de la filière Ethanol/Gel Fuel comme énergie de cuisson dans l'espace UEMOA – Rapport Burkina Faso

SONABHY (2006) Service des Ventes et Marketing

SONABHY (2006b) Service Approvisionnements et Statistiques

SOPAL (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SOPAL (Burkina Faso)

SOSUCO (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SOCUSO (Burkina Faso)

SOTABE (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SOTABE (Mr. ATHANASA Akitikpa, Bénin)

SRIPHL - Society for Rural Initiatives for Promotion of Herbals (2006) Centre of Excellence for Jatropha Biodiesel Promotion. Churu, India

Subramanian et al. (2005). Utilization of liquid biofuels in automotive diesel engines: An Indian perspective. Engines Laboratory, Indian Institute of Petroleum, Dehradun, India

SUCAF-CI (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SUCAF-CI (Côte d'Ivoire)

SUCOBE (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SUCOBE (Bénin)

Sucrière d'Anié (2006) Communication personnelle entre consultant et personnel de la Sucrière (Togo)

SUCRIVOIRE (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SUCRIVOIRE (Côte d'Ivoire)

SUKALA (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de SOCUSO (Mali)

Szwarc, A. (2004) Use of Bio-fuels in Brazil. In-Session Workshop on Mitigation SBSTA 21 / COP 10, Buenos Aires December 9, 2004.

UFOP - Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen (2004) Biodiesel Flower Power: facts, arguments, tips. Berlin, Germany

Visser P., Diop D. Frederiks B. & Ndiaye L. (2005) Construction of a factory for the production of Gel fuel in Sénégal. Non publié

YUEKEN (2006) Communication personnelle entre consultant et gestion de YUEKEN (Bénin)