

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice

**MINISTÈRE DES ENSEIGNEMENTS SECONDAIRE ET
SUPÉRIEUR**

UNIVERSITÉ DE BOBO-DIOULASSO

INSTITUT DU DÉVELOPPEMENT RURAL



MÉMOIRE DE DEA en Gestion Intégrée des Ressources Naturelles (GIRN)

Option : Systèmes de Production Animale

Spécialité : Nutrition et Alimentation

Présenté par

Ida Ouèbounga BÉNAGABOU

**Effet de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficience
énergétique des exploitations agricoles dans les systèmes agro-pastoraux
du Burkina Faso**

Soutenu le 14 février 2013 devant le Jury composé de :

Président :

Professeur Adrien Marie Gaston BELEM, Université de Bobo-Dioulasso

Membres :

Professeur Valérie M. C BOUGOUMA-YAMEOGO, Université de Bobo-Dioulasso

Docteur Eric VALL, Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide

✓ *À mes formidables Parents qui ont consacré
toute leur vie à mon éducation et à ma réussite,*

*.Et surtout à ma mère de qui je tiens mes premières leçons de modestie
et de courage,*

✓ *À mes trois braves frères pour l'amour
indéfectible qui nous unit,*

✓ *À ma future petite famille en cours de fondation
que j'attends avec impatience et enthousiasme,*

✓ *À ma large famille, mes amis(es) et connaissances
pour leur soutien,*

JE DÉDIE CE MÉMOIRE.

REMERCIEMENTS

Le travail présenté ici doit énormément au **Dr Valentine C. YAPI-GNAORE**, Directeur de Recherche et Directrice Générale du CIRDES. Grâce à elle et au Projet EPAD (Efficience environnementale et Productions Animales pour le Développement Durable), j'ai été acceptée au sein du CIRDES.

Je suis toute particulièrement, et profondément reconnaissante au **Dr Augustin B. KANWE**, chercheur et chef de l'URPAN (Unité de Recherche sur les Productions Animales) au CIRDES, mon maître de stage qui a bien voulu me retenir pour poursuivre ce travail que j'ai entrepris au sein de cette institution depuis 2010. Je lui dois aussi un investissement personnel dans la conduite des travaux, ses conseils, sa confiance placée en moi et les moyens matériels et financiers enviés qu'il a mis à ma disposition et enfin, je lui dois un début de culture scientifique.

J'exprime toute ma reconnaissance au **Dr Éric VALL**, chercheur du CIRAD au CIRDES et mon co-maître de stage, pour l'encadrement et le suivi quotidien dont il a fait preuve. Je lui dois aussi la rigueur et la motivation dans le travail que j'ai pu détenir de lui. Il a aussi été le maillon essentiel pour la finalisation rapide de ce document.

Je tiens à présenter mes sincères remerciements au **Pr Hassan Bismarck NACRO**, mon directeur de mémoire qui malgré son emploi de temps très chargé a bien voulu accepter diriger ce travail ; mais aussi, malgré son absence au Burkina Faso, s'est toujours intéressé et préoccupé de l'évolution des travaux.

Je tiens à adresser aussi mes sincères remerciements au **Dr Philippe LECOMTE**, Directeur de Recherche au CIRAD, et coordinateur du projet EPAD qui a placé une confiance sans précédent en ma personne, en croyant à mes capacités, à ma détermination dans la recherche, et en me trouvant une bourse de thèse pour me lancer définitivement dans la recherche.

Mes sincères remerciements à tous les *chercheurs du CIRDES* qui ont contribué à parfaire ce document par les corrections apportées, mais aussi, tous les conseils formulés à cet effet.

Mes sincères remerciements à toute l'*administration et le personnel du CIRDES* et plus particulièrement à **Mr BAYALA I**, **Mr SANOU A**, **Mr KABORÉ L** qui ont contribué d'une manière ou d'une autre à l'avancement de mes travaux.

A l'*administration de l'IDR* et à tout son *corps enseignant*, je vous remercie pour la qualité des enseignements reçus pendant ces quatre années à l'Institut du Développement Rural (IDR). Et au **Pr Adrien M.G. BELEM**, *Directeur de l'École Doctorale « Sciences Naturelles et Agronomie »* de l'Université de Bobo-Dioulasso, je formule des remerciements à son égard pour avoir permis l'accélération du processus de soutenance de ce mémoire.

Un grand merci aux producteurs de Koumbia et aux périurbains de Ouagadougou et de Bobo-Dioulasso pour leur franche collaboration et leur disponibilité tout au long de ce stage.

Je remercie **Mr Timbilfou TIENDREBÉOGO** de l'INRA pour ses conseils et sa disponibilité.

Aux nouveaux **Drs du CIRDES** et tous les stagiaires en **Thèse** (début ou fin), en **DEA**, en **Master**, en **ingénieur** et autres, j'adresse un grand merci pour leur collaboration.

Grand merci à mon complice de tous les jours (**N.W.N.R**) à qui j'ai souvent imposé des périodes d'inattention, d'éloignement et d'absence. Je les lui revaudrai toujours pour sa perpétuelle compréhension.

Nous ne saurions terminer sans adresser un sincère grand merci à la **BID** (Banque Islamique de Développement) pour l'aide financière dont nous avons bénéficiée pour la préparation de ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES.

REMERCIEMENTS -----	III
TABLE DES MATIÈRES. -----	IV
RÉSUMÉ -----	VII
ABSTRACT -----	VIII
SIGLES ET ABBREVIATIONS -----	IX
Liste des tableaux -----	X
Liste des figures -----	X
INTRODUCTION GÉNÉRALE -----	1
CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE -----	4
1.1 Aperçu sur l'énergie -----	4
1.1.1 Énergie : Définition, unités utilisées et leur équivalence -----	5
1.1.2. Ressources énergétiques non renouvelables -----	5
1.1.2.1. Avantages de l'énergie fossile -----	6
1.1.2.2. Inconvénients de l'énergie fossile -----	6
1.1.2.3. Activités génératrices de gaz à effet de serre -----	7
1.1.3. Ressources énergétiques renouvelables -----	7
1.2. Caractéristiques des exploitations agricoles -----	8
1.2.1. Définition de l'exploitation agricole -----	8
1.2.1.1. Caractéristiques des exploitations modernes -----	9
1.2.1.2. Caractéristiques des exploitations traditionnelles -----	10
1.2.2. Exploitation agricole et l'intégration agriculture-élevage -----	10
1.2.3. Diversification, diminution des risques économiques -----	11
1.2.4. Optimisation et réduction de la pénibilité du travail. -----	12
1.2.5. Valorisation des ressources du terroir. -----	12
1.2.6. Fertilité des sols -----	13
1.2.7. Exploitation agricole et la dégradation des ressources naturelles -----	13
1.2.8. Intensification agricole -----	14
CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES -----	15
2.1. Matériel -----	15
2.1.1. Sites de l'étude -----	15
2.1.1.1. Présentation de la province du Kadiogo -----	15
2.1.1.1.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines -----	15
2.1.1.1.2. Activités économiques -----	17
2.1.1.2. Présentation de la province du Houet -----	17
2.1.1.2.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines -----	17
2.1.1.2.2. Activités économiques -----	18

2.1.1.3. Présentation de la province du Tuy -----	19
2.1.1.3.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines -----	19
2.1.1.3.2. Activités économiques -----	20
2.1.2. Ressources humaines -----	21
2.1.3. Matériel de travail -----	21
2.2. Méthodologie -----	21
2.2.1. Choix de l'échantillon -----	21
2.2.2. Questionnaire d'enquête -----	21
2.2.3. Méthode d'analyse de l'énergie fossile : la méthode -----	22
2.2.4. Coefficients énergétiques -----	23
2.2.4.1. Coefficients énergétiques fossiles des intrants -----	23
2.2.4.2. Coefficients énergétiques bruts des productions -----	24
2.2.5. Traitement et analyse des données -----	24
2.2.5.1. Analyse de la diversité des exploitations agricoles. -----	25
2.2.5.2. Analyse de l'effet de l'intégration agriculture-élevage sur les performances énergétiques des exploitations -----	26
CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION -----	28
3.1. Résultats -----	28
3.1.1. Analyse de la diversité des exploitations agricoles -----	28
3.1.1.1. Statistiques descriptives des variables actives des individus -----	28
3.1.1.2. Analyse en composantes principales -----	29
3.1.1.3. Classification Ascendante Hiérarchique -----	31
3.1.1.4. Bilan de l'analyse multivariée -----	33
3.1.1.5. Étude comparative des principales caractéristiques des populations d'exploitation en fonction des classes définies -----	34
3.1.1.6. Description des différentes classes d'exploitation -----	36
3.1.1.6.1. Classe I : Les éleveurs moyens -----	36
3.1.1.6.2. Classe II : Les grands éleveurs -----	37
3.1.1.6.3. Classe III : Les agro-éleveurs -----	37
3.1.1.6.4. Classe IV : Les petits agriculteurs -----	37
3.1.1.6.5. Classe V : Les agriculteurs moyens -----	38
3.1.1.6.6. Classe VI : Les agriculteurs en voie d'intensification -----	38
3.1.1.6.7. Classe VII : Les éleveurs périurbains lait intensifs -----	38
3.1.2. Analyse de l'impact de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficacité énergétique -----	40

3.1.2.1. Regroupement des classes en grands types d'exploitations -----	40
3.1.2.2. Répartition des exploitations en fonction du degré d'intégration Agriculture-élevage 41	
3.1.2.3. Effet de l'intégration agriculture-élevage sur la performance énergétique des exploitations -----	43
3.2. Discussion -----	44
3.2.1. Efficience systèmes Traditionnels et systèmes Modernes -----	44
3.2.2. Impact de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficience énergétique -----	45
CONCLUSION -----	48
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	50
ANNEXES -----	57
Annexe 1. Calcul des coefficients énergétiques -----	57
Annexe 2. Questionnaire d'enquête individuelle -----	66

RÉSUMÉ

L'intensification par les intrants et les équipements est la forme la plus visible au sein des exploitations agricoles. Mais les intrants agricoles sont consommateurs d'énergie fossile, ce qui est une menace pour l'environnement. Il est donc nécessaire de trouver des stratégies à même d'assurer à la fois une production suffisante, et la protection des ressources naturelles.

L'objectif global de cette étude était de contribuer à la promotion de systèmes de productions plus efficaces.

L'étude a été effectuée dans les exploitations traditionnelles du village de Koumbia et dans quelques exploitations modernes périurbaines des villes de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou. L'étude a concerné trente-deux (32) exploitations dont vingt-cinq (25) à Koumbia, deux (02) à la périphérie de Bobo-Dioulasso et cinq (05) à la périphérie de Ouagadougou. Elle a porté sur la diversité énergétique des exploitations agricoles et l'analyse de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficacité énergétique de l'exploitation. La méthode utilisée pour calculer l'efficacité énergétique des exploitations est la méthode PLANÈTE, adaptée au contexte du Burkina Faso.

Nous avons pu dégager sept classes en fonction des entrées énergétiques, des sorties énergétiques et des caractéristiques structurelles des exploitations.

On remarque que les exploitations traditionnelles sont plus efficaces en termes d'énergie que les exploitations modernes. En effet, l'efficacité énergétique a varié de 1,3 pour les éleveurs périurbains intensifs producteurs de lait à 18,2 pour les petits agriculteurs.

L'analyse de l'intégration agriculture-élevage a montré que cette pratique, à un niveau élevé dans une exploitation, améliore l'efficacité énergétique des agriculteurs et des éleveurs. Ainsi, celle-ci passe de 12,6 à 16,2 pour les agriculteurs et de 12,4 à 13,9 pour les éleveurs. Cependant chez les éleveurs périurbains intensifs producteurs de lait, l'efficacité baisse de 0,80 à 0,60. L'analyse statistique ne montre pas une différence significative entre l'efficacité énergétique des producteurs qui intègrent plus ou moins l'agriculture et élevage.

Il est apparu que l'intégration agriculture-élevage est une pratique qui améliore l'efficacité énergétique des exploitations agricoles rurales et que l'efficacité énergétique basse des exploitations périurbaines est due à l'intensification agricole.

Mots clés : Exploitation traditionnelle - Exploitation périurbaine - Intégration agriculture-élevage - Efficacité énergétique, Burkina Faso.

ABSTRACT

The intensification inputs and equipment is the most form visible in the farms. However, agricultural inputs are consumers of fossil fuels, which is a threat to the environment. It is therefore necessary to find strategies that can ensure both adequate production and protection of natural resources.

The present study aimed at contributing to the promotion of more efficient production systems.

The study was carried out in the traditional farms of the village of Koumbia and in some periurban modern farms Bobo-Dioulasso and Ouagadougou cities. A total of thirty-two (32) farms were included in our study with: 25 farms in Koumbia, 02 in Bobo-Dioulasso periurban area and 05 in Ouagadougou periurban area.

The effect of farm diversity and practice of crop-livestock integration on the energy efficiency of the farms was analyzed. The method used to calculate the energy efficiency of the farms is the method PLANETE, well adapted to the context of Burkina Faso.

Diversity analysis showed seven (07) classes characterized according to their energy's inputs and outputs, and to some structural characteristics.

It was noticed that traditional farms are more efficient in terms of energy than the modern farms. Indeed, energy efficiency varied from 1.3 for periurban intensive milk breeders to 18.2 for the small crop farmers.

Our results showed that the integration of crop and livestock production at high levels improves the energy efficiency of crop farmers and breeders. Thus, energy efficiency increases from 12.6 to 16.2 for crop farmers and from 12.4 to 13.9 for breeders. However, for periurban intensive milk breeders, efficiency decreases from 0.80 to 0.60. The statistical analysis doesn't show a significant difference between energy efficiency of the producers integrate more or less crop and livestock productions.

It appeared that the practice of the crop-livestock integration improves energy efficiency of the rural farms while it decreases the energy efficiency in periurban farms.

Key words : Traditional Farms - Periurban Farms - Crop livestock integration - Energy efficiency.

SIGLES ET ABBREVIATIONS

ACP : Analyse en Composantes Principales

ANOVA : Analyse de variance

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

Cal : Calories

CIRDES : Centre International de Recherches-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide

CMV : Compléments Minéraux et Vitaminiques.

CO₂ : Dioxyde de carbone

H : Heure

Ha : Hectare

IAE- : Intégration agriculture faible

IAE + : Intégration agriculture forte

J : Joules

Jr : jour

Kg : Kilogrammes

KWH = Kilo Watt Heure

L : Litres

MJ : Mega Joules

MS : Matière sèche

NPK : Azote-phosphore-potassium

PV : Poids vif

STC = Surface Totale Cultivée

UBT : Unité Bovin Tropical

Wh : Watt-heure

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Quelques équivalences de mesure de l'énergie.....	5
Tableau II : Réserves d'énergies primaires fossiles en Gtep (bases 2004)	6
Tableau III : Comparaison entre exploitation familiale et agriculture commerciale (capitaliste)	9
Tableau IV : Variables actives retenues pour l'analyse	25
Tableau V : Procédure de calcul des indicateurs d'intégration agriculture-élevage	26
Tableau VI : Statistiques descriptives des variables actives des individus	29
Tableau VII : Comparaison de la performance énergétique, des intrants et des produits selon les classes d'exploitation.....	36
Tableau VIII : Description des sept classes d'exploitations en fonction de leurs caractéristiques structurelles, des pourcentages des différents postes d'entrée et de sortie d'énergie.....	39
Tableau IX : Indicateurs d'intégration agriculture-élevage des six nouveaux types et leur performance énergétique	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte du Burkina Faso et localisation des sites de l'étude.....	15
Figure 2 : Schéma du système énergétique d'une exploitation	22
Figure 3 : Cercle de corrélation des variables sur le premier plan factoriel.....	31
Figure 4 : Diagramme des niveaux.....	31
Figure 5 : Dendrogramme de la première classification ascendante hiérarchique.....	32
Figure 6 : Dendrogramme de la deuxième classification ascendante hiérarchique	32
Figure 7 : Dendrogramme de la troisième classification ascendante hiérarchique	33
Figure 8 : Projection des exploitations selon les axes 1 et 2	34
Figure 9 : Nouvelles classes obtenues pour l'analyse de l'intégration agriculture-élevage des exploitations	41
Figure 10 : Effet de l'intégration agriculture-élevage sur la performance énergétique des exploitations	43

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Afrique subsaharienne est confrontée au problème de dégradation de ses ressources naturelles qui jadis assuraient pleinement les fonctions de production de biens et de services. Ce problème, amplifié par l'effet des changements climatiques, préoccupe autant les agriculteurs que les éleveurs tirant intégralement leurs biens de cet environnement en perpétuelle évolution. Ainsi, les systèmes de productions agricoles menacés de disparition sont modifiés afin de s'adapter aux nouvelles conditions qui s'imposent (ZOUNDI *et al.*, 2003). De plus, la conduite séparée des activités agricoles et pastorales par les producteurs à cause du manque d'espace disponible, est aujourd'hui coincée entre la croissance démographique et l'extension des superficies cultivables. Cette situation étant permise par l'introduction de la culture attelée. L'augmentation des besoins en terre et l'abandon des jachères qui empiètent sur l'espace réservé à l'élevage est la principale source de conflit entre les agriculteurs et les éleveurs (BREMEN et TRAORE, 1987 ; BLANCHARD, 2005, VALL, 2006). L'utilisation anarchique des ressources naturelles par les acteurs du développement rural a des conséquences néfastes sur les systèmes de production (D'AQUINO *et al.*, 1995), comme par exemple, la baisse des rendements agricoles due à la baisse de la fertilité des sols. D'autre part, l'élevage connaît aussi de nombreux problèmes, en particulier en saison sèche : manque d'eau pour l'abreuvement des animaux, manque de fourrage pour leur alimentation. Pour minimiser ces tensions entre agriculteurs et éleveurs, plusieurs stratégies sont développées par les producteurs : l'intensification de l'agriculture et l'élevage et l'adoption de l'intégration agriculture-élevage au sein de l'unité de production (VALL, 2006). Autrefois pratiquée pour accroître la productivité du travail (LANDAIS et LHOSTE, 1990), l'intégration agriculture-élevage est à l'étape actuelle, présentée comme un espoir pour les producteurs à des fins d'amélioration de la fertilité de leurs sols pour pallier aux mauvais rendements (DUGUÉ *et al.*, 2012). L'accroissement des productions est également permis par l'intensification agricole. Le facteur "terre", étant devenu limitant pour les agriculteurs et les éleveurs, l'intensification agricole leur permet d'investir dans un ou plusieurs facteurs pour hausser la production. L'intensification par les intrants et les équipements est la forme la plus visible au sein des exploitations agricoles. Ces intrants agricoles de coût exorbitant pour leur acquisition, sont consommateurs d'énergie fossile, ce qui est une menace pour l'environnement. Déjà, dans un contexte de vulnérabilité écologique face aux changements climatiques, il devient nécessaire de trouver des stratégies de production au sein des exploitations agricoles afin de produire en quantités suffisantes pour une population

grandissante tout en protégeant les ressources naturelles. L'intégration agriculture-élevage permet de ce fait le recyclage des éléments minéraux, la séquestration du carbone dans le sol et son utilisation par les plantes. Les études de BLANCHARD *et al.* (2010) montrent qu'une partie du carbone et de l'azote de la biomasse végétale et animale est transformée en fumure organique et transportée sur les champs des producteurs. L'intégration agriculture-élevage, lorsqu'elle est bien conduite, pourrait être une des panacées aux problèmes de pollution de l'environnement rencontrés durant ces dernières années dans nos zones agricoles.

Justification de l'étude

L'agriculture conventionnelle des pays développés absorbe une grande partie de l'énergie non renouvelable par consommation massive d'énergie fossile (mécanisation, pesticide, herbicides, engrais) (BOCHU, 2002 ; THÉWIS *et al.*, 2005 ; BONNY, 2010) ; l'énergie fossile est pourtant source de pollution de l'environnement (GIEC, 2007).

Dans les zones rurales par contre, le faible revenu de la plupart des producteurs ne leur permet pas d'utiliser en grande quantité ces énergies non renouvelables alors qu'ils sont confrontés à une multitude de problèmes (baisse de la fertilité des sols, aléas climatiques) (VALL *et al.*, 2012 ; DIAGANA *et al.*, 1996). Cette baisse de la fertilité des sols, associée à la précarité des conditions climatiques contraignent les paysans à développer des stratégies pour y faire face (VALL *et al.*, 2012). Ces derniers mettent par conséquent l'accent sur l'intégration agriculture-élevage sous toutes ses formes (traction animale, fumure organique, résidus de cultures et cultures fourragères). En effet, pendant son introduction en Afrique subsaharienne, seul l'aspect « augmentation de la productivité du travail » était prise en compte par les producteurs pour accroître les superficies cultivées. Cette technique au triple avantage permet aussi une diversification des activités et des ressources des producteurs et une contribution à l'intensification écologique. De plus, l'exploitation peut être considérée sous l'angle de sa performance énergétique.

Toutefois, en Afrique et particulièrement en Afrique de l'Ouest, très peu d'études se sont intéressées à cette dernière composante.

La présente étude aborde de ce fait l'importance de l'intégration agriculture-élevage sur l'exploitation agricole à travers le thème : « Effet de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur le bilan énergétique des systèmes agropastoraux ».

Objectifs

L'objectif global de cette étude est de contribuer à la promotion de systèmes de productions plus efficaces.

Spécifiquement, il s'est agit :

- d'analyser la diversité énergétique des exploitations agricoles rurales et périurbaines ;
- d'analyser la performance énergétique de ces exploitations et d'identifier les plus performantes ;
- de construire des indicateurs pour apprécier le degré de l'intégration entre l'agriculture et l'élevage au sein des exploitations.

Hypothèses de travail

Notre démarche a été structurée autour des hypothèses suivantes :

- L'efficience énergétique est différente selon les classes d'exploitation et les plus traditionnelles sont les plus efficaces (minimisation des entrées d'énergie fossile) ;
- L'intégration de l'agriculture-élevage améliore l'efficience énergétique des exploitations (réduction des entrées et maintien des sorties).

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Aperçu sur l'énergie

Avant la révolution industrielle, l'énergie renouvelable (solaire) via l'agriculture et la forêt était la principale source d'énergie utilisée partout dans le monde (BOBIN *et al.*, 2007). Les produits agricoles fournissaient l'énergie nécessaire aux hommes, aux travaux agricoles et au transport (transport à pied de l'homme, à chevaux et bœufs). Le bois de la forêt fournissait quant à lui l'énergie pour chauffer les habitations et autres bâtiments, et permettait la fonte des métaux avec tous les outils associés.

Au début de l'ère industrielle, la population mondiale tournait autour du milliard d'habitants (PISON, 2011) et les activités humaines étaient encore traditionnelles car la main d'œuvre (humaine et animale) constituait la principale source d'énergie recherchée pour les travaux. Cette énergie ayant des limites temporelles ne permettait pas une production quantitative des biens et services. C'est la découverte des ressources énergétiques fossiles, d'abord le charbon et ensuite le pétrole et le gaz naturel, qui a permis le véritable essor de la société industrielle. À partir de ce moment, le monde est passé d'une société solaire utilisant les énergies dites de flux vers une société utilisant les ressources fossiles soit des énergies de stock (DERY, 2007). Cela a entraîné la formation d'un nouveau mode de production à travers la mise en place des industries qui assuraient une production conséquente des biens. Le développement de l'agriculture pour ravitailler les industries en matière première et celui du transport pour exporter les productions excédentaires vers d'autres pays suivaient le rythme de la révolution. Parallèlement, la population mondiale largement croissante, a atteint à l'heure actuelle sept (07) milliards d'habitants et selon les prévisions, cette population passera en 2050 à neuf virgule trois (9,3) milliards d'habitants (ONU, 2011). Sur le plan énergétique, la quantité d'énergie fossile, a subi plutôt des crises : choc pétrolier de 1973 et de 1979, et il est prévu, compte tenu de l'expansion démographique et économique notamment en Chine et en Inde, que la demande énergétique devrait augmenter de 60 % d'ici à 2030 (PNUE, 2011).

Au regard du développement spectaculaire observé depuis l'ère industrielle, LARDELLI (2009) et ROUSSEAU (2010) ont affirmé que l'énergie est le véritable moteur de l'économie d'un pays car depuis sa découverte, le monde n'a connu qu'un essor (développement) sans précédent. En effet, ce développement est largement perceptible car tous les secteurs d'activité du monde actuel passe par une consommation d'énergie quelle qu'en soit sa forme : les transports, l'industrie, l'habitat et/ou l'agriculture.

Mais moins de trois siècles après la découverte de l'énergie, le monde et l'humanité doit répondre à une double question cruciale : comment poursuivre le développement actuel face à un épuisement des ressources d'énergie non renouvelables et à une pollution environnementale ?

La question énergétique est ainsi une question centrale au cœur des préoccupations de l'humanité toute entière. Il faut alors trouver et mettre en œuvre des actions efficaces pour l'utilisation des ressources énergétiques.

1.1.1 Énergie : Définition, unités utilisées et leur équivalence

L'énergie est une grandeur qui se retrouve sous plusieurs formes. Ainsi, ses unités changent en fonction de la forme sous laquelle elle se trouve :

- l'énergie mécanique en Joule (J) ;
- l'énergie mécanique en Watt-heure (Wh) ;
- L'énergie calorifique en calorie (cal).

L'avantage prouvé est que ces unités sont liées entre elles par des formules permettant de convertir une source d'énergie donnée en une autre et vice versa. Dans le tableau I, sont consignées les équivalences entre les différentes sources d'énergie.

Tableau I : Quelques équivalences de mesure de l'énergie

1 Wh = 3600 J (1 TWh = 10^{12} Wh, 1 EJ = 10^{18} J)
1 t.e.p. = 11 600 kWh
1 baril (159 l ou 140 kg) = 1700 kWh
1 BTU = 252 cal = 1050 J
1 quad BTU: 10^{15} BTU = 290.10^9 kWh

Source : MULTON, 1998.

Wh = Watt-heure

KWH Kilo Watt-heure

BTU = British Thermal Unit

J = Joule

Cal = Calorie

TWh = Tera Watt heure

t.e.p = tonne équivalent pétrole

Quad=Quadrillion

EJ= Exajoule

1.1.2. Ressources énergétiques non renouvelables

Il s'agit des carburants fossiles : pétrole, charbon et gaz naturel pour les plus connus et des combustibles nucléaires pour la fission comme l'uranium.

1.1.2.1. Avantages de l'énergie fossile

Déjà vers la fin du XVII^e siècle, l'énergie fossile (charbon) fut découverte en Angleterre mais les premières traces de forages de pétroles furent découvertes aux USA vers la fin du XIX^e siècle (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Cela fait environ quatre siècles que l'homme s'est approprié de cette ressource et l'a améliorée pour qu'elle réponde à ses exigences (MULTON, 1998). Ces avantages sont entre autres la maîtrise de la technologie et l'existence d'un système énergétique (TANURO, 2010). Selon WESTRA et KUYVENHOVEN (2002), cela explique la consommation importante de l'énergie fossile au niveau mondial (plus de 80% de l'énergie consommée est d'origine fossile).

1.1.2.2. Inconvénients de l'énergie fossile

Comme nous avons évoqué précédemment, l'énergie fossile présente des avantages et cela a contribué à la croissance démographique de manière vertigineuse. En effet, la population mondiale actuelle est six fois supérieure à celle d'avant l'ère industrielle et cela en moins de trois siècles. Cependant, cette énergie fossile a des impacts graves et irréversibles. Il s'agit entre autre de la pollution de l'environnement (MULTON, 1998 ; BOBIN *et al.*, 2007). De plus, ces ressources ne sont pas renouvelables, et leurs stocks s'épuisent et pourraient disparaître (DEVIN, 2006). On sait pourtant à quel point nous avons besoin d'énergie pour assurer notre existence (ROUSSEAU, 2010).

Le tableau II présente les quantités mondiales des différents types d'énergie fossile en réserves et le temps restant pour leur exploitation.

Tableau II : Réserves d'énergies primaires fossiles en Gtep (bases 2004)

	Réserves mondiales Prouvées (Gtep)	Consommation Annuelle (Gtep)	Durée (au rythme actuel de la consommation) (années)
Pétrole	≈140	3,9	≈40
Gaz naturel	≈160	2,4	≈60
Charbon	≈600	2,8	≈200

Gtep = Giga tonne équivalent pétrole

Source : MÉMENTO DE L'HYDROGÈNE, 2007.

1.1.2.3. Activités génératrices de gaz à effet de serre

Le transport, l'électricité (environ 30% de l'énergie fossile consommée sert à la production de l'électricité mondiale), l'agriculture sont de grands consommateurs d'énergie fossile (MULTON, 1998). Et l'agriculture qui avait pour mission de créer de l'énergie est devenue une très grande consommatrice d'énergie (DÉRY, 2007) et responsable de 20% de la pollution (AUBIN et *al.*, 2009).

Le changement de l'objectif principal de l'agriculture qui était de produire de l'énergie a commencé à apparaître au début du XXe siècle avec une dépendance des énergies fossiles pour la synthèse de l'azote atmosphérique comme source d'engrais, et, plus tard, l'apparition des produits phytosanitaires, des minéraux de synthèse, et aussi la motorisation, dans la seconde moitié de ce siècle. Avec ces découvertes, les systèmes de culture, dans les pays industrialisés, deviennent de plus en plus consommateurs d'énergie non renouvelable (DÉRY, 2007). Cette agriculture intensive gaspillant de manière inconsciente les ressources énergétiques de plus en plus rares et utilisant de plus en plus d'intrants et de produits chimiques de synthèse, de façon de moins en moins efficace prédomine de nos jours, et cela, a des conséquences sociales et écologiques graves (PAPY, 2008).

En effet, l'agriculture a été beaucoup modernisée avec l'ère industrielle, avec une utilisation excessive d'énergie fossile dans le domaine agricole. Cette énergie non renouvelable engendre l'émission des gaz à effet de serre tel que le CO₂ (DÉRY, 2007).

La dégradation environnementale n'ayant pas pu convaincre l'opinion à un abandon de l'utilisation d'énergies fossiles, leur épuisement programmé et annoncé pour les prochaines décennies amène à repenser de nouvelles sources d'énergie. Ces nouvelles énergies à développer dans l'avenir devant tenir compte de toutes les défaillances des énergies fossiles, il serait doublement intéressant de penser à la valorisation de l'énergie renouvelable qui au delà de son caractère inépuisable, est moins polluant pour l'environnement.

1.1.3. Ressources énergétiques renouvelables

Une énergie renouvelable est une énergie exploitable par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas (PEETERS, 2010). En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée.

Les principales énergies renouvelables sont : le solaire, l'hydroélectrique, l'éolienne, la biomasse, le géothermique et l'énergie marine (PEETERS, 2010). Ces énergies renouvelables sont classées en trois grandes familles : *l'énergie d'origine mécanique* (la houle, éolien), *énergie électrique* (panneaux photovoltaïques) et *l'énergie sous forme de chaleur* (géothermie, solaire, thermique) (MIRECKI, 2005).

Bien que le charbon, le pétrole et le gaz naturel fournissent plus de 80 % des services énergétiques mondiaux, on assiste actuellement à un développement croissant de l'énergie solaire, éolienne et celle de la biomasse au niveau de plusieurs pays (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Celles-ci pourraient représenter jusqu'à 30% des besoins énergétiques mondiaux d'ici 2030. Les carburants verts, l'énergie éolienne, solaire, et le géothermique sont les énergies actuellement en plein essor.

De plus en plus, des études sont réalisées pour dompter l'énergie inépuisable qui s'offre à l'humanité toute entière. Dans le domaine agricole, les premières actions qui ont été envisagées étaient de faire le bilan d'énergie des exploitations afin de situer leur part de responsabilité dans cette pollution environnementale et de développer des stratégies pour faire face aux changements climatiques. Parmi ces stratégies, nous avons le développement d'un nombre important de méthodes tels que PLANÈTE, DIAGE, IDEA (VIGNE, 2007 ; BOCKSTALLER et al., 2009) pour le diagnostic environnemental des exploitations agricoles. Nous avons aussi le recyclage des produits de la ferme, l'économie d'énergie par la diminution de gaspillage des intrants agricoles, l'agriculture de conservation, l'intensification écologique, l'intégration de l'agriculture-élevage.

1.2. Caractéristiques des exploitations agricoles

1.2.1. Définition de l'exploitation agricole

Le MCD (1991) définit l'exploitation agricole comme « une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Le système de production est la combinaison des productions et des facteurs de production (terres, travail, capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole ».

Cette définition ne passe pas partout car elle diffère selon les régions. En Afrique par exemple, elle est rarement applicable en milieu traditionnel parce que la cellule de base de production est soit l'agriculteur lui-même, soit sa famille restreinte ou élargie et la notion de profit n'est pas toujours évidente. En plus, au sein de l'exploitation, les ressources économiques sont non seulement diversifiées mais aussi, on peut les isoler de l'agriculture

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Afrique subsaharienne est confrontée au problème de dégradation de ses ressources naturelles qui jadis assuraient pleinement les fonctions de production de biens et de services. Ce problème, amplifié par l'effet des changements climatiques, préoccupe autant les agriculteurs que les éleveurs tirant intégralement leurs biens de cet environnement en perpétuelle évolution. Ainsi, les systèmes de productions agricoles menacés de disparition sont modifiés afin de s'adapter aux nouvelles conditions qui s'imposent (ZOUNDI *et al.*, 2003). De plus, la conduite séparée des activités agricoles et pastorales par les producteurs à cause du manque d'espace disponible, est aujourd'hui coincée entre la croissance démographique et l'extension des superficies cultivables. Cette situation étant permise par l'introduction de la culture attelée. L'augmentation des besoins en terre et l'abandon des jachères qui empiètent sur l'espace réservé à l'élevage est la principale source de conflit entre les agriculteurs et les éleveurs (BREMEN et TRAORE, 1987 ; BLANCHARD, 2005, VALL, 2006). L'utilisation anarchique des ressources naturelles par les acteurs du développement rural a des conséquences néfastes sur les systèmes de production (D'AQUINO *et al.*, 1995), comme par exemple, la baisse des rendements agricoles due à la baisse de la fertilité des sols. D'autre part, l'élevage connaît aussi de nombreux problèmes, en particulier en saison sèche : manque d'eau pour l'abreuvement des animaux, manque de fourrage pour leur alimentation. Pour minimiser ces tensions entre agriculteurs et éleveurs, plusieurs stratégies sont développées par les producteurs : l'intensification de l'agriculture et l'élevage et l'adoption de l'intégration agriculture-élevage au sein de l'unité de production (VALL, 2006). Autrefois pratiquée pour accroître la productivité du travail (LANDAIS et LHOSTE, 1990), l'intégration agriculture-élevage est à l'étape actuelle, présentée comme un espoir pour les producteurs à des fins d'amélioration de la fertilité de leurs sols pour pallier aux mauvais rendements (DUGUÉ *et al.*, 2012). L'accroissement des productions est également permis par l'intensification agricole. Le facteur "terre", étant devenu limitant pour les agriculteurs et les éleveurs, l'intensification agricole leur permet d'investir dans un ou plusieurs facteurs pour hausser la production. L'intensification par les intrants et les équipements est la forme la plus visible au sein des exploitations agricoles. Ces intrants agricoles de coût exorbitant pour leur acquisition, sont consommateurs d'énergie fossile, ce qui est une menace pour l'environnement. Déjà, dans un contexte de vulnérabilité écologique face aux changements climatiques, il devient nécessaire de trouver des stratégies de production au sein des exploitations agricoles afin de produire en quantités suffisantes pour une population

grandissante tout en protégeant les ressources naturelles. L'intégration agriculture-élevage permet de ce fait le recyclage des éléments minéraux, la séquestration du carbone dans le sol et son utilisation par les plantes. Les études de BLANCHARD *et al.* (2010) montrent qu'une partie du carbone et de l'azote de la biomasse végétale et animale est transformée en fumure organique et transportée sur les champs des producteurs. L'intégration agriculture-élevage, lorsqu'elle est bien conduite, pourrait être une des panacées aux problèmes de pollution de l'environnement rencontrés durant ces dernières années dans nos zones agricoles.

Justification de l'étude

L'agriculture conventionnelle des pays développés absorbe une grande partie de l'énergie non renouvelable par consommation massive d'énergie fossile (mécanisation, pesticide, herbicides, engrais) (BOCHU, 2002 ; THÉWIS *et al.*, 2005 ; BONNY, 2010) ; l'énergie fossile est pourtant source de pollution de l'environnement (GIEC, 2007).

Dans les zones rurales par contre, le faible revenu de la plupart des producteurs ne leur permet pas d'utiliser en grande quantité ces énergies non renouvelables alors qu'ils sont confrontés à une multitude de problèmes (baisse de la fertilité des sols, aléas climatiques) (VALL *et al.*, 2012 ; DIAGANA *et al.*, 1996). Cette baisse de la fertilité des sols, associée à la précarité des conditions climatiques contraignent les paysans à développer des stratégies pour y faire face (VALL *et al.*, 2012). Ces derniers mettent par conséquent l'accent sur l'intégration agriculture-élevage sous toutes ses formes (traction animale, fumure organique, résidus de cultures et cultures fourragères). En effet, pendant son introduction en Afrique subsaharienne, seul l'aspect « augmentation de la productivité du travail » était prise en compte par les producteurs pour accroître les superficies cultivées. Cette technique au triple avantage permet aussi une diversification des activités et des ressources des producteurs et une contribution à l'intensification écologique. De plus, l'exploitation peut être considérée sous l'angle de sa performance énergétique.

Toutefois, en Afrique et particulièrement en Afrique de l'Ouest, très peu d'études se sont intéressées à cette dernière composante.

La présente étude aborde de ce fait l'importance de l'intégration agriculture-élevage sur l'exploitation agricole à travers le thème : « Effet de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur le bilan énergétique des systèmes agropastoraux ».

Objectifs

L'objectif global de cette étude est de contribuer à la promotion de systèmes de productions plus efficaces.

Spécifiquement, il s'est agit :

- d'analyser la diversité énergétique des exploitations agricoles rurales et périurbaines ;
- d'analyser la performance énergétique de ces exploitations et d'identifier les plus performantes ;
- de construire des indicateurs pour apprécier le degré de l'intégration entre l'agriculture et l'élevage au sein des exploitations.

Hypothèses de travail

Notre démarche a été structurée autour des hypothèses suivantes :

- L'efficacité énergétique est différente selon les classes d'exploitation et les plus traditionnelles sont les plus efficaces (minimisation des entrées d'énergie fossile) ;
- L'intégration de l'agriculture-élevage améliore l'efficacité énergétique des exploitations (réduction des entrées et maintien des sorties).

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Aperçu sur l'énergie

Avant la révolution industrielle, l'énergie renouvelable (solaire) via l'agriculture et la forêt était la principale source d'énergie utilisée partout dans le monde (BOBIN *et al.*, 2007). Les produits agricoles fournissaient l'énergie nécessaire aux hommes, aux travaux agricoles et au transport (transport à pied de l'homme, à chevaux et bœufs). Le bois de la forêt fournissait quant à lui l'énergie pour chauffer les habitations et autres bâtiments, et permettait la fonte des métaux avec tous les outils associés.

Au début de l'ère industrielle, la population mondiale tournait autour du milliard d'habitants (PISON, 2011) et les activités humaines étaient encore traditionnelles car la main d'œuvre (humaine et animale) constituait la principale source d'énergie recherchée pour les travaux. Cette énergie ayant des limites temporelles ne permettait pas une production quantitative des biens et services. C'est la découverte des ressources énergétiques fossiles, d'abord le charbon et ensuite le pétrole et le gaz naturel, qui a permis le véritable essor de la société industrielle. À partir de ce moment, le monde est passé d'une société solaire utilisant les énergies dites de flux vers une société utilisant les ressources fossiles soit des énergies de stock (DERY, 2007). Cela a entraîné la formation d'un nouveau mode de production à travers la mise en place des industries qui assuraient une production conséquente des biens. Le développement de l'agriculture pour ravitailler les industries en matière première et celui du transport pour exporter les productions excédentaires vers d'autres pays suivaient le rythme de la révolution. Parallèlement, la population mondiale largement croissante, a atteint à l'heure actuelle sept (07) milliards d'habitants et selon les prévisions, cette population passera en 2050 à neuf virgule trois (9,3) milliards d'habitants (ONU, 2011). Sur le plan énergétique, la quantité d'énergie fossile, a subi plutôt des crises : choc pétrolier de 1973 et de 1979, et il est prévu, compte tenu de l'expansion démographique et économique notamment en Chine et en Inde, que la demande énergétique devrait augmenter de 60 % d'ici à 2030 (PNUE, 2011).

Au regard du développement spectaculaire observé depuis l'ère industrielle, LARDELLI (2009) et ROUSSEAU (2010) ont affirmé que l'énergie est le véritable moteur de l'économie d'un pays car depuis sa découverte, le monde n'a connu qu'un essor (développement) sans précédent. En effet, ce développement est largement perceptible car tous les secteurs d'activité du monde actuel passe par une consommation d'énergie quelle qu'en soit sa forme : les transports, l'industrie, l'habitat et/ou l'agriculture.

Mais moins de trois siècles après la découverte de l'énergie, le monde et l'humanité doit répondre à une double question cruciale : comment poursuivre le développement actuel face à un épuisement des ressources d'énergie non renouvelables et à une pollution environnementale ?

La question énergétique est ainsi une question centrale au cœur des préoccupations de l'humanité toute entière. Il faut alors trouver et mettre en œuvre des actions efficaces pour l'utilisation des ressources énergétiques.

1.1.1 Énergie : Définition, unités utilisées et leur équivalence

L'énergie est une grandeur qui se retrouve sous plusieurs formes. Ainsi, ses unités changent en fonction de la forme sous laquelle elle se trouve :

- l'énergie mécanique en Joule (J) ;
- l'énergie mécanique en Watt-heure (Wh) ;
- L'énergie calorifique en calorie (cal).

L'avantage prouvé est que ces unités sont liées entre elles par des formules permettant de convertir une source d'énergie donnée en une autre et vice versa. Dans le tableau I, sont consignées les équivalences entre les différentes sources d'énergie.

Tableau I : Quelques équivalences de mesure de l'énergie

1 Wh = 3600 J (1 TWh = 10^{12} Wh, 1 EJ = 10^{18} J)
1 t.e.p. = 11 600 kWh
1 baril (159 l ou 140 kg) = 1700 kWh
1 BTU = 252 cal = 1050 J
1 quad BTU: 10^{15} BTU = 290.10^9 kWh

Source : MULTON, 1998.

Wh = Watt-heure

KWH Kilo Watt-heure

BTU = British Thermal Unit

J = Joule

Cal = Calorie

TWh = Tera Watt heure

t.e.p = tonne équivalent pétrole

Quad=Quadrillion

EJ= Exajoule

1.1.2. Ressources énergétiques non renouvelables

Il s'agit des carburants fossiles : pétrole, charbon et gaz naturel pour les plus connus et des combustibles nucléaires pour la fission comme l'uranium.

1.1.2.1. Avantages de l'énergie fossile

Déjà vers la fin du XVII^e siècle, l'énergie fossile (charbon) fut découverte en Angleterre mais les premières traces de forages de pétroles furent découvertes aux USA vers la fin du XIX^e siècle (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Cela fait environ quatre siècles que l'homme s'est approprié de cette ressource et l'a améliorée pour qu'elle réponde à ses exigences (MULTON, 1998). Ces avantages sont entre autres la maîtrise de la technologie et l'existence d'un système énergétique (TANURO, 2010). Selon WESTRA et KUYVENHOVEN (2002), cela explique la consommation importante de l'énergie fossile au niveau mondial (plus de 80% de l'énergie consommée est d'origine fossile).

1.1.2.2. Inconvénients de l'énergie fossile

Comme nous avons évoqué précédemment, l'énergie fossile présente des avantages et cela a contribué à la croissance démographique de manière vertigineuse. En effet, la population mondiale actuelle est six fois supérieure à celle d'avant l'ère industrielle et cela en moins de trois siècles. Cependant, cette énergie fossile a des impacts graves et irréversibles. Il s'agit entre autre de la pollution de l'environnement (MULTON, 1998 ; BOBIN *et al.*, 2007). De plus, ces ressources ne sont pas renouvelables, et leurs stocks s'épuisent et pourraient disparaître (DEVIN, 2006). On sait pourtant à quel point nous avons besoin d'énergie pour assurer notre existence (ROUSSEAU, 2010).

Le tableau II présente les quantités mondiales des différents types d'énergie fossile en réserves et le temps restant pour leur exploitation.

Tableau II : Réserves d'énergies primaires fossiles en Gtep (bases 2004)

	Réserves mondiales Prouvées (Gtep)	Consommation Annuelle (Gtep)	Durée (au rythme actuel de la consommation) (années)
Pétrole	≈140	3,9	≈40
Gaz naturel	≈160	2,4	≈60
Charbon	≈600	2,8	≈200

Gtep = Giga tonne équivalent pétrole

Source : MÉMENTO DE L'HYDROGÈNE, 2007.

1.1.2.3. Activités génératrices de gaz à effet de serre

Le transport, l'électricité (environ 30% de l'énergie fossile consommée sert à la production de l'électricité mondiale), l'agriculture sont de grands consommateurs d'énergie fossile (MULTON, 1998). Et l'agriculture qui avait pour mission de créer de l'énergie est devenue une très grande consommatrice d'énergie (DÉRY, 2007) et responsable de 20% de la pollution (AUBIN *et al.*, 2009).

Le changement de l'objectif principal de l'agriculture qui était de produire de l'énergie a commencé à apparaître au début du XXe siècle avec une dépendance des énergies fossiles pour la synthèse de l'azote atmosphérique comme source d'engrais, et, plus tard, l'apparition des produits phytosanitaires, des minéraux de synthèse, et aussi la motorisation, dans la seconde moitié de ce siècle. Avec ces découvertes, les systèmes de culture, dans les pays industrialisés, deviennent de plus en plus consommateurs d'énergie non renouvelable (DÉRY, 2007). Cette agriculture intensive gaspillant de manière inconsciente les ressources énergétiques de plus en plus rares et utilisant de plus en plus d'intrants et de produits chimiques de synthèse, de façon de moins en moins efficace prédomine de nos jours, et cela, a des conséquences sociales et écologiques graves (PAPY, 2008).

En effet, l'agriculture a été beaucoup modernisée avec l'ère industrielle, avec une utilisation excessive d'énergie fossile dans le domaine agricole. Cette énergie non renouvelable engendre l'émission des gaz à effet de serre tel que le CO₂ (DÉRY, 2007).

La dégradation environnementale n'ayant pas pu convaincre l'opinion à un abandon de l'utilisation d'énergies fossiles, leur épuisement programmé et annoncé pour les prochaines décennies amène à repenser de nouvelles sources d'énergie. Ces nouvelles énergies à développer dans l'avenir devant tenir compte de toutes les défaillances des énergies fossiles, il serait doublement intéressant de penser à la valorisation de l'énergie renouvelable qui au delà de son caractère inépuisable, est moins polluant pour l'environnement.

1.1.3. Ressources énergétiques renouvelables

Une énergie renouvelable est une énergie exploitable par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas (PEETERS, 2010). En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée.

Les principales énergies renouvelables sont : le solaire, l'hydroélectrique, l'éolienne, la biomasse, le géothermique et l'énergie marine (PEETERS, 2010). Ces énergies renouvelables sont classées en trois grandes familles : *l'énergie d'origine mécanique* (la houle, éolien), *énergie électrique* (panneaux photovoltaïques) et *l'énergie sous forme de chaleur* (géothermie, solaire, thermique) (MIRECKI, 2005).

Bien que le charbon, le pétrole et le gaz naturel fournissent plus de 80 % des services énergétiques mondiaux, on assiste actuellement à un développement croissant de l'énergie solaire, éolienne et celle de la biomasse au niveau de plusieurs pays (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Celles-ci pourraient représenter jusqu'à 30% des besoins énergétiques mondiaux d'ici 2030. Les carburants verts, l'énergie éolienne, solaire, et le géothermique sont les énergies actuellement en plein essor.

De plus en plus, des études sont réalisées pour dompter l'énergie inépuisable qui s'offre à l'humanité toute entière. Dans le domaine agricole, les premières actions qui ont été envisagées étaient de faire le bilan d'énergie des exploitations afin de situer leur part de responsabilité dans cette pollution environnementale et de développer des stratégies pour faire face aux changements climatiques. Parmi ces stratégies, nous avons le développement d'un nombre important de méthodes tels que PLANÈTE, DIAGE, IDEA (VIGNE, 2007 ; BOCKSTALLER et al., 2009) pour le diagnostic environnemental des exploitations agricoles. Nous avons aussi le recyclage des produits de la ferme, l'économie d'énergie par la diminution de gaspillage des intrants agricoles, l'agriculture de conservation, l'intensification écologique, l'intégration de l'agriculture-élevage.

1.2. Caractéristiques des exploitations agricoles

1.2.1. Définition de l'exploitation agricole

Le MCD (1991) définit l'exploitation agricole comme « une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Le système de production est la combinaison des productions et des facteurs de production (terres, travail, capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole ».

Cette définition ne passe pas partout car elle diffère selon les régions. En Afrique par exemple, elle est rarement applicable en milieu traditionnel parce que la cellule de base de production est soit l'agriculteur lui-même, soit sa famille restreinte ou élargie et la notion de profit n'est pas toujours évidente. En plus, au sein de l'exploitation, les ressources économiques sont non seulement diversifiées mais aussi, on peut les isoler de l'agriculture

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Afrique subsaharienne est confrontée au problème de dégradation de ses ressources naturelles qui jadis assuraient pleinement les fonctions de production de biens et de services. Ce problème, amplifié par l'effet des changements climatiques, préoccupe autant les agriculteurs que les éleveurs tirant intégralement leurs biens de cet environnement en perpétuelle évolution. Ainsi, les systèmes de productions agricoles menacés de disparition sont modifiés afin de s'adapter aux nouvelles conditions qui s'imposent (ZOUNDI *et al.*, 2003). De plus, la conduite séparée des activités agricoles et pastorales par les producteurs à cause du manque d'espace disponible, est aujourd'hui coincée entre la croissance démographique et l'extension des superficies cultivables. Cette situation étant permise par l'introduction de la culture attelée. L'augmentation des besoins en terre et l'abandon des jachères qui empiètent sur l'espace réservé à l'élevage est la principale source de conflit entre les agriculteurs et les éleveurs (BREMEN et TRAORE, 1987 ; BLANCHARD, 2005, VALL, 2006). L'utilisation anarchique des ressources naturelles par les acteurs du développement rural a des conséquences néfastes sur les systèmes de production (D'AQUINO *et al.*, 1995), comme par exemple, la baisse des rendements agricoles due à la baisse de la fertilité des sols. D'autre part, l'élevage connaît aussi de nombreux problèmes, en particulier en saison sèche : manque d'eau pour l'abreuvement des animaux, manque de fourrage pour leur alimentation.

Pour minimiser ces tensions entre agriculteurs et éleveurs, plusieurs stratégies sont développées par les producteurs : l'intensification de l'agriculture et l'élevage et l'adoption de l'intégration agriculture-élevage au sein de l'unité de production (VALL, 2006).

Autrefois pratiquée pour accroître la productivité du travail (LANDAIS et LHOSTE, 1990), l'intégration agriculture-élevage est à l'étape actuelle, présentée comme un espoir pour les producteurs à des fins d'amélioration de la fertilité de leurs sols pour pallier aux mauvais rendements (DUGUÉ *et al.*, 2012). L'accroissement des productions est également permis par l'intensification agricole. Le facteur "terre", étant devenu limitant pour les agriculteurs et les éleveurs, l'intensification agricole leur permet d'investir dans un ou plusieurs facteurs pour hausser la production. L'intensification par les intrants et les équipements est la forme la plus visible au sein des exploitations agricoles. Ces intrants agricoles de coût exorbitant pour leur acquisition, sont consommateurs d'énergie fossile, ce qui est une menace pour l'environnement. Déjà, dans un contexte de vulnérabilité écologique face aux changements climatiques, il devient nécessaire de trouver des stratégies de production au sein des exploitations agricoles afin de produire en quantités suffisantes pour une population

grandissante tout en protégeant les ressources naturelles. L'intégration agriculture-élevage permet de ce fait le recyclage des éléments minéraux, la séquestration du carbone dans le sol et son utilisation par les plantes. Les études de BLANCHARD et *al.* (2010) montrent qu'une partie du carbone et de l'azote de la biomasse végétale et animale est transformée en fumure organique et transportée sur les champs des producteurs. L'intégration agriculture-élevage, lorsqu'elle est bien conduite, pourrait être une des panacées aux problèmes de pollution de l'environnement rencontrés durant ces dernières années dans nos zones agricoles.

Justification de l'étude

L'agriculture conventionnelle des pays développés absorbe une grande partie de l'énergie non renouvelable par consommation massive d'énergie fossile (mécanisation, pesticide, herbicides, engrais) (BOCHU, 2002 ; THÉWIS et *al.*, 2005 ; BONNY, 2010) ; l'énergie fossile est pourtant source de pollution de l'environnement (GIEC, 2007).

Dans les zones rurales par contre, le faible revenu de la plupart des producteurs ne leur permet pas d'utiliser en grande quantité ces énergies non renouvelables alors qu'ils sont confrontés à une multitude de problèmes (baisse de la fertilité des sols, aléas climatiques) (VALL et *al.*, 2012 ; DIAGANA et *al.*, 1996). Cette baisse de la fertilité des sols, associée à la précarité des conditions climatiques contraignent les paysans à développer des stratégies pour y faire face (VALL et *al.*, 2012). Ces derniers mettent par conséquent l'accent sur l'intégration agriculture-élevage sous toutes ses formes (traction animale, fumure organique, résidus de cultures et cultures fourragères). En effet, pendant son introduction en Afrique subsaharienne, seul l'aspect « augmentation de la productivité du travail » était prise en compte par les producteurs pour accroître les superficies cultivées. Cette technique au triple avantage permet aussi une diversification des activités et des ressources des producteurs et une contribution à l'intensification écologique. De plus, l'exploitation peut être considérée sous l'angle de sa performance énergétique.

Toutefois, en Afrique et particulièrement en Afrique de l'Ouest, très peu d'études se sont intéressées à cette dernière composante.

La présente étude aborde de ce fait l'importance de l'intégration agriculture-élevage sur l'exploitation agricole à travers le thème : « Effet de la pratique de l'intégration agriculture-élevage sur le bilan énergétique des systèmes agropastoraux ».

Objectifs

L'objectif global de cette étude est de contribuer à la promotion de systèmes de productions plus efficaces.

Spécifiquement, il s'agit :

- d'analyser la diversité énergétique des exploitations agricoles rurales et périurbaines ;
- d'analyser la performance énergétique de ces exploitations et d'identifier les plus performantes ;
- de construire des indicateurs pour apprécier le degré de l'intégration entre l'agriculture et l'élevage au sein des exploitations.

Hypothèses de travail

Notre démarche a été structurée autour des hypothèses suivantes :

- L'efficacité énergétique est différente selon les classes d'exploitation et les plus traditionnelles sont les plus efficaces (minimisation des entrées d'énergie fossile) ;
- L'intégration de l'agriculture-élevage améliore l'efficacité énergétique des exploitations (réduction des entrées et maintien des sorties).

CHAPITRE I. SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 Aperçu sur l'énergie

Avant la révolution industrielle, l'énergie renouvelable (solaire) via l'agriculture et la forêt était la principale source d'énergie utilisée partout dans le monde (BOBIN *et al.*, 2007). Les produits agricoles fournissaient l'énergie nécessaire aux hommes, aux travaux agricoles et au transport (transport à pied de l'homme, à chevaux et bœufs). Le bois de la forêt fournissait quant à lui l'énergie pour chauffer les habitations et autres bâtiments, et permettait la fonte des métaux avec tous les outils associés.

Au début de l'ère industrielle, la population mondiale tournait autour du milliard d'habitants (PISON, 2011) et les activités humaines étaient encore traditionnelles car la main d'œuvre (humaine et animale) constituait la principale source d'énergie recherchée pour les travaux. Cette énergie ayant des limites temporelles ne permettait pas une production quantitative des biens et services. C'est la découverte des ressources énergétiques fossiles, d'abord le charbon et ensuite le pétrole et le gaz naturel, qui a permis le véritable essor de la société industrielle. À partir de ce moment, le monde est passé d'une société solaire utilisant les énergies dites de flux vers une société utilisant les ressources fossiles soit des énergies de stock (DERY, 2007). Cela a entraîné la formation d'un nouveau mode de production à travers la mise en place des industries qui assuraient une production conséquente des biens. Le développement de l'agriculture pour ravitailler les industries en matière première et celui du transport pour exporter les productions excédentaires vers d'autres pays suivaient le rythme de la révolution. Parallèlement, la population mondiale largement croissante, a atteint à l'heure actuelle sept (07) milliards d'habitants et selon les prévisions, cette population passera en 2050 à neuf virgule trois (9,3) milliards d'habitants (ONU, 2011). Sur le plan énergétique, la quantité d'énergie fossile, a subi plutôt des crises : choc pétrolier de 1973 et de 1979, et il est prévu, compte tenu de l'expansion démographique et économique notamment en Chine et en Inde, que la demande énergétique devrait augmenter de 60 % d'ici à 2030 (PNUE, 2011).

Au regard du développement spectaculaire observé depuis l'ère industrielle, LARDELLI (2009) et ROUSSEAU (2010) ont affirmé que l'énergie est le véritable moteur de l'économie d'un pays car depuis sa découverte, le monde n'a connu qu'un essor (développement) sans précédent. En effet, ce développement est largement perceptible car tous les secteurs d'activité du monde actuel passe par une consommation d'énergie quelle qu'en soit sa forme : les transports, l'industrie, l'habitat et/ou l'agriculture.

Mais moins de trois siècles après la découverte de l'énergie, le monde et l'humanité doit répondre à une double question cruciale : comment poursuivre le développement actuel face à un épuisement des ressources d'énergie non renouvelables et à une pollution environnementale ?

La question énergétique est ainsi une question centrale au cœur des préoccupations de l'humanité toute entière. Il faut alors trouver et mettre en œuvre des actions efficaces pour l'utilisation des ressources énergétiques.

1.1.1 Énergie : Définition, unités utilisées et leur équivalence

L'énergie est une grandeur qui se retrouve sous plusieurs formes. Ainsi, ses unités changent en fonction de la forme sous laquelle elle se trouve :

- l'énergie mécanique en Joule (J) ;
- l'énergie mécanique en Watt-heure (Wh) ;
- L'énergie calorifique en calorie (cal).

L'avantage prouvé est que ces unités sont liées entre elles par des formules permettant de convertir une source d'énergie donnée en une autre et vice versa. Dans le tableau I, sont consignées les équivalences entre les différentes sources d'énergie.

Tableau I : Quelques équivalences de mesure de l'énergie

1 Wh = 3600 J (1 TWh = 10^{12} Wh, 1 EJ = 10^{18} J)
1 t.e.p. = 11 600 kWh
1 baril (159 l ou 140 kg) = 1700 kWh
1 BTU = 252 cal = 1050 J
1 quad BTU: 10^{15} BTU = $290 \cdot 10^9$ kWh

Source : MULTON, 1998.

Wh = Watt-heure

KWH Kilo Watt-heure

BTU = British Thermal Unit

J = Joule

Cal = Calorie

TWh = Tera Watt heure

t.e.p = tonne équivalent pétrole

Quad=Quadrillion

EJ= Exajoule

1.1.2. Ressources énergétiques non renouvelables

Il s'agit des carburants fossiles : pétrole, charbon et gaz naturel pour les plus connus et des combustibles nucléaires pour la fission comme l'uranium.

1.1.2.1. Avantages de l'énergie fossile

Déjà vers la fin du XVIIIe siècle, l'énergie fossile (charbon) fut découverte en Angleterre mais les premières traces de forages de pétroles furent découvertes aux USA vers la fin du XIXe siècle (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Cela fait environ quatre siècles que l'homme s'est approprié de cette ressource et l'a améliorée pour qu'elle réponde à ses exigences (MULTON, 1998). Ces avantages sont entre autres la maîtrise de la technologie et l'existence d'un système énergétique (TANURO, 2010). Selon WESTRA et KUYVENHOVEN (2002), cela explique la consommation importante de l'énergie fossile au niveau mondial (plus de 80% de l'énergie consommée est d'origine fossile).

1.1.2.2. Inconvénients de l'énergie fossile

Comme nous avons évoqué précédemment, l'énergie fossile présente des avantages et cela a contribué à la croissance démographique de manière vertigineuse. En effet, la population mondiale actuelle est six fois supérieure à celle d'avant l'ère industrielle et cela en moins de trois siècles. Cependant, cette énergie fossile a des impacts graves et irréversibles. Il s'agit entre autre de la pollution de l'environnement (MULTON, 1998 ; BOBIN *et al.*, 2007). De plus, ces ressources ne sont pas renouvelables, et leurs stocks s'épuisent et pourraient disparaître (DEVIN, 2006). On sait pourtant à quel point nous avons besoin d'énergie pour assurer notre existence (ROUSSEAU, 2010).

Le tableau II présente les quantités mondiales des différents types d'énergie fossile en réserves et le temps restant pour leur exploitation.

Tableau II : Réserves d'énergies primaires fossiles en Gtep (bases 2004)

	Réserves mondiales Prouvées (Gtep)	Consommation Annuelle (Gtep)	Durée (au rythme actuel de la consommation) (années)
Pétrole	≈140	3,9	≈40
Gaz naturel	≈160	2,4	≈60
Charbon	≈600	2,8	≈200

Gtep = Giga tonne équivalent pétrole

Source : MÉMENTO DE L'HYDROGÈNE, 2007.

1.1.2.3. Activités génératrices de gaz à effet de serre

Le transport, l'électricité (environ 30% de l'énergie fossile consommée sert à la production de l'électricité mondiale), l'agriculture sont de grands consommateurs d'énergie fossile (MULTON, 1998). Et l'agriculture qui avait pour mission de créer de l'énergie est devenue une très grande consommatrice d'énergie (DÉRY, 2007) et responsable de 20% de la pollution (AUBIN *et al.*, 2009).

Le changement de l'objectif principal de l'agriculture qui était de produire de l'énergie a commencé à apparaître au début du XXe siècle avec une dépendance des énergies fossiles pour la synthèse de l'azote atmosphérique comme source d'engrais, et, plus tard, l'apparition des produits phytosanitaires, des minéraux de synthèse, et aussi la motorisation, dans la seconde moitié de ce siècle. Avec ces découvertes, les systèmes de culture, dans les pays industrialisés, deviennent de plus en plus consommateurs d'énergie non renouvelable (DÉRY, 2007). Cette agriculture intensive gaspillant de manière inconsciente les ressources énergétiques de plus en plus rares et utilisant de plus en plus d'intrants et de produits chimiques de synthèse, de façon de moins en moins efficace prédomine de nos jours, et cela, a des conséquences sociales et écologiques graves (PAPY, 2008).

En effet, l'agriculture a été beaucoup modernisée avec l'ère industrielle, avec une utilisation excessive d'énergie fossile dans le domaine agricole. Cette énergie non renouvelable engendre l'émission des gaz à effet de serre tel que le CO₂ (DÉRY, 2007).

La dégradation environnementale n'ayant pas pu convaincre l'opinion à un abandon de l'utilisation d'énergies fossiles, leur épuisement programmé et annoncé pour les prochaines décennies amène à repenser de nouvelles sources d'énergie. Ces nouvelles énergies à développer dans l'avenir devant tenir compte de toutes les défaillances des énergies fossiles, il serait doublement intéressant de penser à la valorisation de l'énergie renouvelable qui au delà de son caractère inépuisable, est moins polluant pour l'environnement.

1.1.3. Ressources énergétiques renouvelables

Une énergie renouvelable est une énergie exploitable par l'Homme, de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas (PEETERS, 2010). En d'autres termes, sa vitesse de formation doit être plus grande que sa vitesse d'utilisation. Le caractère renouvelable d'une énergie dépend de la vitesse à laquelle la source se régénère, mais aussi de la vitesse à laquelle elle est consommée.

Les principales énergies renouvelables sont : le solaire, l'hydroélectrique, l'éolienne, la biomasse, le géothermique et l'énergie marine (PEETERS, 2010). Ces énergies renouvelables sont classées en trois grandes familles : *l'énergie d'origine mécanique* (la houle, éolien), *énergie électrique* (panneaux photovoltaïques) et *l'énergie sous forme de chaleur* (géothermie, solaire, thermique) (MIRECKI, 2005).

Bien que le charbon, le pétrole et le gaz naturel fournissent plus de 80 % des services énergétiques mondiaux, on assiste actuellement à un développement croissant de l'énergie solaire, éolienne et celle de la biomasse au niveau de plusieurs pays (WESTRA et KUYVENHOVEN, 2002). Celles-ci pourraient représenter jusqu'à 30% des besoins énergétiques mondiaux d'ici 2030. Les carburants verts, l'énergie éolienne, solaire, et le géothermique sont les énergies actuellement en plein essor.

De plus en plus, des études sont réalisées pour dompter l'énergie inépuisable qui s'offre à l'humanité toute entière. Dans le domaine agricole, les premières actions qui ont été envisagées étaient de faire le bilan d'énergie des exploitations afin de situer leur part de responsabilité dans cette pollution environnementale et de développer des stratégies pour faire face aux changements climatiques. Parmi ces stratégies, nous avons le développement d'un nombre important de méthodes tels que PLANÈTE, DIAGE, IDEA (VIGNE, 2007 ; BOCKSTALLER *et al.*, 2009) pour le diagnostic environnemental des exploitations agricoles. Nous avons aussi le recyclage des produits de la ferme, l'économie d'énergie par la diminution de gaspillage des intrants agricoles, l'agriculture de conservation, l'intensification écologique, l'intégration de l'agriculture-élevage.

1.2. Caractéristiques des exploitations agricoles

1.2.1. Définition de l'exploitation agricole

Le MCD (1991) définit l'exploitation agricole comme « une unité économique dans laquelle l'agriculteur pratique un système de production en vue d'augmenter son profit. Le système de production est la combinaison des productions et des facteurs de production (terres, travail, capital d'exploitation) dans l'exploitation agricole ».

Cette définition ne passe pas partout car elle diffère selon les régions. En Afrique par exemple, elle est rarement applicable en milieu traditionnel parce que la cellule de base de production est soit l'agriculteur lui-même, soit sa famille restreinte ou élargie et la notion de profit n'est pas toujours évidente. En plus, au sein de l'exploitation, les ressources économiques sont non seulement diversifiées mais aussi, on peut les isoler de l'agriculture

(ZOUNDI et al., 2003). On emploie alors le terme d'Unité de Production familiale (MCD, 1991). Ainsi selon DUFUMIER et BERGERET (2002), on distingue *l'exploitation familiale* et *l'exploitation capitaliste* et entre ces deux extrêmes, se trouvent des *exploitations mixtes* assimilables soit à l'une, soit à l'autre. Le tableau III donne les points de différence entre une exploitation traditionnelle et une exploitation moderne.

Tableau III : Comparaison entre exploitation familiale et agriculture commerciale (capitaliste)

Caractéristiques	Exploitations familiales	Agricultures commerciales
Rôle de la main-d'œuvre du ménage	Important	Faible ou nul
Liens communautaires	Forts : fonder sur la solidarité et l'entraide entre ménage et groupe plus large	Faibles : souvent, aucune connexion sociale entre entrepreneur et communauté locale
Objectifs prioritaires	Consommer Stocker vendre	Vendre Acheter consommer
Diversification	Forte pour réduire l'exposition au risque	Faibles : spécialisation des cultures et activités très limitées.
Flexibilité	Forte	Faible
Taille de l'exploitation	Réduite : 5 à 10 hectares en Moyenne	Grande : peut excéder 100 hectares
Liens avec le marché	Faibles : mais grandissants	Forts
Accès aux terres	Par héritage et arrangements sociaux	Assez souvent par achat

Source : TOULMIN et GUEYE, 2003

1.2.1.1. Caractéristiques des exploitations modernes

Les propriétaires des moyens de production ne travaillent pas directement et n'apportent que le capital. Dans ces exploitations, l'agriculture est modernisée et tous les travaux sont mécanisés. C'est ainsi que pour seulement la récolte et la distribution des fourrages, une large gamme de matériel est proposée aux exploitations agricoles des pays développés. Il s'agit entre autres des faucheuses, des faneuses, des andaineurs, des ensileuses motrices, des remorques auto-chargeuses, des presses à balles cylindriques et parallélépipédiques, des enrubanneuses, des désileuses, des distributrices, des mélangeuses distributrices (THÉWIS et al., 2005). Il faut signaler par conséquent que tout ce matériel est à consommation d'énergie fossile. Au cours des quarante dernières années, les progrès conjugués de la chimie (fertilisants, herbicides, fongicides, insecticides), de la génétique végétale (variétés à haut rendements, résistances aux maladies), et la physiologie végétale (processus de croissance) ont permis un accroissement très importants des rendements céréaliers et cultures fourragères, tandis que la mécanisation a augmenté la productivité du travail.

1.2.1.2. Caractéristiques des exploitations traditionnelles

Au sein d'une exploitation familiale, l'élément moteur qui la définit est la main d'œuvre familiale et cette main d'œuvre familiale constitue un facteur non limitant (TOULMIN et GUEYE, 2003). De plus, seule l'autoconsommation guide primordialement son objectif de production qui n'est pas à priori économique. L'exploitation agricole est de petite taille et acquise pour la plupart du temps par héritage. La majorité des productions est de première nécessité et vise à satisfaire l'autoconsommation (DUFUMIER et BERGERET, 2002 ; DUFUMIER, 2006). Il s'avère nécessaire de tenir compte de cette part autoconsommée dans les actions de développement puisqu'elle est très importante dans l'économie familiale (THÉWIS et *al.*, 2005). L'équipement utilisé pour la production est manuel, à la rigueur à mécanisation animale et les conditions économiques ne sont pas toujours favorables à l'acquisition de ce matériel (LHOSTE, 2004 ; LHOSTE et *al.*, 2010 ; DUGUÉ et *al.*, 2012). Le matériel observé pour la plupart du temps sur l'exploitation est composé du matériel d'attelage, d'harnachement, pour le transport et pour le travail du sol (THÉWIS et *al.*, 2005 ; LHOSTE et *al.*, 2010).

- Pour le matériel d'attelage et d'harnachement, on a le collier, la bricole, les jougs et plus le dressage de l'animal.
- Pour les équipements de transport, on observe la monte, le portage, le traineau, la charrette, le tombereau et le char à quatre roues.
- Et enfin, pour le travail du sol, on a la charrue, le multicultureur, la houe et les herses.

On constate une diversification des activités agricoles impliquant les productions végétales et animales, la pêche, la chasse, la cueillette, le commerce et l'artisanat, de même que la migration saisonnière ou à long terme (ZOUNDI et *al.*, 2003).

En zone tropicale, l'énergie pour la production animale est fournie à 20% par les animaux, 70% par les humains et 10% sous forme mécanique (THÉWIS et *al.*, 2005) pour confirmer le caractère traditionnelle de ce type d'agriculture.

En somme, les exploitations agricoles traditionnelles se caractérisent par des systèmes extensifs accompagnés par des moyens de production archaïques. C'est une agriculture de subsistance, peu mécanisée et avec une faible utilisation d'intrants chimiques (BAKO, 2011).

1.2.2. Exploitation agricole et l'intégration agriculture-élevage

L'intégration agriculture-élevage a plusieurs vertus passant par les facilités offertes aux producteurs pour augmenter leur rendement agricole jusqu'à la protection de l'environnement à travers le recyclage des nutriments. En effet, elle favorise l'amélioration de la fertilité des

sols, l'amélioration de l'offre fourragère pour le bétail, la diminution de la pénibilité des travaux agricoles, le gain de temps pour effectuer d'autres travaux, la diversification des activités pour minimiser les risques, l'amélioration de la sécurité alimentaire.

Selon LHOSTE (1987) et DUGUÉ et *al.* (2004), le moteur de l'intégration agriculture-élevage est la traction animale. Cependant, cette association repose sur trois piliers biotechniques que sont :

- l'énergie développée par les animaux de trait et de bât en faveur des cultures, par la culture attelée (divers travaux cultureux : labours, semis, sarclages, buttages, etc.) et par le transport des biens (intrants agricoles, fumier, fourrages, récoltes, etc.) ;
- des aliments destinés aux animaux et provenant en partie du système de culture (fourrages, résidus de récolte, jachères, etc.) ;
- des éléments fertilisants produits par les animaux (déjections, fumier) et permettant de fertiliser les champs (LHOSTE, 2004 ; PICARD, 1999 ; DUFUMIER, 1985).

A ces trois éléments synergiques s'ajoutent des relations complémentaires telles que des flux économiques, les revenus des ventes des cultures permettant par exemple d'acquérir des animaux ou la vente d'animaux finançant le matériel agricole (LHOSTE, 2004).

Cependant, ce concept d'intégration agriculture-élevage est en perpétuelle évolution suivant le contexte économique, climatique et social.

1.2.3. Diversification, diminution des risques économiques

L'association de l'agriculture et de l'élevage permet de diversifier les activités et de réduire les risques (VALL et *al.*, 2012). Selon REARDON (1994), la diversification est une stratégie des ménages en matière de revenus dans certaines zones sahélo-soudaniennes où l'agriculture est risquée à cause des aléas climatiques. Ainsi, dans les exploitations les plus aisées, les surplus monétaires issus principalement de la vente de culture sont investis dans l'élevage (DUGUÉ et *al.*, 2004). Par ailleurs, la diversification de l'élevage préserve les producteurs des risques liés au rendement et au prix. C'est donc une stratégie de gestion de risques incorporée par les producteurs dans la planification de leurs activités agricoles (NIANOGO et SOMDA, 1999). D'AQUINO et *al.* (1995) remarquent que l'animal est devenu aujourd'hui une complémentarité économique indispensable pour la sécurité des systèmes agricoles. Les ménages avec un petit cheptel sont plus pauvres (REARDON, 1994). La traction animale remplit différentes fonctions économiques (épargne sur pieds, sources de revenus, etc.), sociales (« prestige du laboureur »), et intervient dans la conduite des cultures selon les spécificités des systèmes de production (HAVARD et *al.*, 2009). Les exploitations agricoles

familiales marchandes de taille moyenne jouent aussi un rôle très important dans la création de valeur ajoutée et le maintien d'emplois en zones rurales (DUFUMIER, 2006). Les associations de cultures observées en Afrique sub-saharienne (mil + niébé + sorgho) permettent de faire face aux aléas climatiques (DUFUMIER, 1985). Cette diversification des activités agricoles opérée au sein des exploitations familiales assure aussi des fonctions de protection de l'environnement et de préservation des potentialités productives des écosystèmes (REARDON, 1994).

1.2.4. Optimisation et réduction de la pénibilité du travail.

L'intérêt principal du recours à l'animal est sans doute l'augmentation de la productivité et la diminution de la pénibilité du travail humain (LHOSTE, 2004 ; D'AQUINO et *al.*, 1995). L'attelage permet aussi d'augmenter la surface cultivée par exploitation (VALL et *al.*, 2002 ; LHOSTE, 2004 ; DEMBA, 1994).

LHOSTE (2004) résume les avantages de l'adoption de la traction animale par quatre éléments essentiels : l'efficacité (comparaison de la qualité entre labour à traction animale et le labour à la main), la rapidité, la réduction de la pénibilité et enfin la libération de temps pour d'autres activités.

Surtout utilisée pour le labour à la charrue, secondairement pour les opérations d'entretien et le transport, la traction animale permet de maîtriser les adventices, agit sur la gestion de l'eau à la parcelle, et contribue à l'entretien de la fertilité par la fumure (VALL et *al.*, 2002 ; LHOSTE, 2004 ; DEMBA, 1994). Certains auteurs affirment que la diminution de la pénibilité du travail en elle seule est un argument valable pour justifier l'adoption des animaux de trait sur l'exploitation agricole (LHOSTE et *al.*, 2010). En termes d'utilisation de l'énergie animale, c'est bien la culture attelée et le transport qui gardent un poids économique majeur dans les activités agricoles (LHOSTE, 2004 ; FAO, 1996).

1.2.5. Valorisation des ressources du terroir.

En Afrique subsaharienne, les systèmes d'élevage sont en majorité extensifs (transhumance, nomadisme et parfois sédentarisme). Ils sont de grands consommateurs d'espace (BONNET, 1990). L'alimentation des animaux en majorité faite de fourrages (éléments grossiers), le pâturage naturel est alors un atout. Les animaux tirent le maximum de leur alimentation de cet espace ouvert. Il y a aussi les résidus de récolte issus des champs qui sont ingérés par les animaux soit immédiatement sur le champ, soit sur l'exploitation après ramassage et stockage de ces derniers par les producteurs qui les distribuent à une période critique de l'année.

Pendant l'hivernage, les jachères et les réserves naturelles du village sont mobilisées pour l'alimentation des animaux (DJENONTIN *et al.*, 2004 ; FAURE, 2005). La traction animale est à la base de la bonne gestion des ressources naturelles par le recyclage des éléments nutritifs (FAO, 1996).

1.2.6. Fertilité des sols

Quant à la fumure organique, son utilisation sous forme de fumier, de poudrette de parc, de compost est une pratique traditionnelle dans les pays sahéliens. Jadis utilisé sur les champs dits de case en culture continue, son utilisation se généralise sur les champs « principaux ». Le MCD (1991) souligne que l'intérêt agronomique d'un apport de matière organique permet d'améliorer la structure du sol, la capacité de rétention de l'eau et la fertilité des sols. L'intérêt agronomique du fumier est aussi décrit par PIERI (1989) en milieu paysan. Les études de BLANCHARD (2011) en rapport avec la gestion de la fertilité des sols et le rôle du troupeau révèlent que la fumure organique issue des déjections animales (terre de parc de bovin, fumier de parc amélioré, terre de parc de petits ruminants) est riche en azote total (1,44 % de la MS pour la terre de parc des bovins, 1,45 % de la MS pour les fumiers et 0,80 % de la MS pour la terre de parc des petits ruminants).

Néanmoins, cette utilisation semble encouragée sur l'exploitation agricole par la possession des charrettes (DEMBA, 1994). Cet auteur souligne aussi que la faiblesse de l'adoption de l'utilisation de la fumure organique est liée aux contraintes de sa production (transport des résidus sur l'exploitation et en retour transport du fumier sur les champs) bien qu'elle permet d'améliorer les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols des champs de cultures. En réalité, elle nécessite beaucoup de temps de travail et la réduction de ce travail pourrait améliorer son taux d'adoption dans les exploitations.

1.2.7. Exploitation agricole et la dégradation des ressources naturelles

Les ressources naturelles subissent une pression due aux productions agricoles et animales mais aussi due à la pression démographique. Dans la zone sud des pays sahéliens, on assiste de nos jours à un développement de l'élevage chez les agriculteurs et la sédentarisation des peulhs dans des zones potentiellement agricoles entraînant ainsi une forte pression sur les ressources naturelles (BREMAN et TRAORE., 1987). Cette dégradation pose un problème de durabilité des systèmes (DEMBA, 1994). La pression de l'élevage au sahel et des cultures en savanes est un problème crucial car elle conduit au surpâturage des zones de pâture et à une extensification agricole (BREMAN *et al.*, 1986). Les surcharges en cheptel jouent un rôle

majeur dans la dégradation entraînant des déséquilibres entre le cheptel et la capacité de renouvellement du pâturage (D'AQUINO *et al.*, 1995). Il est à noter que les surconcentrations de bétail au niveau des pâturages et leurs conséquences sur l'environnement sont dues à une mauvaise gestion des ressources.

De plus en plus, on observe une diminution de la fertilité des sols, ce qui a pour conséquence, la baisse de la productivité des cultures et des pâturages. En passant de la traction animale à l'intensification de l'exploitation, plusieurs pratiques nuisent à la nature donc à l'environnement. L'équipement utilisé pour la traction animale cause souvent des problèmes liés au décapage de la couche fine du sol, à la compaction du sol. L'intensification est aussi un facteur de dégradation par l'utilisation accrue des intrants agricoles polluant les cours d'eau à proximité. Pour cela, il faut une gestion rationnelle des ressources naturelles renouvelables afin d'assurer leur durabilité (DUGUÉ *et al.*, 2002 ; FAURE, 2005).

1.2.8. Intensification agricole

Avec la pression démographique actuelle sur les ressources naturelles dans les pays au sud du Sahara et l'infertilité des sols (la baisse du taux de matière organique et de minéraux dans le sol) causant la baisse des rendements agricoles, de nouveaux systèmes émergent pour stabiliser les rendements, voire les améliorer. Il s'agit de l'intensification agricole qui fut malheureusement source de dégradation des ressources naturelles quelques temps après sa mise en œuvre (D'AQUINO *et al.*, 1995). En effet, l'intensification des systèmes culturaux se traduit par une surexploitation des terres qui à la longue aboutit à la perte de la fertilité des sols car il n'y aura plus d'alternance avec les jachères par manque d'espace. Cela justifie l'emploi d'engrais minéraux pour réguler les rendements des cultures. La pratique de l'intensification conduit à une utilisation accrue d'intrants tels que : les pesticides, les engrais, les concentrés, les produits vétérinaires (BÉNAGABOU, 2011). L'intensification conduit très souvent à la monoculture alors que chaque famille de plantes a des exigences spécifiques en matières organiques et en éléments minéraux qu'elle tire du sol. L'absence de rotation des cultures peut alors entraîner un épuisement d'une composante minérale ou tout simplement une acidification des sols.

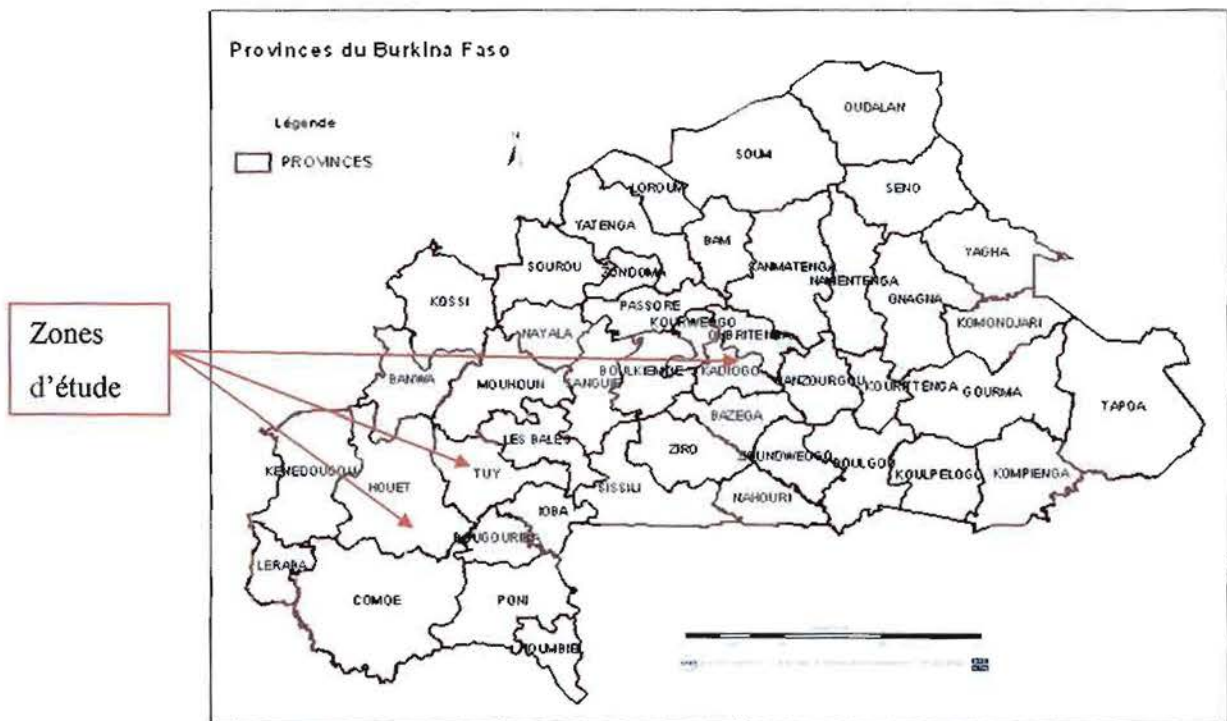
Face à cette dégradation accrue des ressources naturelles, des mesures idoines doivent être prises pour son éventuelle restauration.

CHAPITRE II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1. Matériel

2.1.1. Sites de l'étude

L'étude a été menée dans trois (03) provinces du Burkina Faso à savoir les provinces du Kadiogo, du Houet et du Tuy avec respectivement Ouagadougou, Bobo-Dioulasso et Houndé comme principales villes (Figure 1). Dans les villes de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou, ce sont les exploitations périurbaines qui ont été étudiées tandis que dans le Tuy, ce sont les exploitations rurales de la commune rurale de Koumbia qui ont été étudiées.



http://www.google.bf/#hl=fr&tbo=d&q=carte+du+burkina+faso+avec+les+provinces&revid=1678593596&sa=X&psj=1&ei=ltf_ULuLFMrLswaRj4CIBA&ved=0CHwQ1QIoAA&bav=on.2.or.r_gc.r_pw.r_qf.&fp=ef92de1475df1470&biw=1093&bih=498

Figure 1 : Carte du Burkina Faso et localisation des sites de l'étude

2.1.1.1. Présentation de la province du Kadiogo

2.1.1.1.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines

La ville de Ouagadougou est située au cœur de la province du Kadiogo, elle-même située au centre du Burkina Faso. Elle couvre une superficie de 518 km², soit 0,2 % du territoire

national (BAYALA/ARISTE, 2009). Ses coordonnées géographiques sont 12°21' Nord, 1°31' Ouest.

La ville de Ouagadougou est limitée au nord par les communes rurales de Pabré et de Loumbila, à l'est par celle de Saaba, au sud par celles de Koubri et de Komsilga et enfin à l'ouest par la commune rurale de Tanghin-Dassouri (PSRDO - CER, 2010).

Selon la classification de GUINKO (1985), le climat de la région du centre qui a pour chef lieu Ouagadougou, est du domaine soudanien et relève du secteur septentrional. Cette ville connaît deux saisons : une saison des pluies qui s'étale de mai à septembre et une saison sèche qui dure d'octobre à avril.

La pluviosité moyenne de 740 mm d'eau connaît une grande variabilité d'une année à une autre. La température moyenne est de 24,2°C avec de fortes amplitudes thermiques diurnes moyennes pouvant dépasser 13°C et une humidité relative moyenne de l'air de 49%.

Sa végétation de savane arborée est composée d'espèces végétales arborescentes telles que *Faidlerbia albida* (Del.) A. Chev., *Tamarindus indica* Linn., *Lannea microcarpa* Engl. et K. Krause., *Adansonia digitata* Linn., *Sclerocaria birrea* (A. Rich.) Hochst., *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth., *Vitellaria paradoxa* C. F. Gaertn., etc. Les essences arbustives se composent de *Combretum glutinosum* Perr., *Combretum micranthum* G. Don., *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst., *Guiera senegalensis* J.F. Gmel., *Ziziphus mauritiana* Lam., etc. La végétation herbacée du secteur soudanien septentrional est composée essentiellement d'*Andropogon gayanus* Kunth., *Andropogon pseudapricus* Stapf., *Loudetia togoensis* (Pilg.) C.E.Hubb., *Penicetum pedicelatum* Trin., etc (PAGOT, 1985).

Le réseau hydrographique est constitué essentiellement des affluents du Nazinon, des affluents du Nakambé et des retenues d'ouvrages hydrauliques (4 barrages intra urbains).

Le relief de la zone est caractérisé par sa monotonie. Il est marqué par un plateau qui se situe à 296 mètres d'altitude par rapport au niveau zéro de la mer.

Quant aux sols, les plus fréquemment rencontrés sont des sols bruns eutrophes tropicaux sur matériaux argileux à l'est, des sols ferrugineux tropicaux dans la province du Kadiogo, des sols peu évolués, des sols hydromorphes et les vertisols dans la région du centre (ZIDA/BANGRE, 2009).

Sa population est essentiellement composée de Mossi, Dioula, Fulfuldé, Bissa et Gurunsi.

Au dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitation (BAYALA/ARISTE, 2009), Ouagadougou héberge 1 499 023 habitants soit 10,7% de la population totale occupant 0,2% du territoire nationale. Avec une densité nationale de 60 habitants au Km²,

Ouagadougou concentre un chiffre de 2 894 habitants au Km² preuve d'une forte urbanisation.

2.1.1.1.2. Activités économiques

La part de contribution des différents secteurs au PIB national est de 38,2 , 18,9 et de 49,0 pour respectivement le secteur primaire, secondaire et tertiaire (YAMÉOGO, 2005).

De même, le secteur tertiaire est l'activité économique prédominante de la ville de Ouagadougou occupant 81,5 % de sa population, puis le secteur secondaire (11,4 %) et enfin le secteur primaire (7,2 %) (BAYALA/ARISTE, 2009).

L'élevage est le troisième pourvoyeur de devises du pays en 2009 (MRA, 2010). Il occupe la deuxième place (19 % des exportations) après le coton (KAGONE, 2001). Plus de 80% des Burkinabé pratiquent l'élevage à des degrés divers. Toutefois, la productivité du cheptel est très faible, bien en-deçà des potentiels et des possibilités d'amélioration.

2.1.1.2. Présentation de la province du Houet

2.1.1.2.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines

La ville de Bobo-Dioulasso située au sud-ouest du pays entre 11°10' de latitude Nord et 4°18' de longitude Ouest est le chef lieu de la province du Houet. Deuxième ville et capitale économique du Burkina Faso, elle se trouve au carrefour d'axes commerciaux importants reliant les villes de Ouagadougou, Niamey (Niger), Sikasso (Mali) et Abidjan (Côte d'Ivoire). Elle est distante de la capitale de 365 km et occupe une superficie estimée à 1 805 km² (ZIDA/BANGRE, 2009).

Le climat est de type sud soudanien caractérisé par une saison pluvieuse de 5 mois allant de mai à septembre, au cours de laquelle la région reçoit en moyenne entre 900 et 1 200 mm d'eau par an. Avec des températures moyennes basses par rapport au reste du pays tournant autour de 30°C en mars-avril et parfois en mai, en décembre-janvier par contre et durant la saison des pluies cette température oscille entre 25 et 27°C.

Le réseau hydrographique est constitué de 2 marigots importants à savoir, le Kou à l'ouest qui assure l'approvisionnement de la ville en eau potable et le Houet au nord qui offre un ruban de sources pérennes en saison sèche.

Quant à la végétation, elle est de type savane arborée. Elle se caractérise par des formations ligneuses hautes claires à *Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth et à *Vitellaria paradoxa* C. F.

Gaertn auxquelles s'insèrent des formations ligneuses basses à *Faidlerbia albida* (Del.) A. Chev. et à *Detarium microcarpum* G. et Perr., puis des formations herbeuses à dominante *Andropogon gayanus* Kunth. (MAMBILA, 1999).

Le relief est peu accidenté et Bobo-Dioulasso se situe sur un plateau d'une altitude moyenne de 460 m par rapport au niveau de la mer (BATIONO, 2003 ; ZIDA/BANGRE, 2009). La ville se caractérise aussi par une chaîne rocheuse au sud, des bas fonds et des plaines aménageables. Les pentes sont relativement fortes, de l'ordre de 1 à 2% avec de grandes vallées et des bas-fonds inondés pendant une partie de l'année.

Quant aux sols, ils sont en majorité hydromorphes sur cuirasse ancienne et sont très favorables à l'agriculture (BADOLO, 2009).

Le dernier Recensement Général de la Population (RGP) qui date de 2006 fait état de 955 451 habitants pour l'ensemble du Houet dont 497 191 réside dans la seule ville de Bobo (BAYALA/ARISTE, 2009), soit 52,03% de la population du Houet. La densité est en moyenne de 276 habitants/km².

Tous les groupes ethniques du pays sont rencontrés à Bobo-Dioulasso parmi lesquels les Mossi, les Bobo et les Dioula.

2.1.1.2.2. Activités économiques

Le secteur d'activité le plus représenté dans la région des Hauts-Bassins est le secteur primaire avec 69,3% de la population occupée ; viennent ensuite les secteurs tertiaire (25,1%) et secondaire (5,6%) des actifs occupés (BADOLO, 2009). Par contre, le secteur d'activité le plus représenté dans la ville de Bobo-Dioulasso est le secteur tertiaire avec 77,1 % de la population occupée ; viennent ensuite les secteurs secondaire (15,6 %) et primaire (7,3 %) des actifs occupés (ZIDA/BANGRE, 2009).

Le secteur primaire représenté par l'agriculture et l'élevage bénéficie de meilleures conditions climatiques car la commune de Bobo-Dioulasso est l'une des zones les plus arrosées du pays.

L'agriculture est de type traditionnel, itinérant, extensif et faiblement mécanisée. En plus de la céréaliculture (sorgho, mil, maïs, riz, fonio), les légumineuses (niébé, voandzou), les tubercules (igname, patate, taro), les cultures de rente (coton, arachide, sésame, soja, tabac, souchet, ...), il y a aussi la culture maraîchère (tomate, oignons, aubergine,...) qui occupe une place importante dans l'économie de Bobo-Dioulasso.

L'élevage est aussi bien développé dans cette partie du pays et constitue une activité économique importante pour les habitants de la commune. La région des Hauts-Bassins est la deuxième région qui détient l'effectif bovin le plus élevé au niveau national avec un taux de

16,6 % (MRA, 2010). Quant aux autres espèces, elles enregistrent respectivement les taux de 9,2%, 5,9%, 11,3%, 10,6% et 12,5% pour les ovins, les caprins, les porcins, les pintades et les poules. Par sa position géographique stratégique de carrefour, la région des Hauts-Bassins demeure la plaque tournante pour le commerce du bétail et de la viande. Les productions céréalières, telles que le mil, le maïs, sont surtout exportées en destination des pays voisins tels que le Mali, le Niger et la Côte-d'Ivoire.

Le système d'élevage pratiqué dans la commune de Bobo-Dioulasso est de type extensif sédentaire. On rencontre aussi des exploitations intensives et d'autres en voie d'intensification. HAMADOU *et al.*, (2002) dans son étude sur la typologie des exploitations périurbaines de la ville de Bobo-Dioulasso, ont montré la présence d'élevages intensifs caractérisés par de grandes superficies et d'importants investissements dont les infrastructures construites en matériau définitif et dont la production de lait y est affichée. Contrairement au système traditionnel, dans ces fermes, les dépenses d'alimentation sont considérables, en particulier pour l'acquisition des sous produits agro-industriels (SPAI), une adoption de la production fourragère.

2.1.1.3. Présentation de la province du Tuy

2.1.1.3.1. Cadre géographique, caractéristiques physiques et humaines

Koumbia est une commune rurale de la province de Tuy. Ses coordonnées géographiques sont : 4°24'01'' de longitude, 12°42'20'' de latitude Nord et une altitude 290 m (BLANCHARD, 2005). Il est situé sur la route nationale 1, à 34km au Sud-Ouest de Houndé (chef lieu de la province) et à 67 km à l'Est de Bobo-Dioulasso. D'une superficie estimée à 9700ha, le terroir de Koumbia est limité par ceux de Sébébougu à l'est, de Dankari au nord-est, de Kongolikan à l'ouest, de Soa et de Gombélé Dougou au sud ; la forêt classée de la Mou matérialise la limite du territoire.

La commune de Koumbia est située dans la zone sud-soudanienne et est caractérisée par la succession de deux saisons : une saison sèche allant de novembre à avril et une saison pluvieuse de mai à octobre. La quantité d'eau tombée annuellement varie entre 800 et 1100 mm.

Le réseau hydrographique se compose de plusieurs cours d'eau temporaires. Ce sont principalement le "Saramboué" qui marque la frontière entre le village et la forêt classée de la Mou et le "Djouanhonti" qui draine la partie nord du village (BLANCHARD, 2005).

La végétation de Koumbia se compose de savanes arbustives et arborées à la périphérie du territoire ou le long des cours d'eau. Le centre du territoire villageois est occupé par l'espace

agricole avec des champs mis en culture et des jachères. La forêt classée de la Mou présente par endroits des forêts denses à *Cola cordifolia* (Cav) R.Br. et *Terminalia laxiflora* Engl. et des forêts claires à *Gardenia erubescens* Stapf & Hutch. et *Daniella oliveri* (Rolfe) Hutch. & Dalz. (BLANCHARD, 2005).

Koumbia est situé sur une plaine à 290 m d'altitude et est cerné de collines à l'ouest sur le territoire de Kongolikan et à l'est sur le territoire de Sébédougou (BLANCHARD, 2005).

Les sols rencontrés sont de types ferrugineux tropicaux lessivés riches en dioxyde de fer (DREP-Ouest, 2001). Quatre (04) principales textures de sol y ont été distinguées par BLANCHARD (2005) ; à savoir des sols de texture gravillonnaire, limono-sablonneux, argilo-sableux et argileux.

Avec un effectif estimé à 9297 habitants (INSD, 2007), la population de Koumbia se compose essentiellement de Bwaba (autochtones), de Mossi et de Peul (BLANCHARD, 2005).

2.1.1.3.2. Activités économiques

Le village de Koumbia bénéficie d'un climat relativement doux et clément tout comme la ville de Bobo-Dioulasso car elle fait partie de la région des Hauts Bassins, ce qui est un atout pour les activités agricoles. L'agriculture et l'élevage constituent les principales activités économiques. L'agriculture est essentiellement extensive caractérisée par une faible utilisation des intrants et une mécanisation lente. Néanmoins, la traction animale est adoptée par presque toutes les exploitations avec environ 2,5 UBT/exploitation (VALL et al., 2008). L'emprise agricole est estimée à 35% du territoire villageois (CORUS, 2007). On y cultive principalement le coton, le maïs, et le sorgho et secondairement le mil, le riz pluvial et le niébé, sésame, arachide.

Quant à l'élevage, il constitue la deuxième activité économique importante après l'agriculture pour la population de Koumbia. Il est aussi de type extensif et repose essentiellement sur le pâturage naturel pour satisfaire le besoin alimentaire du bétail. L'élevage est de type extensif avec pour principales espèces les bovins, les ovins, les caprins et la volaille. La densité du bétail est de 45 UBT/km² (CORUS, 2007). D'après KAGONE (2001), ce système est à faible utilisation d'intrants car les concentrés alimentaires (sous-produits agro-industriels) sont distribués pendant la période critique de l'année. MRA (2010) met en évidence la faible production dans ce système où la production laitière commercialisable est de 110 litres en moyenne par lactation de 180 jours et par vache.

2.1.2. Ressources humaines

Le matériel humain est constitué de producteurs (de différents types d'unité de production, d'ethnie et d'âge confondu) pour les entretiens à travers le questionnaire d'enquête élaboré. A cet effet, l'échantillon retenu pour cette étude est de vingt-cinq (25) producteurs à Koumbia, deux (02) pour les périurbains de Bobo-Dioulasso et cinq (05) producteurs périurbains à Ouagadougou.

2.1.3. Matériel de travail

Le matériel de travail est constitué essentiellement de fiches d'enquête.

L'enquête a été réalisée à l'aide de fiches d'enquête individuelles auprès des chefs d'exploitation souvent accompagnés de leur femme pour la partie laitière à Koumbia et auprès des fermiers dans les périphéries urbaines de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou.

2.2. Méthodologie

2.2.1. Choix de l'échantillon

Le choix restreint des trente deux (32) exploitations s'explique par le temps mis pour enquêter un producteur, soit 4 heures pour deux passages chez le même producteur. A Koumbia, le choix des unités de production est rendu possible par une base de données déjà existant au CIRDES par des études antérieures (BLANCHARD, 2005). Le choix des exploitations agricoles retenues à Koumbia pour les enquêtes a été fait de manière aléatoire par un tirage au sort. Cependant, les exploitations périurbaines ont été choisies en fonction du niveau d'investissement de l'exploitation : infrastructures construites en matériau définitif, matériel agricole perfectionné, production de lait affiché et des dépenses d'alimentation considérables (HAMADOU *et al.*, 2002).

2.2.2. Questionnaire d'enquête

Le questionnaire inspiré de la figure 2 permet d'évaluer la performance énergétique des exploitations agricoles. Ce questionnaire s'articule autour de quatre points importants :

- *Les caractéristiques structurelles* : composition de la main d'œuvre familiale et extérieure, les bâtiments et le matériel présents sur l'exploitation et enfin la consommation d'énergie sur l'exploitation.
- *L'élevage* : la composition du troupeau et effectif, les aliments distribués, la production de lait, les systèmes d'élevage (la transhumance), les soins sanitaires, la répartition du temps et le mouvement dans le troupeau sont autant de points évoqués.

- *L'agriculture* : identification du nombre de champs, la superficie totale emblavée, les cultures, les intrants agricoles achetés, puis la récolte et la gestion des résidus de culture.
- *La gestion de la fumure organique, des résidus de culture* pour une meilleure intégration agriculture élevage.

2.2.3. Méthode d'analyse de l'énergie fossile : la méthode PLANÈTE

La figure 2 matérialise les entrées et les sorties d'énergie sur l'exploitation agricole, le matériel présent sur l'exploitation de même que les bâtiments, les champs, les animaux. Cette figure s'inspire fortement de la méthode PLANÈTE.

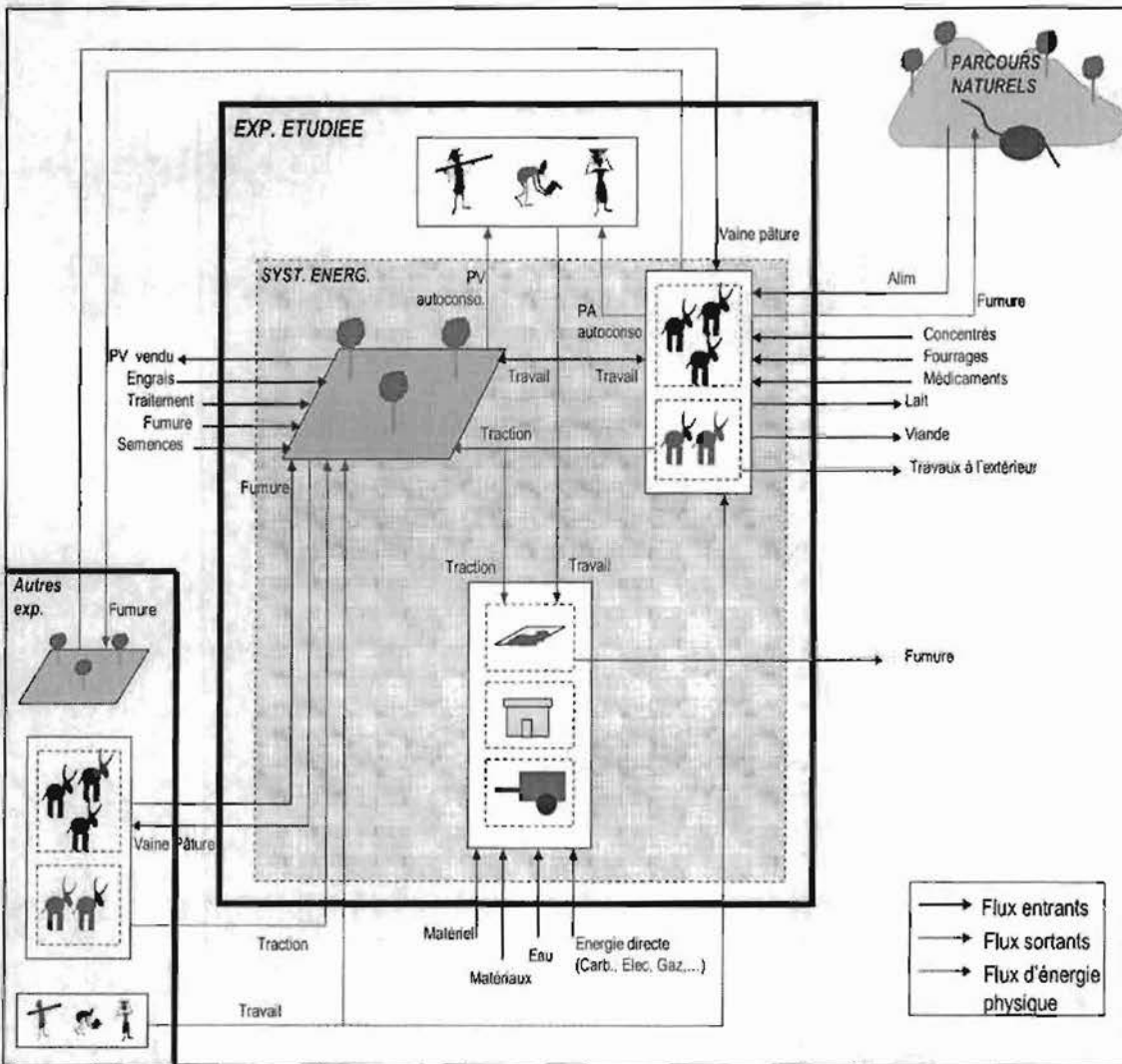


Figure 2 : Schéma du système énergétique d'une exploitation

PLANÈTE est une méthode d'analyse énergétique. Son principe est de quantifier à l'échelle de l'exploitation agricole les entrées et les sorties d'énergie et d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre liées à la consommation d'intrants et aux pratiques agricoles.

C'est une méthode basée sur l'analyse de cycle de vie des intrants c'est-à-dire qu'elle prend en compte toutes les énergies fossiles consommées « du berceau à la tombe » d'un intrant (BOCHU, 2002) ou plus concrètement de sa fabrication primaire à son utilisation finale en passant par son transport. Ces quantités sont exprimées au travers de coefficients énergétiques donnés en mégajoule (MJ) par unité physique d'intrants consommés.

Ainsi, les flux d'énergie entrants à comptabiliser sont :

- les énergies directes consommées sur l'exploitation telles que les différents carburants (essence, gasoil, gaz, charbon), l'électricité et l'eau ;
- les énergies indirectes c'est-à-dire les énergies non-renouvelables consommées au cours du processus de fabrication et le transport des différents intrants de l'exploitation. Ces intrants considérés ici sont les engrais minéraux et organiques, les aliments achetés (concentrés et fourrages...), les produits phytosanitaires (herbicides...), les semences, le matériel et les machines (considérées amorties au bout d'un certain nombre d'années d'utilisation) et les autres achats tels que les plastiques ou encore les produits vétérinaires.

Les sorties d'énergie sont les productions de l'exploitation provenant soit, de l'élevage ou de l'agriculture. Ce sont entre autres : le lait, la viande, les résidus de culture, le fumier, les graines, etc.

2.2.4. Coefficients énergétiques

Les quantités d'intrants consommés ou de productions réalisées sur l'exploitation préalablement données en unités physiques (UBT, kilogramme, litre) ou monétaires (francs CFA) sont transformées en quantité d'énergie exprimée en MJ à l'aide de coefficients énergétiques (Annexe 1).

2.2.4.1. Coefficients énergétiques fossiles des intrants

L'adaptation des coefficients énergétiques fossiles dans le contexte du Burkina Faso s'est avérée nécessaire puisque les coefficients énergétiques diffèrent d'une région à une autre (Europe vs Afrique) notamment à cause des distances parcourues par les intrants. De plus, la méthode d'adaptation est différente et cela est fonction du type d'intrant utilisé, des informations disponibles pour leur calcul, leur origine ou le mode de production.

- Pour certains, nous avons additionné au coût de production donné par VIGNE (2007) le coût de transport pour obtenir le coût énergétique total. Ceci a été le cas du carburant, de l'électricité, des concentrés, du complexe minéral et vitaminique (CMV) et des engrais.

- Pour les achats d'animaux, considérant que l'efficacité énergétique (consommation d'énergie fossile par unité d'énergie brute produite) des productions animales au Burkina Faso est plus élevée qu'en contexte européen, nous avons considéré le coût énergétique égal au quart de leur contenu en énergie brute.
- Pour les résidus de culture et les semences, nous nous sommes basés sur l'itinéraire technique des cultures. Cela consiste donc à additionner les coûts énergétiques de tous les intrants utilisés à cet effet puis de séparer le coût total entre la paille et les graines.
- Les coefficients pour les bâtiments, le matériel et les phytosanitaires sont issus de PLANETE sans aucun changement. Les coefficients pour les frais vétérinaires et les frais d'élevage sont également issus de PLANETE mais ont été converties en valeur monétaire locale (Franc de la Communauté financière africaine (FCFA)).

1.2.4.2. Coefficients énergétiques bruts des productions

Les sorties d'énergie correspondant essentiellement à des productions alimentaires (animaux, lait, fumier, graine et fourrage), leurs coefficients énergétiques ont été calculés à partir de l'énergie brute contenu dans ces produits.

A partir des sorties d'énergie totales (addition de toutes les sorties d'énergie) et des entrées d'énergie (addition de toutes les entrées d'énergie), on calcule l'efficacité énergétique (EE), un indicateur de consommation énergétique fossile des exploitations agricoles.

$$\text{Efficacité Énergétique (EE)} = \frac{\text{Production d'énergie brute totale (en MJ)}}{\text{Consommation d'énergie fossile totale (en MJ)}}$$

Plus cet indicateur est élevé, plus l'exploitation agricole est performante du point de vue énergétique.

Selon une étude précédente d'adaptation de la méthode PLANETE au contexte du Burkina (BÉNAGABOU, 2011), il existe dans la base de données, 82 coefficients d'intrant (entrées) et 20 coefficients de production (sorties).

1.2.5. Traitement et analyse des données

Le logiciel XLSTAT Pro 2007 conçu pour les statistiques multi variables a été choisi pour effectuer l'analyse en composantes principales (ACP) et l'analyse des variances (ANOVA).

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été effectuée pour réaliser une typologie afin d'identifier la diversité des exploitations du point de vue bilan énergétique, puis l'analyse des variances pour distinguer les valeurs des variables significatives d'une classe à une autre. Le seuil de significativité est fixé à 5%.

Parallèlement, l'effet de l'intégration agriculture-élevage a été évalué sur les différents types d'exploitation obtenus, et une analyse de variance a été effectuée pour tester la significativité sur les valeurs des variables des classes obtenues.

1.2.5.1. Analyse de la diversité des exploitations agricoles.

Pour analyser la diversité des exploitations agricoles de Koumbia, Bobo-Dioulasso et Ouagadougou, nous avons réalisé une analyse en composantes principales (ACP) sur un total de trente-deux 32 exploitations agricoles enquêtées et dix huit (18) variables actives retenues (tableau IV) composées :

- ✓ de trois (03) variables de structure qui sont : le nombre d'actifs agricoles, la surface totale cultivée (STC) et le nombre d'animaux possédés en Unité Bovin Tropical (UBT) ;
- ✓ de quinze (15) variables énergétiques dont dix (10) variables d'entrées énergétiques : l'achat ou le don des carburants et électricité, l'achat d'engrais, de la fumure animale, des produits phytosanitaires, des semences, des aliments concentrés et complexes minéraux et vitaminiques (CMV), des fourrages et résidus de culture, des animaux, des frais vétérinaires et des bâtiments et matériel ;
- ✓ cinq variables énergétiques de sortie : la vente ou don de lait, la vente d'animaux, de fumure animale, de graines issues de la récolte et des fourrages et la vente de résidus de culture.

Cette analyse en composantes principales a permis de caractériser les différentes situations de consommation et de production d'énergie dans une exploitation agricole.

Tableau IV : Variables actives retenues pour l'analyse

Entrées d'énergie fossiles	Sorties d'énergie brute	Structure de l'exploitation
Carburant et Électricité (%)	Lait (%)	Actifs
Engrais (%)	Animaux (%)	STC
Fumure Organique (%)	Fumure Organique (%)	UBT
Produits phytosanitaires (%)	Grains (%)	
Semences	Fourrage et Résidus (%)	
Aliments concentrés et CMV (%)		
Fourrage et Résidus (%)		
Achats animaux (%)		
Produits vétérinaires (%)		
Bâtiments et Matériels (%)		

STC : Surface Totale Cultivée

UBT : Unité Bovin Tropicale

A l'issue de cette ACP, nous avons réalisé une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) à partir des coordonnées des individus sur les deux premiers axes factoriels de l'ACP pour caractériser des classes homogènes de population d'exploitations.

1.2.5.2. Analyse de l'effet de l'intégration agriculture-élevage sur les performances énergétiques des exploitations

Trois indicateurs relatifs aux trois piliers de l'intégration agriculture-élevage de LHOSTE (2004) ont été construits au cours de cette étude pour caractériser le niveau d'intégration agriculture-élevage de l'exploitation. Il s'agit des indicateurs : couverture de besoins en fumure organique, couverture de besoins fourrager et couverture de besoins en traction animale.

Ces trois indicateurs ont permis de calculer un indicateur global. Cet indicateur global est obtenu en additionnant les trois indicateurs et en divisant la somme obtenue par trois si tous les trois piliers de l'intégration agriculture élevage sont constatés sur la même exploitation. La procédure de calcul pour l'obtention des trois indicateurs est expliquée dans le tableau V.

Tableau V : Procédure de calcul des indicateurs d'intégration agriculture-élevage

Type d'indicateur	Couverture de besoins en fumure organique (CBFO)	Couverture de besoin fourrager (CBF)	Couverture de besoins en traction animale (CBTA)	Indicateur global (IG)
Définitions	Apport de fumure organique sur le champ selon la norme recommandée de 2,5t/ha	Stockage optimum de fourrage permettant de couvrir les besoins annuels des animaux sans qu'ils aient recours au milieu extérieur	Maximisation de l'énergie animale d'une paire de Bœuf. Norme 7ha/an/paire de bœuf de trait	Indicateur incluant l'effet des trois indicateurs précédents
Procédures	1) Quantité totale des différents types de fumures (terre de parc + ordures ménagères + composte + fumier) transportée sur tous les champs, rapportée par unité de surface (ha). 2) La valeur obtenue au 1) rapportée à la norme requise donne le pourcentage de couverture.	1) Consommation annuelle de fourrage d'un UBT/an = 6,25 kgMS/jr * 360jr = 2,25tonnes/an. 2) Somme (en matière sèche) de tous types de fourrages stockés sur l'exploitation pour la consommation animale. 3) La quantité totale est rapportée au nombre d'UBT présent sur l'exploitation pour avoir la quantité consommée/UBT. 4) Enfin le pourcentage de couverture est obtenu en faisant le rapport 3/1	On rapporte le nombre de paire de bœuf de l'exploitation sur la surface totale qu'elle a cultivée.	Somme des trois indicateurs divisée par trois. [(CBFO+ CBF+ CBTA)/3].

Formules des indicateurs calculés

❖ Couverture de besoins en fumure organique (CBFO en %) de l'exploitation

$$CBFO (\%) = \frac{Q \text{ totale FO épanchée sur tous les champs (kg)}}{2500 \text{ kgFO /ha/an} * \text{Surface cultivée (ha)}}$$

La constante 2500 kg/ha/an de la formule est une norme admise dans la littérature (BERGER., 1996) et couramment utilisée pour satisfaire les besoins en fumure organique du champ.

❖ Couverture de besoins fourragers (CBF en %) de l'exploitation

$$\text{CBF (\%)} = \frac{\text{Q totale de fourrage stockée (kg)}}{6,25 \text{ kgMS /UBT /j} * 365 \text{ jours} * \text{Nbre UBT}}$$

La constante 6,25 kgMS/UBT/jr de la formule est une norme admise dans la littérature (MRE-CD., 1984) et couramment utilisée pour satisfaire les besoins en aliments de l'animal.

❖ Couverture de besoins en traction animale (CBTA en %) de l'exploitation

$$\text{CBTA (\%)} = \frac{\text{Nombre de Paires de Boeufs (PDB) disponibles}}{\text{Surface cultivée (ha)/(5ha/PDB)}}$$

La constante 5ha/PDB provient d'une communication personnelle de (VALL)

❖ Indicateur global (IG en %)

$$\text{IG (\%)} = \frac{\text{CBTA} + \text{CBFO} + \text{CBF}}{3}$$

Les trois nouvelles classes obtenues : les agriculteurs, les éleveurs et les éleveurs lait intensifs ont donc été réparties en deux sous-classes par nouvelle classe considérée « exploitation avec intégration agriculture-élevage faible » et « exploitation avec intégration agriculture-élevage forte ».

CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Analyse de la diversité des exploitations agricoles

3.1.1.1. Statistiques descriptives des variables actives des individus

Le tableau VI présente les dix huit (18) variables retenues pour l'ACP en les décrivant statistiquement à partir de leurs valeurs minimales et maximales, leur moyenne et l'écart-type associé.

Les valeurs minimales et maximales varient fortement d'un individu (producteur) à un autre pour la majorité des variables. Cela est confirmé par des écarts-types plus élevés que les moyennes, sauf pour les quatre variables suivantes : UBT, achat de carburants et électricité, achat de phytosanitaires et de bâtiments et matériel.

L'observation de cette variabilité élevée entre les individus étudiés a conduit à la réalisation d'une analyse multivariée des données : premièrement une analyse en composantes principales, suivi d'une classification hiérarchique ascendante sur les coordonnées factorielles des individus pour différencier des classes d'exploitations homogènes.

Tableau VI : Statistiques descriptives des variables actives des individus

Variables	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
Actifs	33	2,000	44,000	7,182	7,584
STC	33	1,250	42,000	8,491	8,986
UBT	33	0,000	90,900	32,871	24,314
E Carb & Elect	33	0,000	42,368	15,903	14,736
E Engrais	33	0,000	61,228	18,479	20,072
E Fumure O	33	0,000	24,191	3,834	6,352
E Phytosanitaires.	33	0,000	26,689	10,062	8,553
E Semences	33	0,000	4,483	0,501	1,005
E Conc. & CMV	33	0,000	33,686	4,406	7,797
E Fourr. & Résid.	33	0,000	90,513	26,173	30,817
E Achats animaux.	33	0,000	12,547	1,478	2,828
E Frais Vétó	33	0,000	16,941	3,323	3,680
E Bât. & Mat.	33	0,165	49,097	15,841	14,737
S Lait	33	0,000	93,139	11,302	25,043
S Animaux	33	0,000	43,069	7,178	10,788
S Fumure O	33	0,000	99,407	42,683	44,335
S Grains	33	0,000	61,815	15,377	16,724
S Fourr. & Résid.	33	0,000	91,476	23,460	34,651

STC= Surface Totale Cultivée

UBT= Unité Bovin Tropical

E = entrée d'énergie

Carb & Elect = carburants et électricité

Fumure O = fumure organique

Conc. & CMV = concentrés et complexes minéraux et vitaminiques

Fourr & résid.= fourrages et résidus

Achat anim. = achat animaux

Frais vétó = frais vétérinaires

Bât & mat = bâtiments et matériel

S = sortie d'énergie

Phyto = phytosanitaire

3.1.1.2. Analyse en composantes principales

La Figure 3 (cf p33) représente, dans un espace bidimensionnel, l'ensemble des descripteurs.

Le plan factoriel formé par les axes 1 et 2 prend en compte 56,76% de la variabilité totale.

Ces variabilités sont respectivement de 33,94% pour l'axe 1 et 22,82% pour l'axe 2.

Les principaux descripteurs qui contribuent à la définition de l'axe 1 (expliquent 67,42% de la variabilité) sont : les entrées d'engrais (14,19%), les sorties de fourrages et de résidus

(13,12%), les entrées en produits phytosanitaires (9,59%), le nombre d'UBT présents sur l'exploitation (8,30%), les entrées de fumure organique (9,14%), les entrées de semences (6,59%) et les frais vétérinaires (6,49%). Les valeurs fortes des variables suivantes : sorties de fourrages et de résidus, entrées en produits phytosanitaires, entrées de fumure organique, entrées de semences se situent à droite du plan. Les valeurs fortes des variables suivantes : nombre d'UBT présents sur l'exploitation, frais vétérinaires se situent à gauche du plan. L'axe 1 discrimine les exploitations selon le type d'activité prioritaire (figure 8) :

- ✓ l'élevage à gauche : les éleveurs moyens, les grands éleveurs, les agro-éleveurs et les éleveurs périurbains intensifs de lait.
- ✓ l'agriculture à droite : les petits agriculteurs, les agriculteurs moyens et les agriculteurs en voie d'intensification.

Les principaux descripteurs qui contribuent à la définition de l'axe 2 (expliquent 82,21% de la variabilité) sont : les sorties par vente de fumure (15,18%), les entrées de fourrages et résidus (13,92%), les entrées de bâtiments et matériels (13,45%), la sortie de lait (11,23%), les entrées de carburants et électricité (9,01%), la surface totale cultivée (STC) de l'exploitation (7,22%), les sorties par vente d'animaux (6,19%), les entrées d'aliments concentrés et CMV (6,01%).

Les valeurs fortes des variables suivantes : les sorties de fumure, les entrées de fourrages et résidus se situent en haut du plan. Les valeurs fortes des variables suivantes : les entrées de bâtiments et matériels, la sortie de lait, les entrées de carburants et électricité, la surface totale cultivée (STC) de l'exploitation, les sorties par vente d'animaux, les entrées de concentrés et CMV, se situent en bas du plan. L'axe 2 discrimine les exploitations suivant le niveau d'investissement et de consommation d'énergie fossile (figure 8).

- ✓ les grands consommateurs d'énergie fossile sont vers le bas : les agriculteurs en voie d'intensification et les éleveurs périurbains intensifs de lait ;
- ✓ les consommateurs d'énergie plus économe sont vers le haut : les éleveurs moyens, les grands éleveurs et les agro-éleveurs.

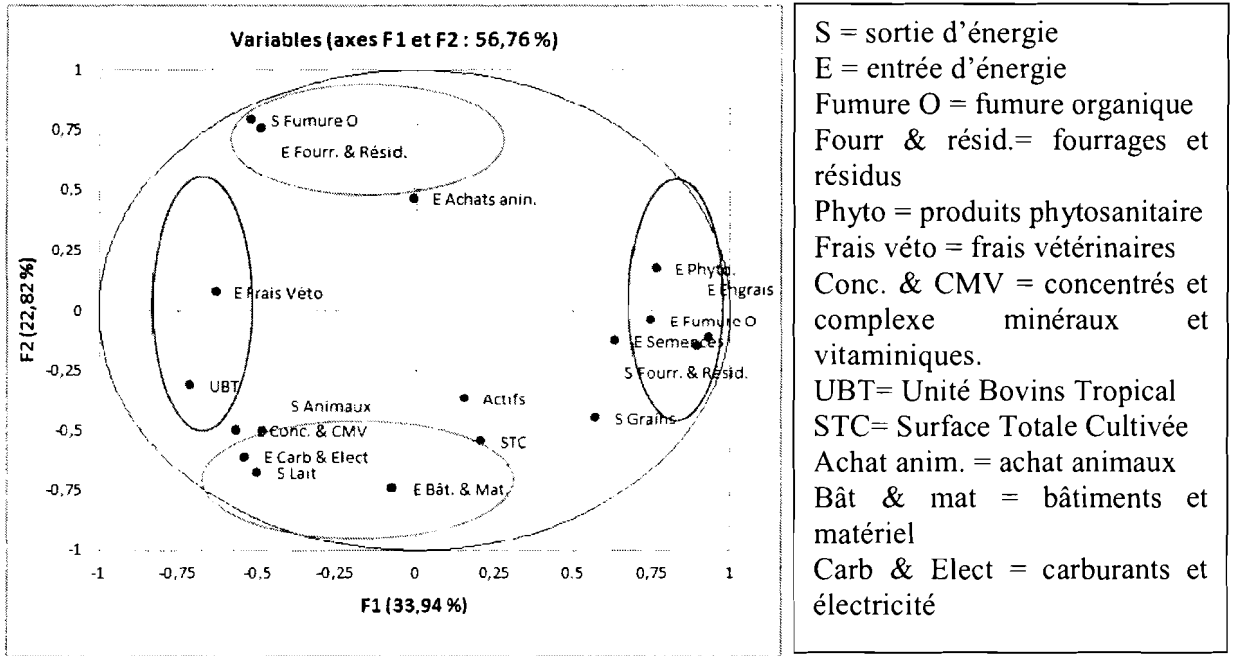


Figure 3 : Cercle de corrélation des variables sur le premier plan factoriel

3.1.1.3. Classification Ascendante Hiérarchique

A partir de l'ACP, une première classification ascendante hiérarchique (CAH) a été réalisée sur l'ensemble des 32 individus sur la base de leurs coordonnées factorielles.

La CAH permet de regrouper les individus en différentes classes homogènes sur la base des descripteurs de l'étude. La détermination des classes est réalisée grâce à l'analyse de l'arbre de classification ou dendrogramme. Cette classification est obtenue en coupant le dendrogramme, le nombre de classes étant déterminé par le niveau de la coupure. Le niveau de la coupure, quant à lui, est déterminé après examen du diagramme des niveaux. En effet, le diagramme des niveaux (figure 4) présente un décrochage entre les niveaux 2-3 et 3-4

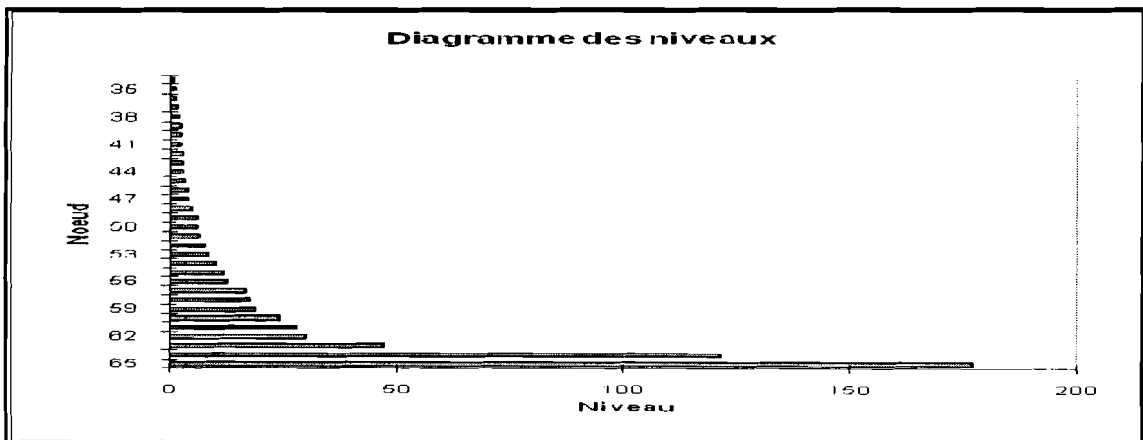


Figure 4 : Diagramme des niveaux

Nous avons choisi de couper le dendrogramme au niveau 3, soit entre les nœuds de niveau 3 et de niveau 4 en tenant compte de l'allure générale du diagramme et du décrochage des niveaux. (Figure 5). Nous obtenons alors quatre classes ou types d'exploitations.

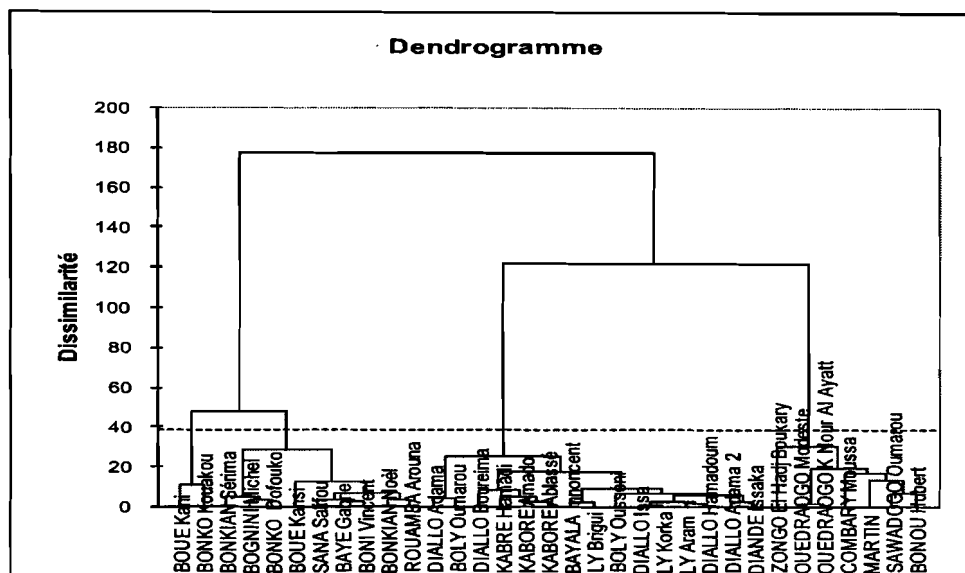


Figure 5 : Dendrogramme de la première classification ascendante hiérarchique

La première CAH ayant abouti à quatre classes, nous avons effectué de nouvelles CAH sur deux de ces classes distinctement. En effet, toutes les classes obtenues par la première CAH n'étaient toujours pas homogènes suivant l'observation faite. Ainsi, une deuxième et une troisième classification ascendante hiérarchique ont donc été effectuées sur deux des quatre classes précédemment obtenues :

Pour la deuxième CAH (figure 6), nous avons identifié trois sous classes (A, B, C) et pour la troisième CAH (figure 7), deux sous classes (D, E). Les deux classes restées intactes après la première CAH constituent alors les classes (F, G).

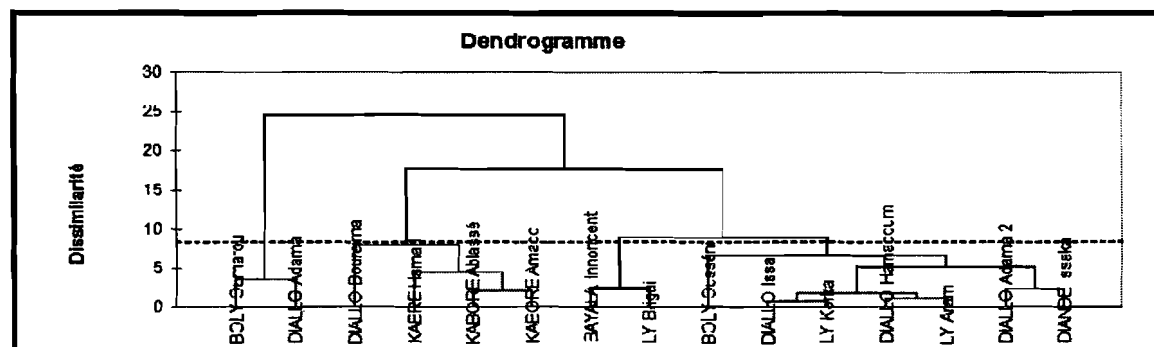


Figure 6 : Dendrogramme de la deuxième classification ascendante hiérarchique

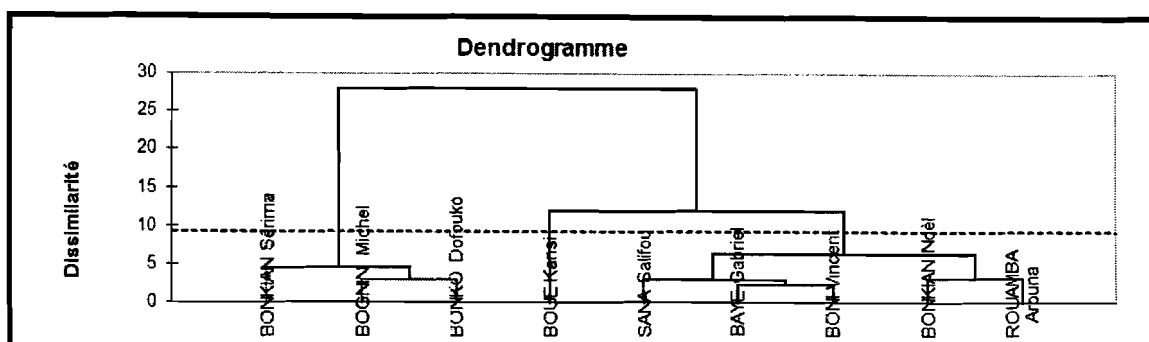


Figure 7 : Dendrogramme de la troisième classification ascendante hiérarchique

3.1.1.4. Bilan de l'analyse multivariée

De l'analyse en composantes principales (ACP) et des classifications ascendantes hiérarchiques (CAH), sept (7) classes d'exploitation homogènes ont été obtenues. Ces classes sont projetées ci-après sur le plan factoriel (figure 8).

La projection donne, selon les axes, des ensembles groupés ou classes proches de certains variables. Ces classes sont en effet des groupes d'exploitations différentes.

Les classes IV (petits agriculteurs), V (agriculteurs moyens) et VI (agriculteurs en voie d'intensification) se regroupent autour de l'axe 1 et se rapprochent des variables (sortie de fourrages et résidus, entrée de phytosanitaires et entrée de fumure) de ceux qui ont comme activité prioritaire l'agriculture.

Concernant les classes I (éleveurs moyens), II (grands éleveurs) et III (agro-éleveurs), elles se regroupent autour de l'axe 2 et se rapprochent beaucoup plus des variables (sortie de fumure organique et entrée de fourrages et résidus de culture) de ceux qui ont pour activité principale l'élevage. Ces classes sont aussi opposées symétriquement à celle de la classe VII (éleveurs périurbains intensifs de lait) qui se rapproche quant à elle des variables (entrée de bâtiments et matériel, sortie de lait, entrées de carburant et électricité, surface totale cultivée, sortie d'animaux et entrée de concentrés et CMV).

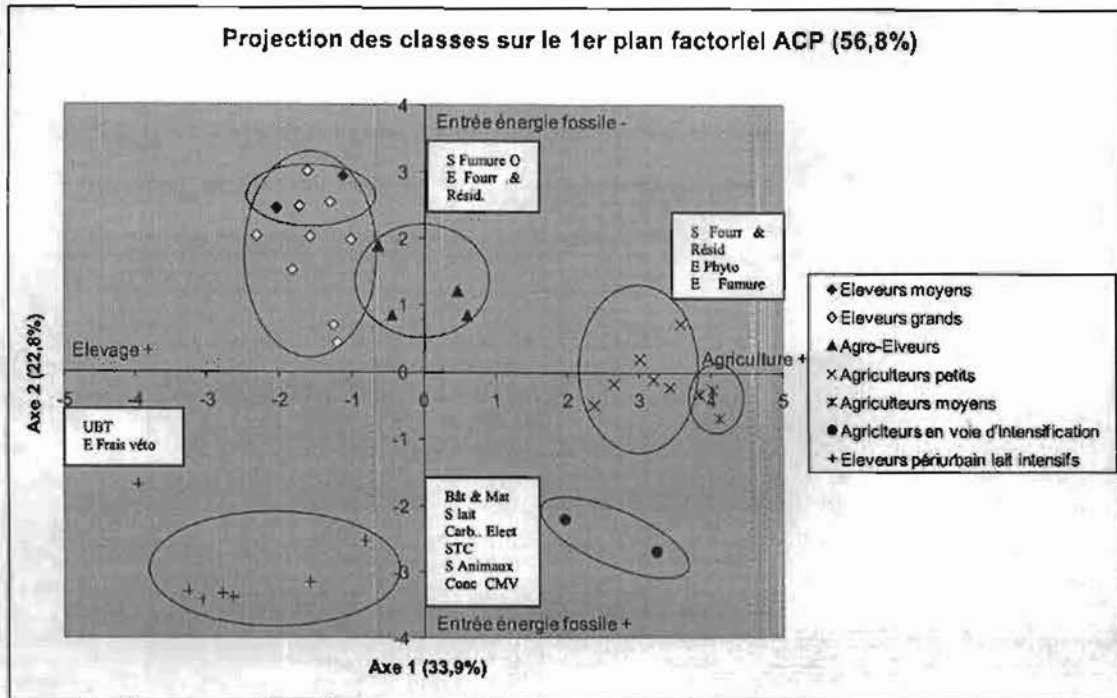


Figure 8 : Projection des exploitations selon les axes 1 et 2

3.1.1.5. Étude comparative des principales caractéristiques des populations d'exploitation en fonction des classes définies

L'efficacité énergétique, les intrants et les produits selon les classes d'exploitation sont donnés dans le tableau VII. On observe que :

Les plus fortes efficacités énergétiques sont rencontrées chez les exploitations traditionnelles à vocation agricole, puis chez les exploitations traditionnelles à vocation pastorale et les faibles valeurs sont rencontrées chez les exploitations intensives et celles en voie d'intensification.

Cependant, en termes d'entrées d'énergie, ce sont les exploitations intensives et celles en voie d'intensification qui sont plus consommatrices d'énergie fossile contrairement aux exploitations traditionnelles (agricole et pastorale).

Ces résultats montrent que l'intensification de l'exploitation agricole passe par la consommation d'énergie fossile, ce qui fait chuter la performance énergétique de des exploitations agricoles en voie d'intensification.

Pour ce qui concerne les sorties d'énergie (sous forme alimentaire ou de déjections), ce sont les agriculteurs moyens et les agriculteurs en voie d'intensifications qui produisent plus d'énergie. Cela signifie qu'il n'y a pas forcément un lien entre les entrées d'énergie et les

sorties d'énergie d'une part, et d'autre part entre les sorties d'énergie et la performance énergétique de l'exploitation.

Lorsqu'on rapporte les entrées d'énergie totales à la surface (ha) ou au nombre d'animaux (UBT), on se rend compte que les éleveurs intensifs de lait consomment des quantités d'énergie fossile très importantes et les plus petites énergies sont consommées par les petits agriculteurs et les éleveurs moyens. Nous pouvons expliquer cela par le fait que les exploitations intensives n'ont pas recours au milieu extérieur tel que pâturage naturel qui utilise une autre source d'énergie (le soleil). Et aussi, ils investissent beaucoup dans le matériel, le bâtiment, l'alimentation, tout ceci consommateur d'énergie fossile.

Mais lorsqu'on rapporte les sorties d'énergie par ha ou par UBT, on constate que les grands consommateurs d'énergie fossile ne convertissent pas nécessairement cette énergie en énergie alimentaire. C'est le cas des éleveurs intensifs de lait. Pour illustrer, les éleveurs intensifs de lait consomment environ dix fois plus d'énergie que les agriculteurs moyens mais produisent vingt fois moins d'énergie alimentaire qu'eux.

L'analyse statistique des différentes moyennes par classe (tableau VII) montre que la classe des *Éleveurs périurbains intensifs* de lait a la plus petite efficacité énergétique (consomme beaucoup d'énergie fossile et produit peu d'énergie alimentaire) et cette valeur est statistiquement différente des six classes par ordre croissant : les *Agriculteurs en voie d'intensification*, les *Agro-Éleveurs*, les *Éleveurs moyens*, les *grands Éleveurs*, les *Agriculteurs moyens* et les *petits Agriculteurs* qui ont les meilleures performances.

Par contre, du point de vue des entrées d'énergie totales, les *Éleveurs périurbains intensifs* de lait consomment significativement plus d'énergie fossile que les autres types. Ils sont suivis des *Agriculteurs en voie d'intensification* et enfin des *Agriculteurs moyens*, des *Agro-Éleveurs*, des *grands Éleveurs*, des *Éleveurs moyens* et des *petits Agriculteurs*.

Pour ce qui concerne les entrées d'énergie/ha, les *Éleveurs périurbains intensifs* de lait ont les valeurs les plus élevées suivis *grands Éleveurs*, des *Éleveurs moyens*, des *Agriculteurs en voie d'intensification* et enfin des *Agro-Éleveurs*, des *Agriculteurs moyens* et des *petits Agriculteurs*.

En termes d'entrées d'énergie/UBT, les *Éleveurs périurbains intensifs de lait* sont significativement différents des six autres types. Ils sont suivis des *Agriculteurs moyens*, des *Agriculteurs en voie d'intensification*, des *petits Agriculteurs*, des *Éleveurs moyens*, des *Agro-Éleveurs* et des *grands Éleveurs*.

Quant aux sorties d'énergies totales, ce sont les *Agriculteurs en voie d'intensification* qui sont significativement différents des six autres types. Ils sont suivis des *Agriculteurs moyens*, des

grands Éleveurs, des Éleveurs périurbains intensifs de lait, des Éleveurs moyens, des Agro-Éleveurs et des petits Agriculteurs.

Pour les sorties/ha, les *grands Éleveurs* sont significativement différents des autres types. Ils sont suivis des *Éleveurs moyens*, des *Agriculteurs moyens*, des *Agriculteurs en voie d'intensification*, des *petits Agriculteurs*, des *Éleveurs intensifs de lait* et des *Agro-Éleveurs*.

Enfin, pour les sorties/UBT, les *agriculteurs moyens* sont significativement différents des autres types. Ils sont suivis des *petits Agriculteurs*, des *Agriculteurs en voie d'intensification*, des *grands Éleveurs*, des *Éleveurs moyens*, des *Agro-Éleveurs* et des *Éleveurs périurbains intensifs de lait* qui possèdent la plus faible valeur.

Tableau VII : Comparaison de la performance énergétique, des intrants et des produits selon les classes d'exploitation

Classe d'exploitation	Classe I : Éleveurs moyens	Classe II : Éleveurs grands	Classe III : Agro- Éleveurs	Classe IV : Agricul- teurs petits	Classe V : Agricult eurs moyens	Classe VI : Agriculteurs en voie d'intensifica- tion	Classe VII : Éleveurs périurbain lait intensifs
Efficienne Énergétique	10,5ab	14,5a	8,8ab	18,2a	16,1a	7,1ab	1,3b
Énergies Entrées (MJ)	15293,1 b	23578,9 b	23990,5 b	7141,3b	32522,8 b	159194,1ab	274228,6a
Énergies Entées/Ha	6 515,8ab	7 771,8ab	2 822,3b	1 718,9b	2 539,6b	4759,6ab	41457,1a
Énergies Entrées/UBT	672,3bc	575,6c	656,2bc	1 891,9bc	4 485,8ab	3 353,2abc	5 289,5a
Énergies totales (MJ)	164444, 5b	327502, 7b	162698, 3b	118036, 3b	514579, 9b	1177336,6a	215554,6b
Énergies Sorties/Ha	72 531,5ab	114 237,5a	20 565,9b	28 665,9b	40 897,7b	32 809,3b	28 315,1b
Énergies Sorties/UBT	7 155,4b	8 010,6b	4 787,2b	28 933,9b	73 471,6a	24 891,7b	3 800,3b

Pour chaque ligne, les différences significatives entre moyennes sont marquées par les différentes lettres a, b, c, et d (selon le test de Newman-Keuls : $p < 0,05$).

3.1.1.6. Description des différentes classes d'exploitation

3.1.1.6.1. Classe I : Les éleveurs moyens

Cette classe se caractérise par de petites surfaces cultivées de 2,5 ha, des troupeaux de grande taille 22,7 UBT et une main d'œuvre employée d'environ 5,5 actifs agricoles. Les entrées d'énergies sont plus liées à l'activité d'élevage avec (45,4%) pour les fourrages et résidus, les carburants et électricités (17,7%), les entrées d'animaux (10,4%), les produits vétérinaires occupant (8,4%) mais aussi quelques entrées négligeables pour l'agriculture correspondant à

l'achat de produits phytosanitaires (8,3%). Les sorties d'énergie se rattachent toujours à l'activité d'élevage avec 97,7% de fumure organique comme sortie d'énergie. Les entrées d'énergie totales sont égales à 15 293,1 MJ avec une efficacité énergétique de 10,5.

3.1.1.6.2. Classe II : Les grands éleveurs

Cette classe est à l'image de la classe précédente avec presque les mêmes caractéristiques structurelles : petites surfaces de culture de 3,5 ha, troupeaux de taille plus grande que le précédent de 41,0 UBT et 4,7 actifs agricoles comme main d'œuvre. Les entrées d'énergie plus principalement liées à l'élevage : entrée de fourrages et résidus de (63,4%), suivi du poste carburant et de l'électricité (13,0%), les frais vétérinaires (4,6%), les produits phytosanitaires (5,1%) et les engrais (4,8%) pour faire un peu d'agriculture. Les sorties d'énergie sont aussi principalement liées à l'élevage : fumure organique de (89,5%), sorties d'animaux (4,4%) et le lait (1,2%). Les entrées totales d'énergie s'élèvent à 22 072,4 MJ et une l'efficacité énergétique de 13,7.

3.1.1.6.3. Classe III : Les agro-éleveurs

Cette classe regroupe les exploitations ayant de superficies cultivées moyennes de 7,4 ha et des troupeaux de grande taille de 30,9 UBT, le nombre d'actifs agricoles s'élevant à 7,5. Les entrées d'énergie sont imputables aux deux classes d'activités quasiment de même importance menées sur l'exploitation que sont l'agriculture et l'élevage. Ce sont les fourrages et résidus (32,7%), les produits phytosanitaires (19,4%), les engrais (17,9%), les bâtiments et matériels (9,7%), les carburants et électricités (9,5%). Les agro-éleveurs utilisent des produits vétérinaires pour soigner leurs animaux (3,0%) et aussi des concentrés et CMV (2,4%). Les sorties concernent la fumure organique (81%), les graines (10,5%) et les animaux (8,6%). L'entrée d'énergie totale est de 23 990,5 MJ pour une efficacité énergétique moyenne de 8,8.

3.1.1.6.4. Classe IV : Les petits agriculteurs

Cette classe regroupe les exploitations dominées par l'agriculture. Ce sont de petites exploitations ayant des superficies cultivées en moyenne 4,1 ha, de petits élevages d'environ 2,1 UBT et le nombre d'actifs agricoles présent est estimé à 3,0. Le troupeau est très souvent composé uniquement d'animaux de trait pour les travaux champêtres. Le total des entrées d'énergie fossile est très faible et surtout liée à l'agriculture. Les postes les plus

consommateurs d'énergie sont : l'achat d'engrais (37,8%), de phytosanitaires (18,3%), de bâtiments et matériel (20%), de fumure (13,7%), et d'électricité et carburants (7,4%). Les sorties d'énergies importantes sont également liées à l'activité agricole. Ce sont principalement les fourrages et résidus (79,6%) et les graines (19,6%). Les entrées d'énergie totales s'élèvent 7 141,3 MJ. Ils ont une efficacité énergétique très élevée de 18,1.

3.1.1.6.5. Classe V : Les agriculteurs moyens

L'agriculture est également l'activité principale de cette classe avec un accroissement de leur superficie cultivée de 12,8ha, de l'effectif du troupeau de 9,9 UBT et du nombre d'actifs agricoles de 7,7. Leur troupeau est composé d'animaux de trait et d'un noyau de bœufs d'élevage. Les intrants agricoles sont plus rencontrés avec la production végétale dont les énergies consommées par les engrais minéraux sont de 55,7%, les produits phytosanitaires consomment 15,9%, les bâtiments et matériels agricoles 9,2%, la fumure organique appliquée sur les champs 8,8%, et les carburants et électricité 4,5%. L'énergie ressort principalement de cette classe d'exploitation sous forme de fourrages et résidus de cultures (64,6%) et de graines vendues (33,5%). L'énergie fossile totale consommée est de 32 522,8 MJ. Ils ont une efficacité énergétique très élevée de 16,1.

3.1.1.6.6. Classe VI : Les agriculteurs en voie d'intensification

Bien qu'ils possèdent de grands troupeaux 47,6 UBT, l'agriculture reste l'activité de base de cette classe d'exploitation avec de vastes surfaces cultivées de 34,1 ha et occupant une forte main d'œuvre de 30,0 actifs agricoles. Les entrées d'énergie sont dues aux intrants agricoles tels que les engrais (38,1%), les bâtiments et matériels (27,4%), les produits phytosanitaires (15,8%) et les carburants et électricité (13,0%). Les sorties d'énergie proviennent de l'activité d'agriculture tels que les fourrages et résidus (51,5%), les graines (41,7%) et la fumure organique (5,6%). L'énergie fossile consommée est de 159 194,1 MJ avec une efficacité énergétique moyenne de 7,1.

3.1.1.6.7. Classe VII : Les éleveurs périurbains intensifs de lait

Dans cette classe d'exploitation où la main d'œuvre et la surface cultivée sont moyennes et respectivement de 7,6 actifs et 11,8 ha, le nombre d'UBT est plus élevé (58,5UBT) que les

autres. Il s'agit d'exploitations orientées vers l'élevage et spécifiquement sur la production laitière. Les entrées d'énergie concernent évidemment les investissements en matériel d'élevage avec des taux de 37,1% pour les carburants et électricités, 33,1% pour les bâtiments et matériel, les concentrés et CMV (15,6%), les frais vétérinaires (5,7%) et les fourrages et résidus 5,1%. Les sorties d'énergie concernent la vente de lait (51,3%), d'animaux (20,8%), de fumure organique (11,8%) et les grains issue du peu d'agriculture pratiquée (16,2%). Les entrées totales sont très élevées de 274 228,6 J et l'efficacité énergétique est très faible de 1,3.

Tableau VIII : Description des sept classes d'exploitations en fonction de leurs caractéristiques structurelles, des pourcentages des différents postes d'entrée et de sortie d'énergie.

	Classe I : Éleveurs moyens	Classe II : Éleveurs grands	Classe III : Agro- Éleveurs	Classe IV : Agriculteurs petits	Classe V : Agriculteurs moyens	Classe VI : Agriculteurs en voie d'intensification	Classe VII : Éleveurs périurbains intensifs de lait
Actifs	5,5	4,7	7,5	3,0	7,7	30,0	7,6
STC	2,5	3,5	7,4	4,1	12,8	34,1	11,8
UBT	22,7	41,0	30,9	2,1	9,9	47,6	58,5
E Carb & Elect	17,7	11,9	9,5	7,4	4,5	13,0	37,1
E Engrais	2,2	5,4	17,9	37,8	55,7	38,1	2,1
E Fumure O	0,0	0,0	2,9	13,7	8,8	3,3	0,0
E Phyto.	8,3	4,4	19,4	18,3	15,9	15,8	1,2
E Semences	0,0	0,1	0,4	0,3	3,3	1,3	0,0
E Conc. & CMV	2,0	1,8	2,4	0,8	0,4	0,2	15,6
E Fourr. & Résid.	45,4	67,4	32,7	0,0	0,0	0,0	5,1
E Achats anin.	10,4	0,8	2,1	1,0	1,5	0,6	0,0
E Frais Vété	8,4	3,8	3,0	0,7	0,7	0,4	5,7
E Bât. & Mat.	5,6	4,3	9,7	20,0	9,2	27,4	33,1
S Lait	0,9	1,3	0,0	0,0	0,1	0,0	51,2
S Animaux	1,4	5,1	8,6	0,9	0,3	1,2	20,7
S Fumure O	97,7	87,8	81,0	0,0	1,5	5,6	11,8
S Grains	0,0	5,7	10,5	19,6	33,5	41,7	16,2
S Fourr. & Résid.	0,0	0,0	0,0	79,6	64,6	51,5	0,0
Efficience Énergétique	10,5	14,5	8,8	18,2	16,1	7,1	1,3

3.1.2. Analyse de l'impact de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficacité énergétique

Dans cette partie, l'objectif était de comparer l'efficacité énergétique des exploitations en fonction du degré d'intégration agriculture-élevage pour des classes d'exploitation homogènes. Il faut donc :

- définir des indicateurs d'intégration agriculture-élevage et un critère unique (intégrant ces indicateurs) permettant de classer les exploitations en fonction de ce critère ;
- s'assurer que les classes d'exploitations comportent suffisamment d'individus pour comparer des sous-classes où l'intégration de l'agriculture et de l'élevage est forte (IAE+) avec des sous-classes où elle est faible (IAE-). Mais, les classes d'exploitation ont des effectifs parfois insuffisants pour réaliser des comparaisons statistiques. Il nous a donc fallu réfléchir à la constitution de regroupement des classes.

3.1.2.1. Regroupement des classes en grands types d'exploitations

Après description des classes d'exploitation, il ressort que certaines classes peuvent être fusionnées vu la ressemblance de leurs caractéristiques. Nous appellerons type les regroupements issus de cette fusion (Figure 9).

Les trois classes *Éleveurs moyens*, *Grands éleveurs* et *Agro éleveurs* ont des caractéristiques très proches (activité pastorale prédominante, plus d'un UBT par unité de surface cultivée et faible consommation d'énergie fossile). A cet effet, ils ont été regroupés pour former le type des *Éleveurs*.

Le type des *Agriculteurs* a été obtenu par le regroupement des classes *Agriculteurs petits* et *Agriculteurs moyens* qui ont aussi des caractéristiques proches (activité agricole prédominante, moins d'un UBT par unité de surface cultivée et faible consommation d'énergie fossile).

Le type *Éleveurs périurbains intensifs de lait* avec comme activité prédominante, l'élevage mais avec une utilisation importante d'énergie fossile. Ce type est différent des types précédents.

Enfin, la classe des *Agriculteurs en voie d'intensification* a été retirée de l'analyse car au vu de ses caractéristiques, il n'était pas logique de les faire fusionner avec d'autres classes d'exploitation. En effet, il est porté autant sur l'activité pastorale que sur l'activité agricole (environ 1 UBT par unité de surface) mais aussi, consomme des quantités importantes d'énergie fossile. Au final, ce type ne comportant que deux individus a été écarté de l'analyse.

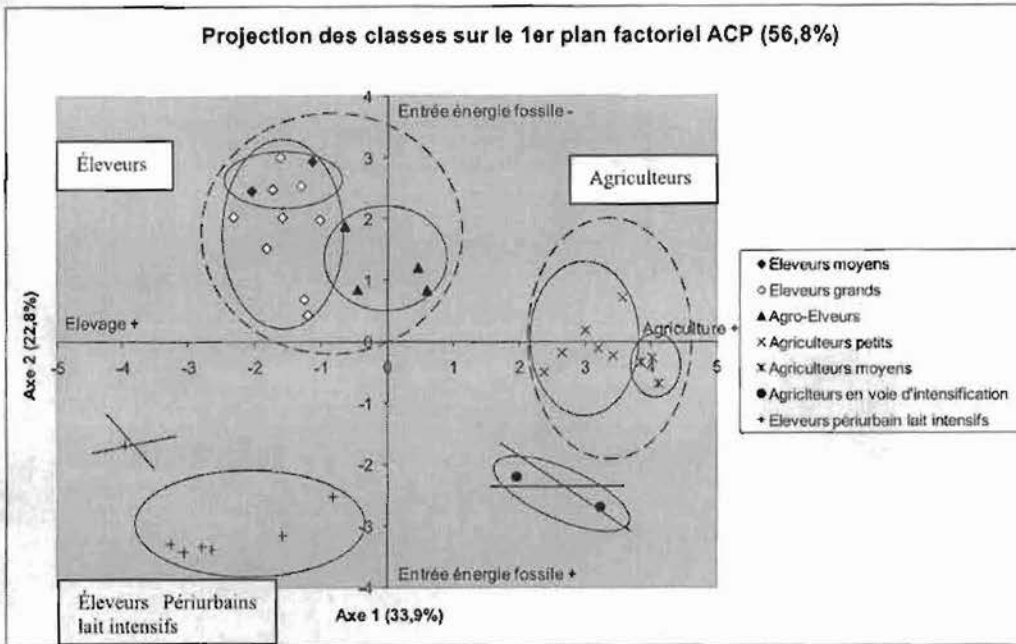


Figure 9 : Nouvelles classes obtenues pour l'analyse de l'intégration agriculture-élevage des exploitations

3.1.2.2. Répartition des exploitations en fonction du degré d'intégration Agriculture-élevage

Les trois nouveaux types obtenus : les *Agriculteurs*, les *Éleveurs* et les *Éleveurs intensifs de lait* ont donc été répartis en deux sous-types : « exploitation avec intégration agriculture-élevage faible » et « exploitation avec intégration agriculture-élevage forte » (Tableau IX)

La répartition des individus entre ses deux sous-groupes étant obtenue en fonction d'un indicateur moyen calculé par type. Les individus situés en dessous de cet indicateur sont ceux qui intègrent faiblement et ceux situés en dessus intègrent fortement.

Chez les *Agriculteurs*, la couverture des besoins en traction animale est élevée chez ceux qui intègrent faiblement à fortement (80 à 135%), suivi de la couverture des besoins en fumure organique (20 à 35%) et d'une faible couverture des besoins en fourrage (9 à 21%). Cela se traduit par un indicateur d'intégration agriculture-élevage moyen de 36% pour ceux qui intègrent moins et 64% pour ceux qui intègrent plus.

Chez les *Éleveurs*, la couverture des besoins en fumure organique est très élevée chez les éleveurs à forte intégration agriculture-élevage (354%) car les champs sont autour des concessions. Cependant, chez les éleveurs à faible intégration agriculture-élevage, la couverture des besoins en fumure organique est faible (77%) parce que les animaux ne sont

pas parqués sur les champs. Paradoxalement, la couverture des besoins en énergie animale est moyenne pour ces détenteurs d'animaux d'effectif important (36 à 55%) à cause de leurs petites surfaces cultivées. Enfin, ils stockent très peu de fourrage, ce qui explique le taux de couverture des besoins en fourrages très faible pour ce type (1 à 4%). Cela se traduit par un indicateur d'intégration agriculture-élevage élevé chez les *Éleveurs* à forte intégration agriculture-élevage (137%) mais faible chez les *Éleveurs* à faible intégration agriculture-élevage (39%).

Chez les *Éleveurs périurbains intensifs de lait à faible ou forte* intégration agriculture-élevage, la couverture des besoins en fumure organique est très satisfaisante (117 à 1144%) et la couverture des besoins en fourrage est aussi satisfaisante (71 à 184%). Tout ceci est dû à la stabulation des animaux donc l'obligation de stockage pour satisfaire l'alimentation des animaux. Les *Éleveurs lait intensifs* à forte intégration agriculture-élevage n'utilisent pas l'énergie animale. Mais chez les *Éleveurs Périurbains intensifs de lait* à faible intégration agriculture-élevage, le besoin en énergie animale est couvert (161%). Pour ce type, l'indicateur d'intégration agriculture élevage est élevé entre 116 et 664%.

Tableau IX : Indicateurs d'intégration agriculture-élevage des six nouveaux types et leur performance énergétique

Types	Critère unique d'IAE	Couverture de besoins en FO (indicateur 1)	Couverture de besoin fourrager (indicateur 2)	Couverture de besoin TA (indicateur 3)
Agric IAE+	64%	35%	21%	135%
Agric IAE-	36%	20%	9%	80%
Elev IAE+	137%	354%	1%	55%
Elev IAE-	39%	77%	4%	36%
Elev PU IAE+	664%	1144%	184%	-
Elev PU IAE-	116%	117%	71%	161%

IAE : intégration agriculture-élevage ;
FO : fumure organique
Agric : agriculteurs

- : faible ;
TA : traction animale
Elev : éleveurs

+ : forte
PU : péri urbains

3.1.2.3. Effet de l'intégration agriculture-élevage sur la performance énergétique des exploitations

L'intégration forte des deux activités augmente de 3,3 et 1,1 l'efficacité énergétique respective des types exploitations suivantes : « *Agriculteurs* » et « *Éleveurs* », d'où le passage de l'efficacité énergétique de 13,7 à 17,0 et de 12,4 à 13,5 alors que chez les *Éleveurs périurbains intensifs de lait*, cela n'est pas observé. Il y a plutôt une légère diminution de l'efficacité énergétique de 0,2 d'où son passage de 0,8 à 0,6 (figure 10). Le système intensif est grand consommateur d'énergie fossile due à leur objectif de production (produire en grandes quantités). En adoptant la pratique de l'intégration agriculture-élevage, les *Éleveurs* et les *Agriculteurs* consomment moins d'énergie fossile (moins d'engrais par exemple). Chez les *Éleveurs périurbains intensifs de lait*, l'acquisition de matériel perfectionné (sophistiqué) tels que le tracteur favorise la consommation d'énergie fossile quotidienne liée au carburant. L'énergie animale est donc un élément important pour diminuer la consommation d'énergie fossile au sein d'une exploitation.

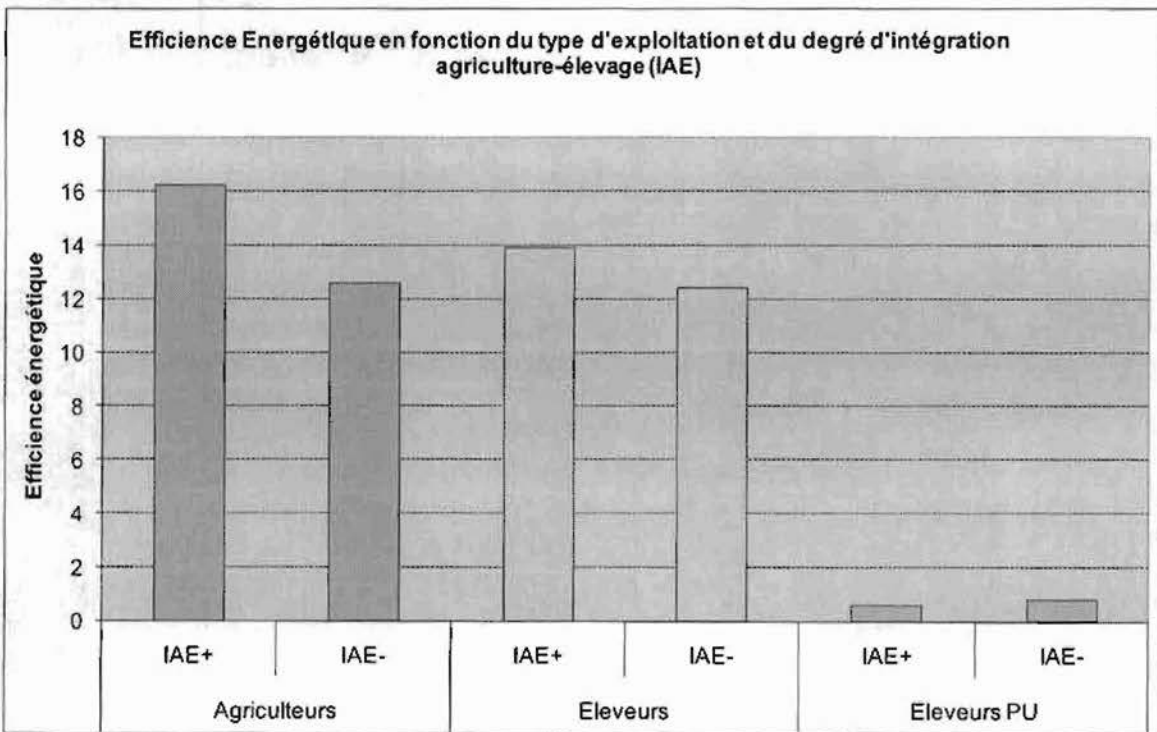


Figure 10 : Effet de l'intégration agriculture-élevage sur la performance énergétique des exploitations

3.2. Discussion

3.2.1. Efficience systèmes Traditionnels et systèmes Modernes

L'efficience énergétique (EE) trouvée dans les exploitations traditionnelles varie de 7,1 à 18,1. Les agriculteurs sont les plus efficaces (16,1 à 18,2), suivis des éleveurs (8,8 à 14,5) et des agriculteurs en voie d'intensification 7,1.

Ces fortes valeurs trouvées chez les agriculteurs sont dues d'une part à une faible utilisation d'énergie fossile (seulement de petites quantités d'engrais, de produits phytosanitaires) et d'autre part, aux productions végétales obtenues sur ces exploitations. Les résidus de culture et les graines sont non seulement en grandes quantités sur les champs mais aussi le coefficient énergétique (correspondant à la valeur alimentaire) calculé et appliqué à la quantité totale de production obtenue est aussi élevé comparée à celle des productions animales. Et comme ces producteurs n'ont pas un effectif important d'animaux pour valoriser tous ces résidus, ce sont d'autres exploitations qui bénéficient de l'excès et cela constitue des sorties d'énergie.

Les éleveurs aussi, ont une utilisation faible d'énergie fossile mais leurs productions constituées essentiellement de viande, de fumier et de lait sont en petites quantités. Aussi la quantité d'animaux sortie et la production de lait par an est souvent insignifiante vue que les ventes sont irrégulières. Cependant la sortie de fumier joue un rôle important dans le calcul de l'efficience énergétique à cause du caractère extensif de l'élevage. En effet, l'effectif élevé des animaux fait qu'ils pratiquent très souvent la transhumance saisonnière et surtout la vaine pâture (pâture des animaux dans les champs cultivés après récolte) à la recherche de pâturage et d'eau. Les déjections des animaux pendant le pâturage hors du champ du propriétaire sont comptabilisées en sortie d'énergie. Ce qui fait que VIGNE et *al.* (2012) ont exclu la partie effluent (fumier) dans le calcul de l'efficience énergétique des exploitations du Mali car ils ont trouvé que la prise en compte de cet élément augmentait l'indicateur énergétique d'environ 50%.

Les travaux de BOCHU (2002) expliquent davantage nos résultats car son étude portant sur l'efficacité des exploitations agricoles indique que les exploitations à vocation végétale étaient plus efficaces que les exploitations à vocation pastorale.

Toutefois, chez les agriculteurs en voie d'intensification, l'efficience énergétique baisse considérablement comparée à celle des agriculteurs et des éleveurs car ils ont investi dans du matériel agricole sophistiqué (perfectionné) tel que le tracteur, les motopompes à moteurs, ce qui est source de consommation régulière d'énergie fossile (carburant) comptabilisé au niveau des entrées d'énergie de la ferme.

Lorsqu'on compare les exploitations modernes orientées sur la production laitière aux exploitations traditionnelles, on constate que les exploitations modernes ne sont pas efficaces ($EE = 1,3$). Cela s'explique par une utilisation quotidienne d'énergie fossile très importante, un stockage de leur production végétale (donc pas de sortie importante d'énergie) pour l'alimentation des animaux en claustration, un investissement dans le matériel, les bâtiments, le carburant, l'électricité pour augmenter leur production.

Toutefois, les efficacités énergétiques trouvées au Burkina Faso sont inférieures à celles trouvées par VIGNE *et al.*, 2012 dans les systèmes mixtes d'agriculture-élevage dans la zone périurbaine de Sikasso au Mali-Sud où les efficacités varient entre 5,4 et 45,6. Les exploitations périurbaines à vocation production laitière importante par vache laitière au Mali sont plus efficaces que les exploitations périurbaines du Burkina Faso (1,3 vs 12,2) même si ces exploitations se rapprochent de celles du Burkina Faso du point de vue caractéristique : stabulation des animaux, apport de concentrés et de fourrages à l'auge, ce qui implique des investissements en infrastructure pour le bien être des animaux.

Nos résultats sont par contre proches de ceux de la France (BENOIT et LAIGNEL, 2010 ; VEYSSET *et al.*, 2010) qui ont trouvé des efficacités se situant entre 0,5 et 1 dans les systèmes d'élevage intensifs mais aussi de ceux obtenus par VIGNE (2007) sur l'île de la Réunion avec des efficacités énergétiques variant de 0,23 à 0,55.

L'utilisation de l'indicateur unique « efficacité énergétique » pour évaluer la performance énergétique des systèmes agricoles se révèle insuffisant pour l'étude de deux systèmes différents sur le plan caractéristique car dans le cas des systèmes traditionnels, les limites du système sont difficilement maîtrisables avec l'utilisation des parcours naturels (DIXON *et al.*, 2001) alors que dans les systèmes modernes, l'affouragement est plus axé sur la culture fourragère (COULIBALY, 2008 ; COULIBALY *et al.*, 2009). Ainsi, un indicateur qui pourrait tenir compte de tous ces paramètres est le bilan d'énergie rapporté aux surfaces directes ou indirectes selon VIGNE *et al.*, (2012).

3.2.2. Impact de l'intégration agriculture-élevage sur l'efficacité énergétique

L'intégration agriculture-élevage est une pratique adoptée par les paysans depuis environ une cinquantaine d'année pour accroître leur superficie cultivable par la réduction du temps de travail (DUGUE *et al.*, 2012). Cette pratique désormais commune à toutes les exploitations du Tuy repose sur trois composantes principales : l'utilisation de la traction animale, le stockage des résidus de culture et l'utilisation de la fumure organique (VALL *et al.*, 2012).

L'efficacité énergétique de l'exploitation augmente avec le niveau élevé de la pratique de l'intégration agriculture-élevage car les trois piliers de l'intégration agriculture-élevage sont en lien indirect avec la consommation de l'énergie fossile : les producteurs en utilisant la traction animale diminuent le poste des carburants et électricité, en utilisant les résidus de culture, diminuent le poste des concentrés et enfin en utilisant de la fumure organique, ils diminuent le poste des engrais apporté aux cultures. Tous ces postes étant consommateurs d'énergie fossile.

L'amélioration de l'efficacité énergétique des exploitations est plus observable chez le type *agriculteurs* car ils utilisent la traction animale pour leur travaux, stockent les résidus de culture pour l'alimentation des animaux et épandent de la fumure organique sur leur champ. Les études de VALL et *al.* (2012) ont montré que l'intégration de l'agriculture-élevage était une stratégie d'intensification des exploitations à orientation agriculture car cela permettait aux producteurs de minimiser les risques économiques en économisant sur les intrants fossiles.

Au niveau du type des *éleveurs*, l'intégration agriculture-élevage se limite essentiellement au parcage des animaux dans les champs (dépôt de fumier sur les champs), ce qui améliore peu leur efficacité.

Mais chez les *éleveurs périurbains intensifs de lait*, bien qu'ils stockent du fourrage pour l'alimentation des animaux et épandent du fumier sur leur champ, l'amélioration de l'efficacité énergétique est presque imperceptible. Ceci est dû à l'accumulation suffisante du capital mais aussi, aux investissements dans les infrastructures. L'accumulation du capital favorise l'adoption de l'intensification classique à savoir l'utilisation d'intrants industriels et la motorisation. Chez les éleveurs périurbains intensifs de lait, la traction animale n'est pas utilisée d'où la forte motorisation.

HAMADOU et *al.* (2002) en établissant la typologie des élevages périurbains de Bobo-Dioulasso, ont identifié parmi quatre types d'élevage laitier, l'élevage moderne intensif caractérisé par de grandes superficies et d'importants investissements à matière d'infrastructures et pour lequel l'option de production de lait est affichée. C'est le type d'exploitation qui adopte non seulement les nouvelles techniques de production et des croisements génétiques mais aussi, la pratique de la complémentation des animaux, de la mise en place de banque de fourrage par la fauche et la conservation des fourrages naturels en bottes et le stockage des sous-produits agricoles et industriels (HAMADOU et SANON, 2005). Les nouvelles techniques et la complémentations sont aussi des postes consommateurs d'énergie fossile.

Le système périurbain étudié est calqué sur le modèle des systèmes de production des pays du Nord. Il est bâti sur la consommation importante d'énergie fossile. Or, plusieurs auteurs tels que ROUSSEAU (2010), DEVIN (2006), MULTON et *al.* (2004) et TISSOT (2001) annoncent l'épuisement certain des réserves d'énergie fossile dans un futur proche. Ces systèmes suscitent alors des questionnements de viabilité si une énergie de substitution n'est pas mise au point à temps pour relayer le type d'énergie utilisé actuellement.

De part la consommation d'énergie fossile, le système moderne observé aux alentours des villes du Burkina Faso est quoiqu'on dise, indispensable car il permet à l'État burkinabé de diminuer la part du budget allouée à l'importation du lait et des produits laitiers se chiffrant à près de 7 milliards de francs CFA par an (HAMADOU et SANOU, 2005). De plus, ce système permet d'approvisionner le pays en lait en toute période de l'année contrairement au système traditionnel.

Quant à l'intégration agriculture-élevage, elle améliore l'efficacité énergétique des exploitations agricoles à travers une faible utilisation des engrais, du carburant à cause de l'utilisation de la traction animale. Elle peut être une alternative pour protéger l'environnement par la diminution de l'émission des gaz à effet de serre ; bien que l'ingestion et la digestion des fourrages tropicaux soient producteurs du gaz méthane donc de gaz à effet de serre (DEGRÉ et *al.*, 2001). Aussi, les systèmes traditionnels des pays du sud sont actuellement confrontés au manque de terre pour la culture et le pâturage, et la baisse de leur fertilité.

Chacun de ces systèmes comporte des avantages et des inconvénients et il est difficile dans ce cas, de privilégier un système au profit d'un autre. Il convient alors d'approfondir la recherche car la seule connaissance de la performance énergétique ne permet pas de choisir entre les deux systèmes ; Il faudrait identifier la contribution de chaque système de production dans la pollution de l'atmosphère.

CONCLUSION

La crise énergétique fossile est une problématique posée à l'échelle mondiale alors que l'utilisation d'énergie conditionne le développement économique mondial actuel. Il existe d'autres sources d'énergie pour pallier à la crainte d'épuisement des réserves d'énergie fossile en cours : ce sont les ressources renouvelables. La science est sollicitée suivant le domaine concerné de trouver des stratégies à mettre en œuvre pour rendre ce domaine indépendant de l'énergie fossile. Dans le domaine agricole, il s'agit de la valorisation de l'énergie animale, de l'énergie végétale et de l'énergie solaire.

Ce travail de recherche s'inscrit dans une problématique plus générale portant sur la performance énergétique des exploitations agricoles. L'objectif principal de cette étude était de contribuer à la promotion de systèmes de productions plus efficaces.

Il ressort des résultats de l'étude qu'il existe une diversité de type d'exploitation agricole au Burkina Faso qui sont réparties en deux grands groupes en fonction de leurs performances énergétiques : les exploitations traditionnelles (les éleveurs moyens, les grands éleveurs, les agro-Éleveurs, les petits agriculteurs, les agriculteurs moyens et les agriculteurs en voie d'intensification) et les exploitations modernes (les éleveurs intensifs de lait). Les systèmes traditionnels de Koumbia sont plus efficaces que les systèmes modernes autour de la périphérie des villes de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou qui immobilisent leur capital dans les infrastructures et le matériel agricole pour alléger la pénibilité des travaux et diminuer le temps consacré.

En outre, l'étude a permis de montrer l'effet de l'intégration agriculture-élevage sur la performance énergétique des exploitations. Ainsi, les exploitations traditionnelles améliorent leur efficacité énergétique lorsque le degré d'intégration agriculture-élevage est élevé car ils déploient beaucoup d'effort, alors que les exploitations modernes diminuent leur efficacité énergétique avec un niveau d'intégration élevé (utilisation du fumier sur leur champ et stockage de fourrage).

Au vu des résultats, nous retenons de cette étude que le type d'exploitation agricole et son niveau d'intégration agriculture-élevage ont une influence sur l'efficacité énergétique des exploitations.

Toutefois, l'analyse énergétique à l'aide de la méthode PLANETE s'est confrontée à des limites : la difficulté d'affiner les coefficients énergétiques, la quantification parfois difficile des entrées d'énergie (input) et des sorties d'énergie (output) au sein des exploitations agricoles. Au regard des limites et des résultats obtenus, nous suggérons :

- ✓ la mise en place d'un suivi des exploitations agricoles en plus des enquêtes des exploitants pour obtenir des informations exactes au niveau des exploitations agricoles traditionnelles ;
- ✓ que des études économiques soient effectuées pour apprécier l'effet de substitution de l'énergie fossile par l'énergie renouvelable au sein des exploitations agricoles traditionnelles et modernes ;
- ✓ que d'autres indicateurs environnementaux soient construits pour signifier avec certitude la performance d'un système par rapport à un autre car les indicateurs utilisés sont insuffisants pour qualifier avec certitude la performance d'un système par rapport à un autre. Ainsi, des indicateurs tels que les bilans d'énergie peuvent s'avérer nécessaire dans ce genre d'étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUBIN J., VAN DER WERF H.M.G., 2009. Pisciculture et environnement : apports de l'analyse du cycle de vie. Quelques facteurs de développement des systèmes d'élevage. *Cahiers Agricultures* 18 (2-3) : 220-226.
- BADOLO H., 2009. Monographie de la région des Hauts Bassins. Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006. Ministère de l'Économie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 154p.
- BATIONO S., 2003. Analyse de la demande des produits forestiers dans l'alimentation des ménages urbains : cas de la ville de Bobo-Dioulasso. Mémoire d'Ingénieur, Institut du Développement Rural / Université Polytechnique de Bobo- Dioulasso, Burkina Faso, 77p.
- BAYALA/ARISTE L.L., 2009. Monographie de la commune urbaine de Ouagadougou. Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006. Ministère de l'Économie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 130p.
- BÉNAGABOU O.I., 2011. Contribution de l'association agriculture-élevage dans l'amélioration du bilan du flux énergétique dans les systèmes agro pastoraux : cas de Koumbia. Mémoire d'Ingénieur, Institut du Développement Rural / Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 59p.
- BENOIT M., LAIGNEL G., 2010 - Energy consumption in mixed crop-sheep farming systems: what factors of variation and how to decrease? *Animal* 4 (9) : 1597-1605.
- BERGER M., 1996. L'amélioration de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. 8 fiches techniques. Montpellier : Agriculture et Développement, numéro hors série, 58p.
- BLANCHARD M., 2005. «Relations agriculture élevage en zone cotonnière : Territoire de Koumbia et Waly, Burkina Faso. Mémoire de DESS « Gestion des Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux en Zones Tropicales », Université Paris XII, Val de Marne, France, 97p.
- BLANCHARD M., VALL E., CHIA E., 2010. Conduire une expérimentation en recherche action en partenariat. Co-concevoir une innovation, l'étudier. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA). Montpellier, France, 10p.
- BLANCHARD M., 2011. Gestion de la fertilité des sols et rôle du troupeau dans les systèmes Coton-Céréales-Élevage au Sud du Mali. Savoirs techniques locaux et pratiques d'intégration agriculture-élevage. Thèse de Doctorat. SIE - Sciences, Ingénierie et Environnement Université Paris-Est, Créteil Val de Marne, France, 298 p.
- BOBIN J.L., NIFENECKER H., STÉPHAN C., 2007. L'énergie dans le monde bilan et perspectives. EDP Sciences, Les Ulis, France, 123p.
- BOCHU J.L., 2002. PLANETE : Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre. Texte colloque SOLAGRO. Toulouse, France, 10p.
- BOCKSTALLER C., GUICHARD L., KEICHINGER O., GIRARDIN P., GALAN B.M., GAILLARD. G., 2009. Comparaison of Methods to assess the Sustainability of Agricultural Systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29 : 223-235

BONNET B., 1990. Élevage et gestion de terroirs en zone soudanienne. Extraits du document réalisé pour le réseau Recherche Développement, groupe Gestion du Terroir. Les Cahiers de la Recherche Développement no 25 - Mars 1990.

BREMAN H., TRAORE N., BONFIGLIOLI A., 1986. Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes. Burkina Faso. Sahel D(86)300, OCDE/CILSS/Club du Sahel, Paris, 202p.

BREMAN H., TRAORE N., 1987. Analyse des conditions de l'élevage et propositions de politiques et de programmes. Mali. Sahel D (87) 302, OCDE/CILSS/Club du Sahel, Paris, 243 p.

CORUS., 2007. Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes de production coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest. Document de projet, Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES), Burkina Faso, 12 p.

COULIBALY D., 2008 - Changements socio-techniques dans les systèmes de production laitière et commercialisation du lait en zone péri-urbaine de Sikasso, Mali. Thèse de Doctorat, Institut National Agronomique Paris-Grignon, 399 p.

COULIBALY D., POCCARD-CHAPUIS R., BA A., 2009 - Dynamiques territoriales et changements des modes de gestion des ressources pastorales au Mali Sud (Mali). In: Proceedings des 16^{ème} Rencontres Recherches Ruminants, Paris, pp 357-360.

D'AQUINO P., LHOSTE P., LE MASSON A., 1995. Systèmes de production mixtes agriculture pluviale et élevage en zones humide et subhumide d'Afrique. Interactions entre les systèmes de production d'élevage et l'environnement. Ministère de la Coopération/CIRAD. Maisons-Alfort, France, 117p.

DEGRÉ A., VERHÈVE D., DEBOUCHE C., 2001. Émissions gazeuses en élevage porcin et modes de réduction : revue bibliographique. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 5 (3), 135-143.

DEMBA K., 1994. Relations agro-sylvo-pastorales dans un contexte d'agriculture durable au sahel In Promotion de systèmes agricoles durables dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne. Séminaire régional organisé par la FAO et le CIRAD. Dakar, Sénégal, 10-14janvier 1994, pp 85-108.

DIAGANA B., KELLY V., KEBE M., 1996. L'offre agricole suite à la dévaluation. Pourquoi une réponse si faible au Sénégal ? ISRA, 13p.

DIXON J., GULLIVER A., GIBBON D., 2001 - Global Farming Systems Study: Challenges and Priorities to 2030 - Synthesis and Global Overview. World Bank/FAO, Rome, Italy, 98p.

DJENONTIN J. A., AMIDOU M., BACO N. M., 2004. Diagnostic gestion du troupeau : gestion des ressources pastorales dans les départements de l'Alibori et du Borgou au nord Bénin. Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, Numéro 45, pp 30-45.

DREP- OUEST., 2001. Monographie province du Tuy, Bobo-Dioulasso, DREP-Ouest. 61p.

DUFUMIER M., 1985. Systèmes de production et développement agricole dans le «TIERS-MONDE» *Les Cahiers de la Recherche-Développement* 6 : 31-38.

DUFUMIER M., BERGERET P., 2002. Analyser la diversité des exploitations agricoles *In* Mémento de l'agronome. Techniques rurales en Afrique. Quatrième édition. Paris. France, 1633p.

DUFUMIER M., 2006. Diversité des exploitations agricoles et pluriactivité des agriculteurs dans le Tiers Monde. *Cahiers Agricultures* 15 (6) : 584-588.

DUGUE P., KONE F.R., KONE G., 2002. Gestion des ressources naturelles et évolution des systèmes de production agricoles des savanes de Côte d'Ivoire. Conséquences pour l'élaboration des politiques agricoles. *Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun.*

DUGUE P., VALL E., LECOMTE P., KLEIN H.D., ROLLIN D., 2004. Évolution des relations entre l'agriculture et l'élevage dans les savanes d'Afrique de l'Ouest et du Centre Un nouveau cadre d'analyse pour améliorer les modes d'intervention et favoriser les processus d'innovation. *OCL* 11 Numéro 4/5 juillet-octobre 2004, pp 268-276.

DUGUE P., VAYSSIERES., J, CHIA E, OUEDRAOGO S., HAVARD M., COULIBALY D., NACRO H B., SISSOKO F., SANGARE M., VALL E., 2012. L'intensification écologique : réflexions pour la mise en pratique de ce concept dans les zones de savane d'Afrique de l'Ouest *In* Recueil des Communications présentées au comité scientifique du DP ASAP « Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest » *Comité Scientifique du DP ASAP, janvier 2012, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 171p.*

FAO, 1996. L'évolution des systèmes de production agropastorale par rapport au développement rural durable dans les pays d'Afrique soudano-sahélienne. Collection FAO : Gestion des exploitations agricoles, 162p.

FAURE G., 2005. Valorisation agricole des milieux de savane en Afrique de l'Ouest : des résultats contrastés. *Les cahiers d'outre-mer*, Numéro 229 : 5-24.

GIEC, 2007 : Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de GIEC)]. GIEC, Genève, Suisse, 103p.

GUINKO S., 1985. La végétation et la flore du Burkina Faso, 18p.

HAMADOU S., KAMUANGA M., MARICHATOU H., KANWE A., SIDIBE A., PARE J., 2002. Diagnostic des élevages péri urbains de production laitière. Typologie des élevages de la périphérie de Bobo-Dioulasso. Étude Socio-économiques. Document de travail n°1, Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES), Burkina Faso, 56p.

HAMADOU S., SANOU Y., 2005. Synthèse bibliographiques sur les filières laitières au Burkina Faso. Document de travail n°3. ISRA-BAME, 53p.

HAVARD M., VALL E., LHOSTE P., 2009. Évolution de la traction animale en Afrique de l'Ouest et en Afrique du Centre. *Grain de sel (Le Dossier de Septembre-Décembre 2009)*, Numéro 48 : 15-16.

INSD 2007. Recensement Général de la Population et de l'habitat-1996. Fichiers des villages du Burkina Faso. Vo13, 315 p.

KAGONE H., 2001. Profil fourrager. FAO. Burkina Faso. 23p

- LANDAIS E., LHOSTE P., 1990. Association agriculture en Afrique intertropicale : un mythe techniciste confronté aux réalités du terrain. *Cahiers Sciences Humaines* 26 (1-2) : 217- 235.
- LHOSTE P., 1987. L'association agriculture-élevage. Évolution du système agropastoral au Sine-Saloum Sénégal. *Études et synthèses de l'IEMVT* 21, 314p.
- LHOSTE P., 2004. La traction animale en Afrique subsaharienne : histoire et nouveaux enjeux. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux Pays trop* 57 (3-4) : 125-131.
- LHOSTE P., HAVARD M., VALL E., 2010. La traction animale. *Agricultures tropicales en poche*. Quaes, France, 223p.
- MAMBILA G., 1999. Élevage laitier périurbain de Bobo-Ioulassa : système d'élevage, identification des basins laitiers, pratique de production laitière et gestion de la reproduction. Mémoire d'Ingénieur, Institut du Développement Rural / Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 94p.
- MCD (MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION ET DU DÉVELOPPEMENT), 1991. Mémento de l'agronome. Techniques rurales en Afrique. Quatrième édition. Paris, France, 1633p.
- MRE-CD (Ministère des Relations Extérieures -Coopérations et Développement), 1984. Collections « Techniques rurales en Afrique » Troisième éditions. Paris, France, 1604p.
- MIRECKI A., 2005. Étude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 170p + annexes.
- MRA, 2010. Politique Nationale de Développement Durable de l'Élevage au Burkina Faso 2010-2025. Ministère des Ressources Animales, Burkina Faso, Septembre 2010, 45p.
- MULTON B., 1998. L'énergie sur la terre : analyse des ressources et de la consommation. La place de l'énergie électrique. *Revue 3EI (Société de l'Électricité, de l'Électronique et des Technologie de l'Information et de la communication)*, France, pp.29-38.
- MULTON B., ROBIN G., RUELLAN M., BEN AHMED H., 2004. Situation énergétique mondiale à l'aube du 3^{ème} millénaire. Perspectives offertes par les ressources renouvelables. *Revue 3EI (Société de l'Électricité, de l'Électronique et des Technologie de l'Information et de la communication)* 2004, France, pp-20-33.
- NIANOGO A J., SOMDA J., 1999. Diversification et intégration interspécifique dans les élevages ruraux au Burkina Faso. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* 3 (3) : 133-139.
- PAGOT J., 1985. L'élevage en pays tropicaux. Techniques agricoles et productions tropicales. G.-P. Maisonneuve et La Rose, Paris, France, 526p.
- PAPY F., 2008. Le système de culture : un concept riche de sens pour penser le futur. *Cahiers Agricultures* 17 (3) : 263-269.
- PICARD J., 1999. Espaces et pratiques paysannes. Les relations élevage-agriculture dans deux terroirs cotonniers du Nord Cameroun. Tomes 1 & 2. Thèses d'université, géographie, USF de sciences sociales et administration, Université de Paris X- Nanterre, France, 539p.

PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement au sud du Sahara. Ministère de la coopération française et CIRAD/IRAT (Montpellier), 444 p.

PISON G., 2011. Sept milliards d'êtres humains aujourd'hui, combien demain ? Population et sociétés. Bulletin Mensuel d'Information de l'Institut National d'Études Démographiques (INED). N°482, octobre 2011, 4p.

PSRDO-CER (Projet Stratégie de la Réduction des Déchets de Ouagadougou-Création d'emplois et de Revenus par des actions de collecte, de tri et de valorisation) 2010. Rapport de l'étude A.3.1 : Réactualisation des données sur la problématique de la gestion des déchets dans la commune de Ouagadougou, 48p.

THÉWIS A., BOURBOUZE A., COMPÈRE R., DUPLAN J-M., HARDOIN J., COORDINATEURS., 2005. Manuel de zootechnie comparée Nord-Sud. AUF/INERA. Paris, France, 637p.

TOULMIN C., GUEYE B., 2003. Transformations de l'agriculture ouest africaine et rôle des exploitations familiales. International Institute for Environment and Development (IIED), Programme zone aride, Dossier Numéro123, 96p.

VALL E., 2006. Proposition de zonages agropastoraux de l'Ouest du Burkina Faso et de la province de Houet. Centre International de Recherche-Développement sur l'Élevage en zone Subhumide (CIRDES-URPAN), Burkina Faso, 70p.

VALL E., CHIA E., ANDRIEU N., BAYALA I., 2008. Role of partnership and experimentation for the co-design of sustainable innovations : The case of the West of Burkina Faso. In : Dedieu Benoît(ed.). Empowerpoint of the rural actors. A renewal of farming systems perspectives :8th European IFSA. Symposium? 6-10 July 2008, Clermont-Ferrand. [Cd-Rom]. Paris : INRA, 3p. IFSA European / Symposium 8, 2008, -07-06/2008-07-10, Clermont-Ferrand, France.

VALL E., KOUTOU M., BLANCHARD M., COULIBALY K., DIALLO M., ANDRIEU N., 2012. Intégration agriculture-élevage et intensification écologique dans les systèmes agrosylvo-pastoraux de l'Ouest du Burkina Faso *In* Recueil des Communications présentées au comité scientifique du DP ASAP « Intensification écologique et Conception des innovations dans les Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux de l'Afrique de l'Ouest» *Comité Scientifique du DP ASAP, janvier 2012, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.* 171p.

VEYSSET P., LHERM M., BEBIN D., 2010 - Energy consumption, greenhouse gas emissions and economic performance assessments in French Charolais suckler cattle farms: Model-based analysis and forecasts. *Agricultural Systems*. 103(1) : 41-50.

VIGNE M., 2007. Évaluation du bilan énergétique des exploitations bovines laitières de la Réunion. Rapport de stage Master 2 de « Biologie Géosciences Agroressources et Environnement. Spécialité Productions Animales en régions chaudes » Université Montpellier II, UFR Science et Techniques. France, 62p.

VIGNE M., BA A, COULIBALY D., DEMBELE B., 2012. Efficience énergétique des systèmes mixtes agriculture-élevage en zone périurbaine de Sikasso, Mali Sud *In* : Proceedings des 19^{ème} Rencontres Recherches Ruminants, Paris, pp 161-161.

YAMÉOGO C.R., 2005. Étude sur les créneaux porteurs au Burkina Faso. Ministère de l'Emploi du Travail et de la Jeunesse. PNUD/PRGE, Ouagadougou, Burkina Faso, 226p.

ZIDA/BANGRE H., 2009. Monographie de la commune de Bobo-Dioulasso. Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006. Ministère de l'Économie et des Finances, Ouagadougou, Burkina Faso, 107p.

ZOUNDI J.S., SAWADOGO L., NIANOGO A.J., 2003. Pratiques et stratégies paysannes en matière de complémentation des ruminants au sein des systèmes d'exploitation mixte agriculture-élevage du plateau central et du Nord du Burkina Faso. *Tropicultura* 21 (3) : 122-128.

WEBOGRAPHIE

BAKO D., 2011. Financement de l'agriculture et croissance agricole : cas du Burkina Faso. In Articles de la DPSAA à des conférences scientifiques, pp 3-24. <http://devel.sivs506.com/country/bfa/documents/docs/articles%20directions%20de%20la%20prospective%20et%20des%20statistiques%20agricoles%20et%20alimentaires%20%C3%A3%C2%A0%20des%20conf%C3%A3%C2%A9rences%20scientifiques.pdf> (consulté le 16 Février 2013).

BONNY S., 2010. L'intensification écologique de l'agriculture : voies et défis. Innovation and Sustainable Development in Agriculture and Food (ISDA), Montpellier, France, 11p. http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/52/61/54/PDF/Bonny_L_intensification.pdf (consulté le 10 Août 2012).

DÉRY B., 2007. Pérenniser l'agriculture. Mémoire pour la Commission sur l'avenir de l'agriculture. <http://www.caaaq.gouv.qc.ca/userfiles/File/MEMOIRE%281%2902-07-Saguenay-Dery,Patrick.pdf> (consulté le 15 Août 2012).

DEVIN B., 2006. Les énergies renouvelables pour faire quoi ? Les cahiers de Global Chance - N° 21 - mai 2006. <http://www.global-chance.org/IMG/pdf/GC21p40-48.pdf> (consulté le 15 Août 2012).

http://www.google.bf/#hl=fr&tbo=d&q=carte+du+burkina+faso+avec+les+provinces&revid=1678593596&sa=X&psj=1&ei=ltf_ULuLFMrLswaRj4CIBA&ved=0CHwQ1QIoAA&bav=on.2.or.r_gc.r_pw.r_qf.&fp=ef92de1475df1470&biw=1093&bih=498 (site d'extraction de la carte du Burkina Faso consulté le 05 septembre 2012).

LARDELLI M., 2009. L'énergie est le véritable moteur de l'économie. <http://www.pcfbassin.fr/Fichiers%20PDF/Energie/Energie%20est%20le%20veritable%20moteur%20economie.pdf> (consulté le 10 Août 2012).

MÉMENTO DE L'HYDROGÈNE., 2007. Situation mondiale de l'énergie. Fiche 2.1. <http://www.afh2.org/uploads/memento/Fiche%202.1%20situation%20mondiale%20rev.%20mars%202011.pdf> (consulté le 10 Août 2012).

ONU., 2011. La Planète pourrait compter 9,3 milliards d'habitants d'ici à 2050. <http://www.un.org/apps/newsFr/storyF.asp?NewsID=25156&Cr=population&Cr1> (consulté le 10 Août 2012).

PEETERS V., 2010. Les énergies renouvelables. http://www.coptocap.org/pdf_ecole/7-Energies-renouvelables-coptocap.pdf (consulté le 15 Août 2012).

PNUE (Programme des Nations Unies pour l'Environnement), 2011. TUNZA, le magazine du PNUE pour les jeunes TUNZA Vol 4 No 2 <http://www.ourplanet.com/tunza/issue0402fr/pdfs/complete.pdf> (consulté le 16 février 2013).

REARDON T., 1994. La diversification des revenus au sahel et ses liens éventuels avec la gestion des ressources naturelles par les agriculteurs. Présenté au séminaire CIRAD/FAO sur l'Agriculture durable dans la zone soudano-sahélienne, Dakar, 11-14 janvier 1994 (présenté par Josue DIONE de la part de REARDON) <http://www.aec.msu.edu/fs2/scans/mali/misc%2094-02.pdf> (consulté le 16 février 2013)

ROUSSEAU I., 2010. Introduction défis et enjeux des énergies fossiles au XXIème siècle. Sciences, CERI / CNRS. http://www.ceri-sciences-po.org/archive/2010/septembre/dossier/art_ir.pdf (consulté le 16 février 2013)

TANURO D., 2010. L'impossible capitalisme vert. <http://pcfbassin.fr/Fichiers%20PDF/Environnement/Impossible%20capitalisme%20vert.pdf> (consulté le 16 février 2013)

TISSOT B., 2001. Quel avenir pour les combustibles fossiles ? Les avancées scientifiques et technologiques permettront-elles la poursuite d'un développement soutenable avec les énergies carbonées ? <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1251805001016925> (consulté le 16 février 2013)

VALL E., DONGMO NGOUTSOP A., ABAKAR O., KENIKOU MOUNKAMA C., CHOUPAMON J, BEDOGO B., KOULMASSE K., 2002. La traction animale : une innovation en phase d'institutionnalisation, encore fragile. *Actes du colloque, 27-31 mai 2002, Garoua, Cameroun.* <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/14/29/89/PDF/T531Vall2.pdf> (consulté le 10 Août 2012)

WESTRA M.T., KUYVENHOVEN S., 2002. L'énergie fait tourner le monde. https://www.efda.org/wpcms/wp-content/uploads/2011/11/EPYW_fr.pdf (consulté le 10 Août 2012).

ANNEXES

ANNEXE 1. CALCUL DES COEFFICIENTS ÉNERGÉTIQUES

I. Calcul des coefficients bruts

1.1. Grains produits

1.1.1. Arachide, Sésame et Soja

Pour l'arachide, le sésame et le soja, on se base sur la teneur en énergie brute par kg de MS trouvé dans la littérature et les teneurs en matière sèche.

Valeur énergétique brute par unité de d'arachide, de sésame et d'arachide

Type de production	Valeur énergétique brute (kcal/kgMS)	Matière sèche (%)
Arachide	5600	90%
Sésame	5880	90%
Soja	9000	88%

Pour l'arachide, on a $5600 \times 90\% = 5040 \text{Kcal/kgMS}$.

Et $1 \text{kcal} = 4,18 \text{ MJ}$

On obtient alors les coefficients suivants pour les graines suivantes.

Arachide = **21,1 MJ/kgMS**

Sésame = **22,12 MJ/kgMS**

Soja = **33, 15 MJ/kgMS**

1.1.2. Coton

Pour le coton, on recherche la valeur énergétique du produit « coton » c'est-à-dire graine + fibre + huile + tourteaux. Selon l'INERA, 1 kg de graine « brute » se décompose après traitement en matière brute comme suit :

- 40 % de fibre
- 24 % coques
- 9 % huile
- 20.5 % tourteaux
- 6.5 % déchets

On va donc faire une moyenne pondérée des contenus énergétiques de chaque sous-produit (en considérant une valeur énergétique nulle pour les déchets car ils ne sont pas valorisés et ils n'ont pas de valeur dans la littérature).

Valeur énergétique des sous produits de la graine de coton

Type de sous-produits	Valeur énergétique brute (kcal/kgMS)
Fibres	4063
Coques	3893
Huile	9380
Tourteaux	4450
Déchets	0

On obtient une valeur de **18,02 MJ/kgMS**.

1.1.3. Autres grains

Les autres teneurs en énergie brute sont issues des tables Inra (INRA, 2007).

Maïs = **16, 14 MJ/kgMS**

Sorgho = **16, 31 MJ/kgMS**

Mil = **16, 46 MJ/kgMS**

Niébé = **16, 58 MJ/kgMS**

Riz = **15,73 MJ/kgMS**

1.2. Fourrages produits

Les teneurs en énergie brute des fourrages suivants sont issues des tables Inra (INRA, 2007).

Paille de Maïs = **13,93 MJ/kgMS**

Fanes de Niébé = 15,54 MJ/kgMS
 Paille de Riz = 14,32 MJ/kgMS
 Paille de sorgho = 17,62 MJ/kgMS

1.3. Fumier

On se base sur la valeur de 4266 kcal/kg MS donné par Richard et al. (1990) pour une valeur énergétique de fèces issues de bovins de Côte-d'Ivoire, du Niger et du Sénégal.
 On considère une teneur en MS des fumiers de 45 %, on obtient donc une valeur de 8.03 MJ/kg MS.

Références

INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux – Valeur des aliments. Tables Inra 2007. INRA, Paris, France.

RICHARD (D.), GUERIN (H.), FRIOT (D.), MBAYE (N.) 1990. Teneurs en énergies brute et digestible de fourrages disponibles en zone tropicale. Revue Elev. Méd vét. Pays trop., 1990, 43 (2) : 225-231

II. Calcul des coefficients fossiles

2.1. Carburants

On considère un coût de production et de transport jusqu'au port pour les carburants de 40.37 MJ/L pour l'essence et 41.17 MJ/L pour le gasoil (VIGNE, 2007).

Il faut ensuite ajouter le coût de transport en camion du port jusqu'à Bobo. Pour cela on considère 20 000L transporté/voyage avec une consommation du camion de 40L/100km (Bilan Carbone), et différentes origines (KABORÉ, 2007) :

- 31% de Côte d'Ivoire : distance Abidjan – Bobo = 880 km soit un coût en carburant de 0.69 MJ/L (1L de carburant=40.3MJ)
- 11% du Ghana : distance Accra – Bobo = 1100 km soit un coût en carburant de 0.86 MJ/L (1L de carburant=40.3MJ)
- 34% du Bénin : distance Cotonou – Bobo = 1500 km soit un coût en carburant de 1.18 MJ/L (1L de carburant=40.3MJ)
- 24% du Togo : distance Lomé – Bobo = 1300 km soit un coût en carburant de 1.02 MJ/L (1L de carburant=40.3MJ)

Pour obtenir 0,69MJ/L transporté de Côte d'Ivoire au Burkina Faso,

Le camion consomme en total 352L pour transporter 20 000L. Donc pour 1L transporté, il consomme 0,017L et comme 1L de carburant = 40,3 MJ, alors 0,017L consommé = 0,69MJ/L.

Le coût de transport moyen du port jusqu'à Bobo (moyenne pondérée selon l'origine) s'élève donc à $0,69*0,31+0,86*0,11+1,18*0,34+1,02*0,24 = 0.96$ MJ/L.

Enfin, il faut ajouter un coût de transport de Bobo jusqu'à Koumbia en dyna (mini car). On considère un trajet de 70km, une consommation du dyna de 7.2L/100km et une contenance de 500L (10 x 50L). Le coût de transport moyen de Bobo jusqu'à Koumbia s'élève donc à 0.40 MJ/L.

Le coût total s'élève à :

Essence : $40.37 + 0.96 + 0.40 = 41.73$ MJ/L

Gasoil : $41.17+0.96+0.40 = 42.53$ MJ/L

2.2. Électricité

Le coût de l'électricité est calculé selon le ratio énergie produite / (énergie produite + énergie primaire consommé).

La moyenne de l'électricité consommée au Burkina de 2006 à 2009 est disponible sur le site de la SONABEL.

Tableau récapitulatif de l'énergie consommée au Burkina Faso.

Type d'énergie	Moyenne (en kWh)
Énergie importée de la Côte d'Ivoire	135 887 387
Production thermique	504 996 225
Production hydroélectrique	115 078 638
Production totale	2 134 782 421

On considère une efficacité de production de l'énergie thermique de 30% et une consommation en énergie primaire nulle pour la production hydroélectrique.

L'efficacité de production de l'électricité en Côte d'Ivoire calculé à partir de ces hypothèses et de la production donnée par le site de CIE s'élève à 40%.

Type d'énergie	Production (en GWh)	Consommation primaire (en GWh)
Énergie hydraulique	2117	2 117
Énergie thermique	3641	12 136
Production totale	5758	14 253

La consommation d'énergie primaire pour la production d'électricité au Burkina Faso s'élève à :

Type d'énergie	Moyenne (en kWh)	Efficacité de production	Consommation primaire (en kWh)
Énergie importée de la Côte d'Ivoire	135 887 387	40 %	339 718 467,5
Production thermique	504 996 225	30 %	1 683 320 750
Production hydroélectrique	115 078 638	100 %	115 078 638
Production totale	755 962 249		2 134 782 421

On calcule donc l'efficacité de production de la production d'électricité au Burkina Faso. Elle s'élève à 35.4%.

Il faut donc 2.82 kWh en énergie primaire pour produire 1 kWh d'électricité soit **10.17 MJ/kWh** (1kWh = 3.6MJ)

2.3. Engrais

On considère un coût de production industriel donné par Gaillard et al. (1997) :

Type d'engrais	Coût énergétique	Unité
Urée	49.2	MJ/unité N
Autres N	43.0	MJ/unité N
Engrais P	11.4	MJ/unité P
Engrais K	8.1	MJ/unité K

On ajoute ensuite :

- un coût de transport maritime Asie-Abidjan de 13000km qui s'élève à 0.025 MJ/km.t (Risoud et Theobald, 2002) soit 0.325 MJ/kg.
- Un coût de transport en camion d'Abidjan à Bobo de 880 km qui s'élève à 0.85 MJ/km.t (Risoud et Theobald, 2002) soit 0.748 MJ/kg.
- Un coût de transport en camion de Bobo à Koumbia de 70 km qui s'élève à 0.85 MJ/km.t (Risoud et Theobald, 2002) soit 0.06 MJ/kg.

Compte-tenu de leur formulation (24-0-0 pour l'Urée et 12-20-15 pour le NPK), le coût total énergétique s'élève à :

Pour le NPK : $(0,325+0,748+0,06) (43,0*0,12+11,4*0,2+8,1*0,15) = 9,82$.

- NPK = **9,82 MJ/kg**
- Urée = **13,37 MJ/kg**

2.4. Phytosanitaires

Pour le calcul du coût énergétique des phytosanitaires on se base sur les coefficients donnés par (RISOUD et THEOBALD, 2002) et les concentrations en matière active issus de la littérature.

Dénomination	Concentration (g de matière active/L)	Coût énergétique (MJ/kgMA)	Coefficient énergétique (MJ/L)
Gramoxone	200	414	83
Touch Down	500	414	207
Round Up	360	414	149
Glifonet	360	414	149
Glycel	360	414	149.0
Action 80	800	414	331
Altram	500	414	207
Cotodon	700	414	290
Nicomais	40	414	17
Herbiriz	200	414	83
Herbicoton	440	414	182
Protector	500	414	207
Atrazine	450	414	186
Conquest	88	359	32

Pour le gramoxone, 200g MA/L signifient 1kgMA pour 5L et 1kgMA correspondent aussi à 414 MJ. Ainsi, on a le coefficient énergétique qui est égal à $414/5 = 82,8\text{MJ/L}$.

2.5. Résidus de culture

Pour calculer le coût énergétique des résidus de culture, on se base sur les itinéraires techniques du Maïs et du sorgho qui sont majoritairement les résidus les plus consommés (dire d'expert).

On considère un itinéraire technique moyen pour les 3 cultures calculé selon les enquêtes auprès des producteurs. On réalise alors un bilan énergétique à l'échelle de la culture en considérant les coefficients énergétiques calculés précédemment. Puis on sépare la consommation à l'hectare selon le ratio énergétique entre production de grain et de paille (rendement obtenu à dire d'expert).

Itinéraire technique du maïs

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	1L	149	149
Altram	2L	207	414
NPK	100kg	10.12	1012
Urée	50kg	11.89	594.5
TOTAL			2169.5

Méthode de calcul du coefficient énergétique

Productions	Quantité (kg/ha)	Pourcentage de MS	Quantité (kg MS/ha)	Énergie brute (kcal/kgMS)	Production énergétique (kcal)	Part des prod. énergétiques
Grain	1400	86,3%	1210	4463	5400230	49.8%
Paille	2500	52,4%	1310	4160	5449600	50.2%

On va donc imputer 50.2 % des entrées énergétiques pour la production de paille soit $50,2\% * 2169.2 = 1090\text{MJ/ha}$ et pour 1ha, on a $1090/1310 =$ soit un coût énergétique de **0.83 MJ/kg MS**.

On va imputer 49,8% des entrées énergétiques pour la production de graines soit 1080MJ/ha soit un coût énergétique de **0.89 MJ/kg MS**

Itinéraire technique du Sorgho

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	1L	149	149
TOTAL			149

Méthode de calcul

Productions	Quantité (kg/ha)	Quantité (kgMS/ha)	Energie brute (kcal/kgMS)	Prod. Energ. (kcal)	Part des prod. énergétiques
Grain	900	778.5	4502	3504807	23.0
Paille	3200	2720	4320	11750400	77.0

On va donc imputer 77.0% des entrées énergétiques pour la production de paille soit 115MJ/ha soit un coût énergétique de **0,04 MJ/kgMS**.

On va imputer 23% des entrées énergétiques pour la production de graines soit $34,27\text{MJ/ha}$ soit un coût énergétique de **0.04MJ/kg MS**

On considère que les résidus consommés sont principalement de la paille de maïs et du sorgho qui représente respectivement 70% et 30% de la quantité totale consommée.

On calcule une moyenne pondérée entre le maïs et le sorgho. Le coût énergétique des résidus s'élève donc à $0,83*30\% + 0,04*70\% =$ **0,59 MJ/kgMS**.

Itinéraire technique du niébé :

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	1L	149	149
TOTAL			149

Pour le niébé, n'ayant pas de valeur énergétique pour les fanes, on va se baser sur le ratio massique.

Ratio massique grain/fane du niébé

Productions	Quantité (kg/ha)	Part des prod. massiques
Grain	600	43%
Fane	800	57%

On va donc imputer 57% des entrées énergétiques pour la production de fane soit 84,93MJ/ha soit un coût énergétique de **0,11 MJ/kg MS**.

On va imputer 43.0% des entrées énergétiques pour la production de graine soit 64MJ/ha soit un coût énergétique de **0.11 MJ/kg**.

2.6. Semences

Pour les semences on adopte une méthodologie similaire aux résidus. Mais on calcule ici le coût imputable à la production de graines.

2.6.1. Maïs, Sorgho et Niébé

Pour le maïs, le sorgho et le niébé, l'itinéraire technique a été calculé précédemment. On peut donc calculer le coût énergétique des grains qui s'élève à **0.89 MJ/kg** pour le maïs, **0.04 MJ/kg** pour le sorgho et **0,11MJ/kg** pour le Niébé.

2.6.2. Coton local

Itinéraire technique du coton

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Herbicides totaux	0.9	149	134
Herbicides sélectifs	2.3	290	667
NPK	43	11.89	511
Urée	110	10.11	1113
TOTAL			2426

Méthode de calcul du coefficient énergétique

Productions	Quantité (kg/ha)	Energie brute (kcal/kg)	Prod. Energ. (kcal)	Part des prod. énergétiques
Grain	1718	4307	7399048	44.3
Paille	2353	3960	9317647	55.7

On va donc imputer 44.3% des entrées énergétiques pour la production de grain soit 1074MJ/ha soit un coût énergétique de **0.62 MJ/kg**.

2.6.3. Coton OGM

En l'absence de données sur le coton OGM on considère un coefficient énergétique égal à celui du lin donné par PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) soit **5.7 MJ/kg**.

2.6.4. Arachide

Itinéraire technique de l'arachide :

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	2L	149	298
TOTAL			298

Pour l'arachide n'ayant pas de valeur énergétique pour les fanes, on va se baser sur le ratio massique.

Ratio massique grain/fane de l'arachide

Productions	Quantité (kgMS/ha)	Part des prod. massiques
Gousses	700	47%
Fane	800	53%

On va donc imputer 47.0% des entrées énergétiques pour la production de paille soit 139MJ/ha soit un coût énergétique de **0.22 MJ/kg (90 %MS)**.

2.6.5. Riz

Itinéraire technique du riz

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
NPK	100 kg	10.12	1012
Glycel	6 L	149	894
TOTAL			1906

Méthode de calcul du coefficient énergétique

Productions	Quantité (kg/ha)	Energie brute (kcal/kg)	Prod. Energ. (kcal)	Part des prod. énergétiques
Grain	1250	3757	4696657	52.3
Paille	1250	3420	4275000	47.7

On va donc imputer 52.3% des entrées énergétiques pour la production de grain soit 1074MJ/ha soit un coût énergétique de **0.80 MJ/kg**.

2.6.6. Sésame

Itinéraire technique du sésame :

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	1L	149	149
TOTAL			149

Pour le sésame n'ayant pas de valeur énergétique pour la paille, on va se baser sur le ratio massique.

Ratio massique grain/paille de sésame.

Productions	Quantité (kg/ha)	Part des prod. massiques
Grain	400	16.7%
Paille	2000	83.3%

On va donc imputer 16.7% des entrées énergétiques pour la production de paille soit 25MJ/ha soit un coût énergétique de **0.06 MJ/kg**.

2.6.7. Mil

Itinéraire technique du mil :

Intrants consommés	Quantité (unité/ha)	Coef. énerg. (MJ/ L ou kg)	Coût énergétique MJ/ha
Glycel	1L	149	149
TOTAL			149

Pour le mil, n'ayant pas de valeur énergétique pour la paille, on va se baser sur le ratio massique.

Ratio massique grain/paille du mil

Productions	Quantité (kgMS/ha)	Part des prod. massiques
Grain	600	15.0%
Paille	3400	85.0%

On va donc imputer 15.0% des entrées énergétiques pour la production de paille soit 22MJ/ha soit un coût énergétique de **0.04 MJ/kg**.

2.6.8. Panicum

N'ayant pas de données sur l'itinéraire technique du Panicum on se base sur le coefficient énergétique donné par PLANETE (RISOU et THEOBALD, 2002) pour les semences de prairies soit **9.4 MJ/kg**.

2.7. Concentrés

2.7.1. Mélasse

On considère un coût de production de la mélasse de **2.765 MJ/kg** (VIGNE, 2007).

On calcule ensuite le coût du transport de la mélasse de Banfora à Koumbia. On considère une distance de 140km et un coût énergétique de 0.85 MJ/km.t (RISOU et THEOBALD, 2002). Le coût du transport s'élève donc à 119 MJ/t soit **0.119 MJ/kg**.

Le coût total s'élève donc à $2.765 + 0.119 = 2.884$ **MJ/kg**.

2.7.2. Drêches de brasserie

En l'absence de données précises on considère le coût énergétique donné par PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) qui s'élève à **0.3 MJ/kg**.

2.7.3. Maïs grain

On considère le même coût que la semence soit **0.77 MJ/kg**.

2.7.4. Son de céréales

A défaut de données précises sur l'origine, on considère le coût de production du maïs et un rendement de concassage au pilon de 61% pour les graines concassées et 39% pour le son (NDJOUENKEU et al., 1989). On multiplie donc le coût de production par 39% soit **0.30 MJ/kg**.

2.7.5. Tourteaux de coton

On va pondérer le coût de production de la graine de coton calculé initialement par la composition en différents sous-produits.

Selon la composition de 20.5% en tourteaux donné par l'INERA et le coût énergétique pour la graine de coton de 0.62 MJ/kg donné initialement, le coût énergétique du tourteau de coton s'élève donc à **0.127 MJ/kg**.

2.7.6. Son de blé

On considère que le son de blé vient d'Europe.

On prend en compte dans un premier temps le coût de production donné par PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) de **0.144 MJ/kg**.

On calcule ensuite le coût maritime. On considère une distance entre Brest et Abidjan de 5329 km et un coût de transport de 0.025 MJ/km.t soit un coût énergétique de **0.133 MJ/kg**.

On considère ensuite un transport routier en camion entre Abidjan et Bobo soit une distance de 880 km et un coefficient énergétique de 0.85 MJ/km.t. Le coût énergétique pour cette étape s'élève à **0.748 MJ/kg**.

Enfin on calcule un coût énergétique en Dyna entre Bobo et Koumbia soit une distance de 70 km et un coefficient énergétique de 0.85 MJ/km.t qui s'élève à **0.06 MJ/kg**.

Le coût énergétique total s'élève alors à **1,1 MJ/kg**.

2.8. CMV

2.8.1. Sel

On considère que le sel provient du Ghana (dire d'expert). En l'absence de données précises sur les processus de production du sel, on considère seulement le coût de transport soit 1170km et un coût énergétique de 0.85MJ/km.t (RISOUD et THEOBALD, 2002) ce qui résulte à un coût énergétique total de **0.99 MJ/kg**.

2.8.2. Pierre à lécher

On se base sur le coefficient énergétique donné par PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) (0.017MJ/F français) et un coût moyen de 1 kg = 656 FCFA = 6,56F français trouvé sur internet soit un coût énergétique de **0.11 MJ/kg**

2.9. Animaux

On considère arbitrairement un coût de production des animaux qui s'élève à 25% de leur contenu en énergie brute obtenu grâce à PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002). Cette valeur est sans doute surestimée à la vue des bilans obtenues chez les éleveurs peulhs (EE pouvant s'élever jusqu'à 20).

Type d'animal	Energie brute par kg vif (MJ)	Coût énergétique (MJ/kg vif)
Bœufs de traits	9.19	2.30
Bovin 0-1 an	6.11	1.53
Bovin 1-3 ans	9.08	2.27
Mâle 3 ans et +	9.19	2.30
Femelle 3 ans et +	9.08	2.27
Ovins	13.6	3.4
Caprins	6.11	1.53

2.10. Bâtiments

Pour les bâtiments, on considère que les bâtiments en bois ou banco ont un coût énergétique nul. Les autres valeurs sont issues de PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) ou VIGNE (2007).

Type de bâtiment	Coût énergétique	Unité	Références
Château d'eau	9800	MJ/unité	VIGNE (2007) : coef d'un silo
Etable bois	0	MJ/m ²	
Etable banco	0	MJ/m ²	PLANETE VIGNE (2007) : coef fosse à lisier
Etable en ciment	790	MJ/m ²	
Fosse en dure	268.5	MJ/m ²	
Fosse sans consolidation	0	MJ/m ²	
Hangar en bois	0	MJ/m ²	
Hangar en banco	0	MJ/m ²	
Hangar en ciment	790	MJ/m ²	
Laiterie	2970	MJ/m ²	
Parc en bois	0	MJ/unité	
Parc en fer barbelé	1015	MJ/unité	
Silo	395	MJ/unité	PLANETE PLANETE
			Bilan Carbone : coef fer ¹

2.11. Matériels

On considère des coefficients énergétiques identiques à ceux de PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002).

Type de matériel	Coefficient énergétique (MJ/kg)
Tracteur 4 Roues Motrices	91.9
Tracteur 2 Roues Motrices	95.7
Automotrices / Véhicules	83.5
Travail du sol	99.2
Autres	95.4

Type de matériel	Poids (kg)	Coef. énerg. (MJ/kg)	Coût énergétique total (MJ)	Coût énergétique par an (MJ : an) ²
Appareil à dos	10	95.4	954	80
Camion	3500	83.5	292250	24354
Charrette asine	60	95.4	5724	477
Charrette bovine	150	95.4	14310	1193
Tombereau	100	95.4	9540	795
Charrue	50	99.2	4960	413
Congélateur	80	95.4	6680	557
Corps butteur	40	99.2	3968	331
Ensileuse	1700	95.4	162180	13515
Fourgonnette	1500	83.5	125250	10438
Moto	80	83.5	6680	557
Remorque	1500	95.4	143100	11925
Sarcler	60	99.2	5952	496
Vélo	15	95.4	1431	119
Voiture	800	83.5	66800	5567

2.12. Autres frais

On considère les coefficients énergétiques donnés par PLANETE (RISOUD et THEOBALD, 2002) pour les frais vétérinaires (1.14 MJ/F français) et les frais d'élevage (0.76 MJ/F français).

Converti en FCFA, le coût énergétique s'élève à **0.0114 MJ/FCFA** pour les frais de vaccination et à **0.0076 MJ/FCFA** pour les frais de déparasitage et les frais d'insémination.

¹ On considère ici une bobine de 50kg pour 250 m et 2 lignes de fil soit pour un parc de 0.125ha (périmètre ~ 140m) approximativement 56 kg de fer

² On considère ici un amortissement moyen de 12 ans

Références

GAILLARD, G., CRETTEZ, P., HAUSHEER, J., 1997. Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale. Base de données pour l'établissement de bilans énergétiques et écologiques en agriculture. Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles, Tänikon, Suisse. 49 p.

KABORÉ P. E.J-C. , 2005. Bilan énergétique et maîtrise de l'énergie au Burkina Faso. 17p.

RISOUD B., THEOBALD O., 2002. Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. Annexe au document « Analyse énergétique d'exploitations agricoles et pouvoir de réchauffement global. Méthode et résultats sur 140 fermes françaises ». ENESAD de Dijon, ADEME. 43 p.

VIGNE M, 2007. Evaluation du bilan énergétiques des exploitations bovines laitières à la Réunion. Rapport de Stage CIRAD-UM II, 76 p.

Site internet de la SONABEL : <http://www.sonabel.bf>

Annexe 2. Questionnaire d'enquête individuelle

Partie I. Consommation énergétique de la ferme.

Enquête individuelle : Guide d'entretien dans une exploitation laitière.	
Enquêteur.....	Zone agro-écologique.....
Date de l'enquête.....	Commune.....
Fiche n°.....	Distance depuis le village : km

Identification du chef d'exploitation

Nom Religion
Ethnie Niveau d'instruction

Activités de la ferme

Activité principale : Agriculture Elevage Autre : préciser.....

Activités secondaires : Agriculture Elevage Autre : préciser.....

I. Les caractéristiques structurelles

1. Composition de la main d'œuvre familiale

	Prénoms	Liens de parenté	Actifs (travail sur l'exploitation)
Chef de ménage (>15ans)			
Autres hommes			
Femmes (> 15ans)			
Enfants (< 15ans)			

2. La main d'œuvre extérieure

Nom	Sexe	Age	Lieu de domicile	Type de travail

3. Les bâtiments

Type de bâtiments	Nb	Type de matériaux			Age (±20ans)	Superficie (Largeur x longueur)
		Bois	Banco	Ciment		
Etable 1						
Etable 2						
Hangar de stock du fourrage						
Salle du moteur						
Laiterie						
Château d'eau						
Silo						

Les fosses et parcs

	Localisation (cours ou champ)	Béton (oui ou non)	Largeur	Longueur	Profondeur	Age (±10ans)
Fosse 1						
Fosse 2						
Parc à bétail 1						
Parc à bétail 2						

4. Inventaire

Activités	Type de matériel utilisé	Nb	Age du matériel (±12ans)
Matériel agricole	Charrue		
	Corps butteurs		
	Semoir		
	Sarcler		
	Appareil à dos (herbicides)		
	Ensileuse		
	Hache paille		
Equipement de transport	Tracteur		
	Remorque pour tracteur		
	Voiture		
	Fourgonnette		
	Vélo		
	Moto		
	Camion		
Autres	Charrette Asine		
	Charrette Bovine		
	Tombereau		
	Congélateur		
	Réchaud (bouteille de gaz)		
	Fourneau à charbon		
	Pompe à eau manuelle		
	Pompe à eau moteur		
	Groupe électrogène		
Système d'énergie solaire			

Consommation d'énergie directe

Consommations de carburants par les petits véhicules (moto, voiture, fourgonnette)

Type de véhicule	Quantité de carburants consommés (en L)	
	Essence	Gasoil
Moto		
Voiture		
Fourgonnette		
Camion		
Tracteur		

Consommation d'électricité

Estimer la quantité d'électricité que vous avez consommée pour l'activité agricole .

II. Le troupeau (période de référence novembre 2009 à octobre 2010)

1. Composition du troupeau à la date d'aujourd'hui

Lots		Nb	Race (zébus, métis, taurins)
BDT			
BDE	Bv 0-1 an		
	Bv 1-3ans		
	Bovins males 3 ans +		
	Bovins femelles 3 ans +		
Ovins			
Caprins			
Asins			

2. Les aliments achetés pour le troupeau

Quantité d'aliments importés ou vendus sur l'exploitation pour les animaux ?

	Type	Quantité achetée	Quantité vendue	Lieu de livraison
Fourrages				
Concentrés				
CMV				

3. Mouvement du troupeau (2009-2010)

	Entrées			Sorties			
	Naissance	Achat	Confiage	Ventes	Vol	Mort	Confiage
BDT							
BDE							
Ovins							
Caprins							
Asins							

Production de lait

Quelle quantité de lait avez-vous produit et où l'avez-vous vendu ?

Saison	Lait trait (en L)	Lait consommé (en L)	Lait vendu (en L)	Lieu de vente (distance)	Fréquence de vente (nb de fois/semaine)	Véhicule Utilisé
SSF (nov20 09 – fev 2010)						
SSC (mars 2010 – avr 2010)						
Hivernage (mai 2010 –oct 2010)						

4. Transhumance

Combien de bergers guident le troupeau pendant la transhumance ? _____

Nombre de jour de transhumance

5. Main d'œuvre au niveau de l'élevage

Pouvez-vous décrire une journée moyenne de travail lié au troupeau pour chaque saison en détaillant le type de travail, la MO impliquée et son origine (familiale ou extérieure) ?

Saison 1,2,3.

Activités	Plage d'heure de la journée.

6. Les frais engagés par le troupeau pour les soins sanitaires et l'insémination artificielle (FCFA)

III. L'agriculture

1. Le plan parcellaire

Matérialiser les différents champs sur la figure suivante (indiquer des points de repères géographique, nord, sud, est ouest et éléments marquants du paysage)

Champs (surface)	Parcelles (N°)	Culture 2010	Superficie 2010	Distance de la concession (km)	Commentaires
1					
2					

2. L'itinéraire technique des parcelles

Catégories d'intrants	Type	Quantité	Lieu d'achat (village, marché, ...)
Semences			
Herbicides totaux			
Herbicides sélectifs			
Engrais			
Insecticide			

Le Parcage :

Parquez-vous des animaux sur vos champs ?

Champ	Nb de jour de parcage	Nb d'animaux parqués	Nb de fois du déplacement des parcs	MO utilisée		
				Hommes	Femmes	enfants
1						
2						

Combien de temps cela prend-il pour déplacer un parc ? _____ Heures

3. La Fumure organique (déposée au champ) :

Champ	Nb de charrettes/camions/tracteurs	Durée pour une charrette (chargement, déplacement et déchargement) (en h ou mn)	Nb d'animaux	MO utilisée		
				Hommes	Femmes	Enfants
1						
2						

4. Les intrants des cultures

Comment se fait généralement le transport des intrants depuis le lieu d'achat (village, marché) jusqu'à l'exploitation, au champ ?

Transport par les personnes

Transport en charrette tirée par les animaux (nb de personnes avec les animaux : _____)

Mobylette (nb de sacs à chaque voyage : _____)

Tracteur

Quel quantité pour les différents intrants avez vous achetés ou pris à crédit? Où les avez-vous achetés ?

Les itinéraires techniques par culture

Type de culture.

Nombre ha

	Main d'œuvre humaine			Main d'œuvre animale			Intrants
	Nb personnes	Nb de jours	Heures/jour/ha	Nb animaux	Nb de jours	Heures/jour/ha	
Labour							
Semis							
Resemis							
Herbicides							Qté herbicide/ha Type :
Désherbage manuel							
Sarclage							
Buttage							
Apport NPK							Nombre de sacs
Apport Urée							Nombre de sacs
Traitement insecticides							Nombre de traitements
Récolte							

5. La récolte

Cultures	Quantité produite totale (kg ou en nombre de sacs de 100 kg)	Autoconsommation (kg)	Vente (kg)
1			
2			

Avez-vous stocké une partie de vos résidus de cultures ? En avez-vous vendu ?

Type de résidus	Quantité stockées (nb de charrettes)	Origine (champ 1,2,...)	Quantité vendue (nb de charrettes ...)
1			
2			

IV. Gestion de la fumure organique

Combien de temps faut-il pour remplir une fosse ?

	Nb de personnes	Nb d'animaux	Nb de jrs	Nb d'h/j
Remplissage des fosses (vidange des étables et des parcs)				
Le retournement du compost				

Partie II. Intégration agriculture-élevage

Production de fumure organique

Avez-vous produit de la fumure organique ?

Si oui, quel type ? Donnez les lieux de production et la quantité obtenue.

Fosses fumières

Nro de la fosse	1	2	3	4
Localisation de la fosse				
Quantité obtenue (charrettes)				
Niveau de remplissage				
Type de charrette				

Terre de parc (fumier transporté directement sur le champ sans compostage)

Numéro du parc	1	2	3
Quantité obtenue (charrettes)			
Niveau de remplissage			
Type de charrette			

Stockage de fourrage

Avez-vous stocké du fourrage pour vos animaux ?

Si oui, donnez le type de résidus stocké ? La quantité stockée.

	Nbre de charrette ou tracteurs	Type de charrette ou remorque (contenance si possible)
Coton		
Maïs		
Sorgho		
Mil		
Arachide		
Poids de terre		
Niébé		
Sésame		
Riz pluvial		
Paille naturelle		
Autres		

Possession d'animaux de trait

Avez-vous des animaux de trait ? Donnez leur nombre ?