



PROCÉDÉ DURABLE DE PRODUCTION DU BEURRE DE KARITÉ

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE
DE
MASTER

**SPÉCIALITÉ GÉNIE ÉLECTRIQUE ET ÉNERGÉTIQUE
OPTION : ÉNERGIE RENOUVELABLE**

Présenté et soutenu publiquement le 17 janvier 2020

Par

Lassina DAVOU (2014 0479)

**Directeur de mémoire : Dr.-Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (HDR),
Maître-Assistant CAMES.**

Encadrant 2iE : Dr. Daniel YAMEGUEU NGUEWO, Maître-Assistant CAMES.

**Maître de stage : Sonia NADIA NARE, Responsable des affaires économique et sociales
de l'Association Songtaab-Yalgré.**

Structure d'accueil interne : Laboratoire Énergie Renouvelable et Efficacité Énergétique
(LabEREE) du 2iE

Structure d'accueil externe : Association Songtaab-Yalgré (ASY)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr. Marie TIEMTORE/SAWADOGO, Maître-Assistant CAMES

Membres et correcteurs : Dr.-Ing. Sayon SIDIBE, Maître-Assistant CAMES
Dr.-Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (HDR), Maître-
Assistant CAMES

Promotion [2019/2020]

DÉDICACES

Au nom d'ALLAH, le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

Je dédie ce mémoire aux personnes les plus importantes de ma vie, ma famille.

À la mémoire de mes parents bien aimés, mon père et ma mère.

À la mémoire de ma sœur bien aimée Alimata DAVOU.

À mon frère Moussa et mes sœurs, Salamata, Fatoumata, Aminata et Mamou. Mon amour pour vous dépasse les mots.

À tous mes amis et proches parents qui de près ou de loin attendent de moi ce résultat.

CITATION

« Je ne pense pas qu'il existe une autre qualité aussi essentielle au succès que la qualité de la persévérance. Elle surmonte presque tout, même la nature. »

~John D. Rockefeller

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je remercie tout d'abord ALLAH (SWA), le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux pour sa bénédiction et par la grâce de qui ce travail a été accompli.

J'adresse mes sincères remerciements à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2iE) pour nous avoir donné une formation de qualité.

Mes remerciements vont également à l'endroit de :

- Mon directeur de mémoire : Dr.-Ing. habil. Kokouvi Edem N'TSOUKPOE (HDR), Maître-Assistant CAMES pour sa disponibilité, son encadrement, la confiance qu'il m'a accordée, les efforts et pour le soutien qu'il m'a témoigné tout au long de ce stage ;
- Mon encadreur pédagogique : Dr.-Ing. Daniel YAMEGUEU NGUEWO, Maître-Assistant CAMES, pour sa disponibilité, son encadrement et son soutien ;
- Toute l'équipe de l'Association Songtaab-Yalgré pour leur formidable accueil et leur collaboration ;
- Mon maître de stage : Madame Sonia NADIA NARE, Responsable des affaires économiques et sociales de l'Association Songtaab-Yalgré pour son encadrement et sa disponibilité. ;
- Madame Nicole Wen Yam OUEDRAOGO, présidente de l'Association Songtaab-Yalgré pour m'avoir accordé ce stage au sein de son association ;
- Mon frère : Moussa DAVOU, Directeur du Département des Opérations et des Systèmes d'Information à la Bourse Régionale des Valeurs Mobilières (BRVM) pour son soutien dans mes études, sa disponibilité et la confiance qu'il continue toujours de m'accorder, merci ;
- Monsieur Jacky K. AFANOU, pour son aide dans la recherche de mon stage, pour sa disponibilité, son soutien et sa bonne foi, toujours prêt à m'aider, merci ;
- Monsieur Innocent TANKOANO et monsieur Mahamadou SIDI pour leurs disponibilités et leurs aides dans la détermination de la teneur en eau et du PCI des boues de barattage au LabEREE ;
- Mes sœurs Aminata, Fatoumata, Mamou et Salamata pour leurs soutiens et leurs encouragements ;
- Enfin tous ceux et celles qui d'une façon ou d'une autre, ont apporté leur pierre à cet édifice, en particulier Monsieur Corneille GBOYOU, Monsieur Hector K.S. TETE, Monsieur François YAMEOGO, Madame Tonde Jeanne, les huit (08) femmes avec qui j'ai travaillé pendant la production du beurre de karité.

RÉSUMÉ

Le karité (*Vitellaria paradoxa* ou *Butyrospermum parkii*) de la famille des sapotacées, est une plante qui peut produire en moyenne 15 à 20 kg de fruits frais par an dont les amandes contiennent une graisse appelée beurre de karité. L'extraction de cette graisse passe par un procédé traditionnel qui varie d'une région à une autre et d'un pays à un autre. La majorité des procédés traditionnels utilise une quantité importante de bois. Cependant pour les pays du Sahel comme le Burkina Faso, le bois est une ressource rare et sa consommation abusive réduit le couvert forestier, favorisant l'avancée du désert. Cette étude a pour objectif général de rendre plus durable le procédé de production du beurre de karité par l'augmentation de son efficacité énergétique et l'introduction éventuelle de sources d'énergie renouvelables. Les résultats de nos travaux ont montré une consommation importante en énergie. En effet pour la production de 1 kg de beurre de karité il faut 1,365 kg de bois, 0,073 kg gaz et 0,277 kWh d'électricité. Nos observations ont mis en exergues d'autres points de faiblesses, tels l'utilisation des foyers en banco présentant des fissures et de larges ouvertures à l'avant pouvant entraîner la consommation élevée en bois. Aussi le séchage des amandes après le concassage et la torréfaction sont effectués en 1 jour au lieu de 2 recommandé dans la littérature. De plus une consommation importante en eau a été relevé lors de la production, soit 13,214 l pour 1 kg de beurre de karité produit. Les boues de barattage ont été analysées en tant que biocombustible de substitution au bois. Suite à ces résultats des pistes d'amélioration ont été envisagées. L'introduction des boues de barattage et la reconstruction des foyers améliorés permettent de réduire la consommation en bois de 1,365 à 1,249 kg et de préserver 20,14 m² de couvert forestier pour 1 kg de beurre produit. Aussi l'introduction d'un décanteur permet d'économiser jusqu'à 2,87 l pour 1 kg de beurre produit. Il permet également d'utiliser 10,33 l d'eaux impures issu du processus de production pour l'irrigation des cultures. L'introduction de ces améliorations dans le procédé de production nécessitent un investissement 1 573 320 FCFA qui est rentable à la première année avec une économie de 7 374 FCFA. L'introduction du photovoltaïque connecté réseau permet d'économiser annuellement 667 701 FCFA.

Mots clés :

- 1 – Énergie
- 2 - Karité
- 3 – Optimisation énergétique
- 4 – Séchoir solaire
- 5 –Valorisation des sous-produits

ABSTRACT

Subject: Sustainable process of shea butter production.

Shea (*Vitellaria paradoxa* ou *Butyrospermum parkii*), from the Sapotaceae family, yields 15 to 20 kg fruits per year, with an oil seed from which is extracted a butter called “shea butter”. The traditional process used to extract to butter varies depending on the territory or the country and is very wood consuming.

The excessive and abusive consumption of wood in Sahelian countries such as Burkina Faso where it is a rare resource reduces the forest cover and significantly contributes to the advance of the desert.

The main goal of this study is to make the production process of shea butter more sustainable by increasing its energy efficiency and utilizing the relevant renewable energy sources. The outcomes show massive consumption of energy. To produce 1 kg of shea butter we need 1.365 kg of wood, 0.073 kg of gas and 0.277 kWh of electricity. Our observations highlighted other weaknesses such as utilization of cracked stoves with a large orifice at the front which can cause a high consumption in wood. The seed drying process, after the crushing and roasting process, being done in one day instead of two as recommended in literature. We also funded an important consumption in water (13.214 l of water to produce 1 kg of butter).

Our work consisted of proposing shea wasted briquettes from the dirty water fraction as bio combustible to substitute woods. From the primary results, more investigation was done to find ways of optimization, as well as the reconstruction of the stove. The findings are reduced wood consumption by 1.249 kg resulting in potentially preserving 20.14 m² of forest cover when producing 1 kg of butter. The use of a settling tank helps saving 2.87 l when producing 1 kg of butter and allows for 10.33 l left to irrigate the field. To make those optimizations we need 1 573 320 FCFA which is profitable at the first year with an economy of 7 374 FCFA. The use of solar panel allows us to economize 667 701 FCFA annually.

Key words:

- 1 - Energy**
- 2 - Shea**
- 3 - Optimization**
- 4 – Solar dryer**
- 5 – Using of shea wasted**

LISTE DES ABRÉVIATIONS

2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
ASY	:	Association Songtaab-Yalgré
CIRAD	:	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNUCED	:	Conférence des Nations Unies sur le Commerce et le Développement.
ECOCERT	:	Société de contrôle et de certification
EnPoGen	:	Energy Poverty and Gender.
EPI	:	Équipement de Protection Individuelle
ESIP	:	École nationale Supérieure d'Ingénieurs de Poitiers
ESRI	:	Énergie solaire et réseaux intelligents
GRET	:	Groupe de Recherche et d'Échanges Technologiques
NBF	:	Norme du Burkina Faso
NF	:	Norme Française
MPP	:	Maximum Power Point
ONATEL	:	Office National des Télécommunications
ONG	:	Organisation Non Gouvernementale
PCI	:	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS	:	Pouvoir Calorifique Supérieur
PV	:	Photovoltaïque
PFNL	:	Produits Forestier Non Ligneux
SNV	:	Organisation néerlandaise de développement
UCL	:	Université Catholique de Louvain
VALBIO	:	Valorisation Énergétique de la Biomasse
VAN	:	Valeur actuelle Nette

SOMMAIRE

DÉDICACES	
CITATION.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RÉSUMÉ.....	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS	vi
SOMMAIRE	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES.....	x
INTRODUCTION.....	1
1.1 Contexte, justification et objectifs.....	1
1.2 Présentation des structures d'accueil.....	3
1.2.1 Laboratoire d'Énergie Renouvelable et Efficacité Énergétique (LabEREE) du 2iE	3
1.2.2 Association Songtaab-Yalgré (ASY).....	4
1 REVUE DE LA LITTÉRATURE	5
1.1 Différents procédés traditionnels de production du beurre de karité.....	5
1.2 Préparation du beurre de karité.....	9
1.3 Principaux travaux réalisés sur l'analyse et l'optimisation énergétique du processus de production du beurre de karité	11
1.3.1 Travaux réalisés au Burkina Faso.....	11
1.3.1 Travaux réalisés au Ghana	12
2 MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	16
2.1 Matériels.....	16
2.2 Méthodes	17
2.2.1 Méthode d'étude.....	17
2.2.2 L'analyse financière.....	20
2.2.3 Système photovoltaïque connecté réseau.....	22
2.2.4 L'impact environnemental	23
3 RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	24
3.1 Résultats	24
3.1.1 Processus de production du beurre de karité de l'ASY	24

3.1.2 Quelques ratios	32
3.1.3 Potentiel énergétique des boues de barattage	33
3.1.4 Résultats financiers	34
3.2 Discussion	35
3.2.1 Analyse des résultats	35
3.2.2 Pistes d'optimisation du procédé de production du beurre de karité.....	38
3.2.3 Analyse financière.....	46
3.2.4 Proposition d'une chaîne de production.....	46
CONCLUSION- PERSPECTIVES	48
RECOMMANDATIONS.....	49
BIBLIOGRAPHIE.....	I
ANNEXES.....	IV

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Résumé du processus de production du beurre de karité (Sachibu et Enno, 2013)	14
Tableau 2 : Rapport des dépenses et revenus de 87 kg d'amande (Sachibu et Enno, 2013)....	15
Tableau 3 : Ratios issus de l'étude (Sachibu et Enno, 2013).....	15
Tableau 4 : Ratios obtenus pour 1 kg de beurre produit	32
Tableau 5 : Capacité horaire des équipements	33
Tableau 6 : Bilan financier	34

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Répartition géographique du karité en Afrique (Rousseau et al. 2015)	1
Figure 2 : Différents procédés d'obtention d'amande de karité (Lebert 2005; Aboubakar et al. 2009; Ahouannou et al. 2013; Eminakpo 2013; Sachibu et Enno 2013; Kpegba et al. 2017)... 6	6
Figure 3: Différents procédés d'obtention du beurre de karité (Saussey et al., 2006; Yokadjim 2006; Aboubakar et al. 2009; Saussey 2011; Son et al., 2012; Ahouannou et al., 2013; Eminakpo , 2013; Kpegba et al., 2017).	7
Figure 4 : Conditionnement du beurre au Bénin (Eminakpo, 2013).....	11
Figure 5 : Processus de production du beurre de karité de ASY.....	24
Figure 6 : Opération de lavage et séchage.....	25
Figure 7 : Résumé schématique de l'opération de lavage et de séchage	25
Figure 8 : Résumé schématique de l'opération de concassage	26
Figure 9 : Séchage des amandes concassées	26
Figure 10 : Résumé schématique de l'opération de séchage et torréfaction.....	27
Figure 11 : Résumé schématique de l'opération de séchage et de mouture	27
Figure 12 : Résumé schématique de l'opération d'imprégnation.....	28
Figure 13 : Résumé schématique de l'opération de battage énergétique de la pâte	28
Figure 14 : Obtention de l'écume et des boues de barattage	29
Figure 15 : Résumé schématique de l'opération d'obtention de l'écume.....	29
Figure 16 : Résumé schématique de l'opération de lavage de l'écume.....	30
Figure 17 : L'opération de filtration et les résidus obtenus	30
Figure 18 : Résumé schématique de l'opération de cuisson de l'écume.....	31
Figure 19 Résumé schématique de l'opération de lavage de l'huile	31
Figure 20 : Résumé schématique de la cuisson de l'huile	32
Figure 21 : Fûts de 200 l contenant du beurre de karité biologique.....	33
Figure 22 : Part financier de l'électricité, du gaz et du bois dans la consommation énergétique	35
Figure 23 : Cuisson de l'écume	37
Figure 24 : Part énergétique de l'électricité, du gaz et du bois,.....	38
Figure 25: Séchoir solaire tunnel en Banco	40
Figure 26 : Boule de boue de barattage pour combustion.....	41
Figure 27 : Foyer en banco en mauvaise état.....	41
Figure 28 : Plan de la station de décantation.....	42

Figure 29: Système photovoltaïque connecté au réseau..... 44

Figure 30: Temps de retour sur investissement sur 20 ans en considérant les améliorations
..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 31 : Nouvelle chaîne de production en intégrant les améliorations..... 47

INTRODUCTION

1.1 CONTEXTE, JUSTIFICATION ET OBJECTIFS

Le karité (*Vitellaria paradoxa* ou *Butyrospermum parkii*), également connu sous les appellations « arbre à beurre » ou « or vert des femmes », est un arbre décrit pour la première fois par l'Écossais Mungo Park. C'est en 1776 qu'il le rapporta à la famille des sapotilliers appelée aujourd'hui famille des sapotacées. Puis en 1797, il énuméra les principales applications du beurre de karité dans l'ouvrage « Travels in the interior of Africa ». Cet arbre bicentenaire, pousse naturellement et exclusivement en Afrique dans la zone soudano-sahélienne (De Poncins, 2005; Badini et al., 2011). Sa zone de production (Figure 1) s'étend sur une ceinture de 5 000 km de long, de la Gambie en Ouganda (Rousseau, Gautier et Wardell, 2015).

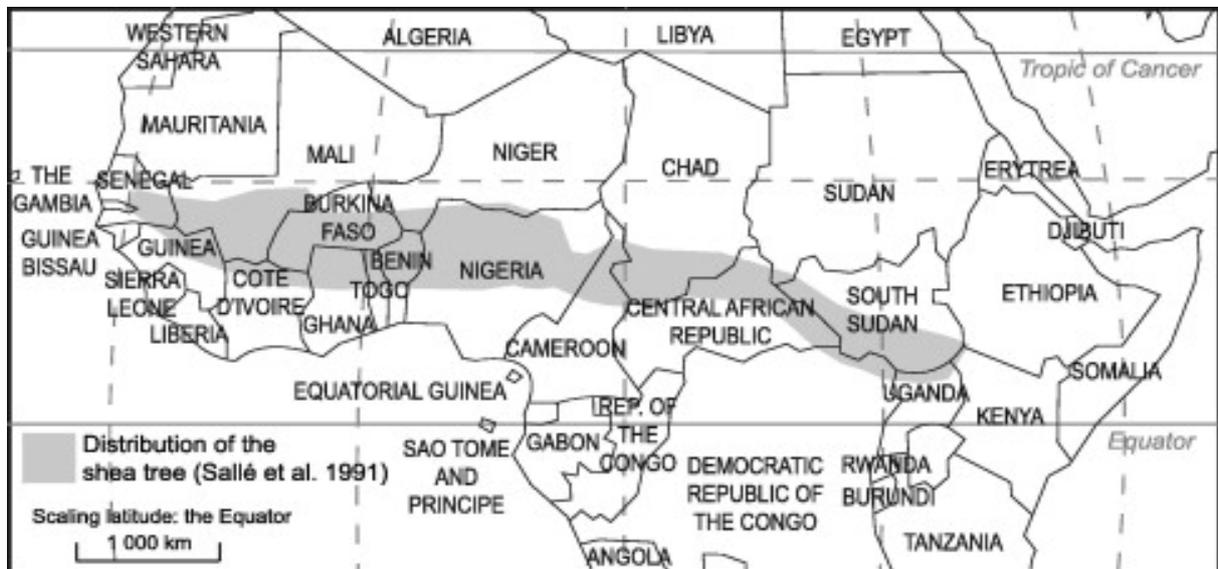


Figure 1 : Répartition géographique du karité en Afrique (Rousseau et al. 2015)

Seize pays produisent le karité. Il s'agit du Burkina Faso, de la Côte d'Ivoire, du Mali, du Niger, du Bénin, du Togo, du Sénégal, du Nigéria, du Ghana, de la Gambie, de la Guinée, du Cameroun, de la République Centre Afrique, du Tchad, de l'Ouganda et du Soudan. Un arbre peut produire en moyenne 15 à 20 kg de fruits frais par an, soit 3 à 4 kg d'amandes commercialisables (Brondex, 1999; De Poncins, 2005).

Depuis sa découverte, le karité a créé un commerce lucratif en Afrique. En effet, la production de noix de karité a fortement augmenté à partir des années 1960. Elle est passée de 169 000 t environ en 1961 à 648 500 t en 2003 (De Poncins, 2005). Aussi, dans la même période, la production du beurre de karité a fortement augmenté (30 000 t à 180 000 t) (De Poncins 2005). En 2003, le Nigéria était considéré comme le plus grand producteur du beurre de karité (73%)

et le plus grand exportateur de noix de karité (57%). Au Burkina Faso, la production d'amande de karité passa de 28 664 t en 2004, à environ 69 000 t en 2010. Ensuite, elle évolua pour atteindre 333 800 t en 2011 faisant ainsi du Burkina Faso le 2^{ème} producteur mondial d'amande de karité (Bambio, 2016) et 3^{ème} exportateur mondial du beurre de karité. L'augmentation des productions de noix et beurre de karité au cours des 20 dernières années dans le monde, a été fortement impactée par la décision¹ prise par l'Union Européenne d'incorporer 5% du beurre de karité dans la fabrication du chocolat (De Poncins 2005; Rousseau et al. 2015). Cela a également conduit à l'apparition de nouveau marché comme l'Europe de l'Est, la Russie, le Brésil, et l'Océanie (Rousseau et al., 2015).

Malgré ce marché émergeant en Afrique, la filière karité reste handicapée par le manque de moyens et matériels adéquats pour son développement. En effet, le processus de production utilisé est très souvent une méthode traditionnelle sans une innovation particulière. Certes, certaines étapes de production ont été mécanisées notamment le concassage, la mouture, et récemment le barattage. Cependant quel que soit le degré de mécanisation, la méthode traditionnelle a un impact environnemental non négligeable, en ce sens qu'elle est très énergivore et nécessite une importante quantité de combustible qui est le plus souvent du bois. La technique par barattage et celle par cuisson de la pâte par exemple, techniques les plus répandues au Burkina Faso, utilisent une grande quantité de bois pendant la longue durée de chauffage (Saussey, Moity-Maizi, et Muchnik 2006; Zalle 2008). Dans ces deux techniques, les étapes les plus consommatrices en bois sont : la torréfaction, le chauffage de l'eau, la cuisson de la pâte, la cuisson de l'émulsion et le chauffage du beurre lors du conditionnement. Au Mali, le bois de chauffe est surtout utilisé lors du séchage des noix, pendant la cuisson des amandes et le moulage du beurre. Ainsi, selon Brondex (1999), il faut environ 0,3 m³ de bois pour sécher 75 kg de noix fraîches. En outre, les technologies utilisées pour la combustion ne sont toujours pas adaptées, occasionnant ainsi des pertes énormes d'énergie. C'est l'exemple des foyers à trois pierres et des torréfacteurs non adéquats. Les foyers à trois pierres ont un très mauvais rendement énergétique. La plus grande partie de l'énergie dégagée est perdue par rayonnement, par fumées ou à cause du vent et il ne reste comme équivalent calorifique utilisé pour chauffer l'eau, qu'à peine 5% de l'énergie initiale (Dabat, Blin, et Rivier, 2010). Aussi, cette consommation élevée en bois s'accompagne, d'une déforestation et d'une émission importante en dioxyde de carbone avec à l'appui des maladies liées à la respiration des fumées toxiques.

¹ Directive 2000/36/CE, appliqué le 3 Août 2003

De plus, tout au long du processus, l'eau est incontournable car elle intervient dans le lavage des amandes, de l'émulsion et du matériel.

Au total il faut noter que la filière karité traditionnelle fait face à de multiples problèmes, à la fois environnementaux, techniques, et sociaux : la pression sur la ressource en bois de feu, qui se traduit par la pénibilité de la recherche du bois de plus en plus loin du village ou par des dépenses importantes à l'achat (Achada, 2015) ; des torrificateurs et foyers non adéquats ; les maladies respiratoires causées par les fumées de foyers (Achada, 2015). Il paraît donc essentiel pour l'avenir de cette filière de rationaliser les processus de transformation et l'utilisation raisonnée et durable des ressources énergétiques. C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude intitulée « procédé durable de production du beurre de karité » dont l'objectif général est de rendre plus durable le procédé de production du beurre de karité. Ceci passe par l'augmentation de son efficacité énergétique et l'introduction éventuelle de sources d'énergie renouvelables.

Il s'agit de façon spécifique :

- D'analyser le procédé actuel de production du beurre de karité ;
- D'identifier les possibilités d'amélioration de l'efficacité énergétique de ce procédé ;
- D'identifier les possibilités de valorisation d'une ou des formes d'énergie renouvelable ;
- Et de proposer une chaîne de fabrication intégrant ces améliorations.

Le présent mémoire s'articule autour de 3 grands principaux points :

- Le premier point présente la revue de la littérature ;
- Le second point présente le matériel et la méthodologie utilisés ;
- Et le dernier point présente les résultats et la discussion.

1.2 PRÉSENTATION DES STRUCTURES D'ACCUEIL

1.2.1 Laboratoire d'Énergie Renouvelable et Efficacité Énergétique (LabEREE) du 2iE

Le LabEREE (Laboratoire d'Énergie Renouvelable et Efficacité Énergétique) est l'un des trois laboratoires de recherche de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE). Son objectif est de : Développer des solutions innovantes adaptées aux besoins énergétiques des pays Africains à travers les énergies renouvelables et l'optimisation des systèmes de production d'énergie ; de trouver des solutions optimales en matière d'intégration énergétique pour une valorisation efficace des ressources localement disponibles. Il se concentre sur 2 axes de recherches à savoir : Énergie solaire et réseaux intelligents (ESRI) et Valorisation Énergétique de la Biomasse (VALBIO). Il est constitué de 1 professeur associé, 9 enseignants chercheurs, 3 enseignants, 2 techniciens de laboratoires, 1 assistant d'enseignement

et de recherche et de 10 doctorants. Il possède des partenaires scientifiques (Cirad, UCL, etc.), des partenaires industriels (TOTAL, SONABEL, etc.) et des ONG (Woord en Daad).

1.2.2 Association Songtaab-Yalgré (ASY)

L'Association Songtaab-Yalgré (ASY) est née grâce à la volonté d'une brave femme du nom de Feu Ouedraogo née Djigma Marceline, ex agent de l'ONATEL de réunir les femmes du secteur n°9 pour développer des microprojets en vue d'améliorer les conditions de vie des femmes en milieu rural et urbain. En effet, elle a constaté que les femmes des villages de sa famille et belle-famille vivent grâce aux revenus tirés de la production et transformation de produits forestiers non ligneux et qu'elles font face à des difficultés liées à la méconnaissance des bonnes pratiques de production, transformation et aux difficultés d'accès aux marchés à cause de leurs faibles niveaux d'instruction et d'accès à l'information. Afin d'aider les femmes à améliorer leurs revenus et à venir à bout de leurs difficultés, l'Association Songtaab-Yalgré (ASY) a été mise en place le 23 Octobre 1998. Elle a une envergure nationale et dispose d'un siège social à Ouagadougou.

En 2010 ASY, comptait 7 groupements avec un total d'environ 1 200 femmes spécialisés dans la collecte, transformation et production de produits agroalimentaires et cosmétiques à base de produits locaux (sésame, miel, karité). Elle a atteint les résultats suivants :

- une capacité de transformation de 500 t de noix de karité et de 100 t de sésame en 2018 ;
- plus de 980 femmes vivent directement des revenus de la production et de transformation du beurre de karité et du sésame ;
- plus de 5 000 000 FCFA sont investis chaque année pour la certification, le renouvellement du matériel de transformation et les aménagements.

L'association compte à nos jours (2018), 1 200 femmes et 7 hommes, soit un total de 1 207 membres.

Son objectif principal est d'améliorer les conditions de vie des femmes, des jeunes et des couches vulnérables et promouvoir l'égalité des droits au Burkina

Pour atteindre cet objectif, l'ASY s'investit dans 4 types d'activités qui sont :

- l'élaboration et l'exécution des programmes d'activités de formation, de perfectionnement et de recyclage ;
- protection et de conservation des terres et des Produits Forestier Non Ligneux (PFNL) ;
- la fabrication et la commercialisation de produits divers ;
- les activités socioculturelles et de perfectionnement qui concernent.

1 REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 DIFFÉRENTS PROCÉDÉS TRADITIONNELS DE PRODUCTION DU BEURRE DE KARITÉ

Dans les procédés traditionnels de production du beurre de karité, il existe une chaîne d'approvisionnement en amandes de karité et une chaîne de production du beurre de karité (Annexe I).

La chaîne d'approvisionnement en amandes est généralement courte et varie d'un procédé à l'autre. Dans le procédé Lokpa au Bénin (Figure 2) décrit par Ahouannou et al. (2013), « *les fruits collectés sont dépulvés et les noix obtenues sont bouillies pendant 75 minutes. Elles sont ensuite refroidies et étalées au soleil en monocouche sur une nappe en polystyrène noir pendant 6 jours...* »². Cette technique est aussi utilisée dans les procédés Peuhl au Bénin décrits par Ahouannou et al. (2013) et dans la méthode d'extraction par voie sèche (Annexe I Figure 1) au Cameroun décrit par Aboubakar et al. (2009). Elle est aussi identique au procédé (Annexe I Figure 2) décrit par Sachibu et Enno (2013) au Ghana, par Eminakpo (2013) au Bénin et présente également des similitudes avec le procédé « A » (Annexe I Figure 3) décrit au Togo par Kpegba et al. (2017). Le second procédé décrit par Aboubakar et al. (2009) est la technique par voie humide (Annexe I Figure 4) ; elle se diffère des sept autres procédés par l'étape du séchage qu'elle ne pratique pas. Quant aux procédés « C » et « D » au Togo, ils nécessitent un dépulpage manuel des fruits. Dans le procédé « C », les noix sont cuites puis séchées au four alors que dans le procédé « D » elles sont directement séchées au four. Selon Kpegba et al. (2017) , dans ces deux procédés, les noix ne sont pas décortiquées, mais stockées telles quels dans des sacs ou des greniers. Le Procédé « B » au Togo est le seul procédé à pratiquer une fermentation en fosse. Ce procédé est le même celui décrit par Lebert (2005) à la seule différence que dans le procédé décrit par Lebert (2005), les fruits sont enfouis dans des étuves primitives. L'enfouissement permet de faciliter le dépulpage et d'éviter une cuisson après le dépulpage.

² Ahouannou et al., 2013

cuisson directe (Figure 3).

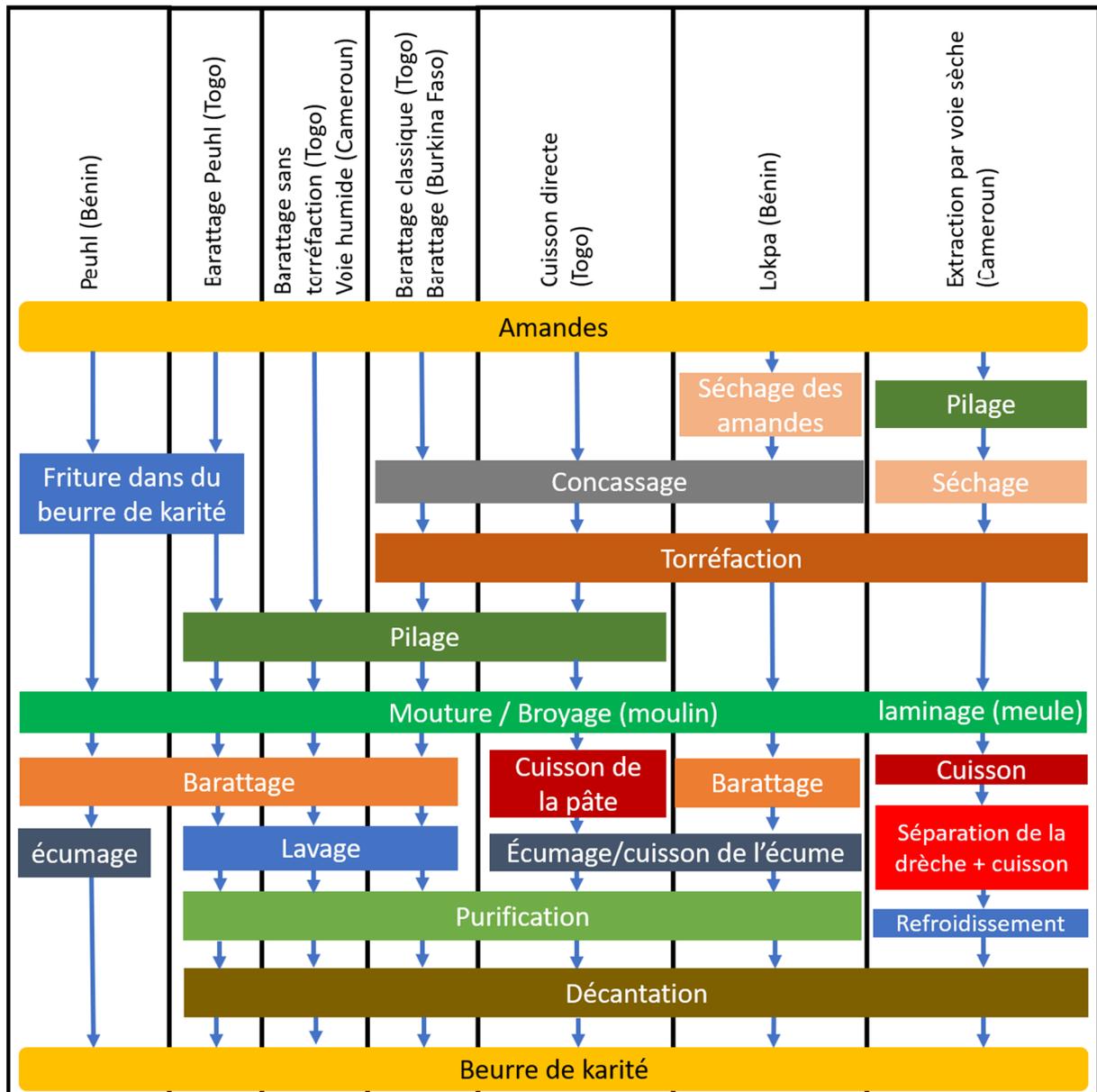


Figure 3: Différents procédés d'obtention du beurre de karité (Saussey et al., 2006; Yokadjim 2006; Aboubakar et al. 2009; Saussey 2011; Son et al., 2012; Ahouannou et al., 2013; Eminakpo , 2013; Kpegba et al., 2017).

Le procédé par barattage peuhl pratiquée au Togo présente des similitudes avec le procédé peuhl du Bénin, décrit par Ahouannou et al. (2013). Dans ce procédé, les amandes sont frites dans du beurre de karité avant d'être moulues puis barattées. Le procédé par barattage sans torréfaction au Togo est quasiment identique à celui du barattage peuhl au Togo. Mais il faut préciser que seul ce dernier possède l'étape de friture des amandes. Le procédé par barattage sans torréfaction est également similaire à la technique d'extraction du beurre de karité « par voie humide » décrite par Aboubakar Dandjouma et al. (2009) au Cameroun. Il présente aussi des

similitudes avec le « procédé traditionnel Tchabal » au Cameroun, décrit par Ahouannou et al. (2013). Selon Dubut (2012), le procédé d'extraction par voie humide est le même procédé pratiqué par les femmes du village Tchabal dans le Nord-Cameroun. Le barattage classique effectué au Togo est aussi semblable au barattage sans torréfaction sauf que dans le cas du barattage classique, un concassage plus une torréfaction y sont réalisés. Il présente également des similitudes avec la technique de barattage (Annexe I Figure 6) au Burkina Faso, décrite par Yokadjim (2006), Saussey et al. (2006), Saussey (2011). Selon Yokadjim (2006), la technique par barattage est le procédé le plus utilisé dans la province de Ziro et Sissili au Burkina Faso. Cette technique montre beaucoup de points communs avec la technique Lokpa au Bénin décrite par Ahouannou et al. (2013). La seule différence est observée à l'étape du pilage et du lavage qui sont inexistantes dans le procédé Lokpa. Aussi, la technique de production du beurre de karité au Ghana (Annexe I Figure 7), décrit par Sachibu et Enno (2013) et la technique de production du beurre de karité au Bénin, décrite par Eminakpo (2013) ne se diffère de la technique Lokpa au Bénin que par cette même étape, le lavage. Pourtant il, est considéré comme une étape très importante après le barattage. En effet, il permet d'éliminer les impuretés contenues dans le beurre de karité et de la rendre plus pure (Son, Ye, et Kaboré, 2012). Dans le procédé de barattage au Burkina Faso, il présente beaucoup de point commun avec le procédé par fumage, décrit par Ahouannou et al. (2013) et la technique de cuisson directe au Togo, décrit par Kpegba et al. (2017). Dans le procédé par fumage, les étapes de concassage et de torréfaction sont remplacées par une seule étape, le fumage. Par contre dans la technique de cuisson directe, c'est l'étape du barattage qui est remplacée par l'étape de « cuisson de la pâte ».

De nos recherches, il en ressort que la plupart des procédés d'obtention du beurre de karité ont tous une étape commune. Il s'agit de la mouture ou broyage ou laminage. Le concassage, la torréfaction, la purification ou filtration, la décantation sont entre autres des étapes qui sont présentes dans 60% des procédés de production connus dans la sous-région.

1.2 PRÉPARATION DU BEURRE DE KARITÉ

La chaîne traditionnelle de production du beurre de karité, présentée dans les lignes à suivre, est celle utilisée au Burkina Faso (Saussey et al., 2006; Saussey, 2011), au Ghana (Sachibu et Enno, 2013) et au Bénin (Eminakpo, 2013). Elle contient les étapes suivantes :

1. Lavage : cette étape consiste à nettoyer les amandes des impuretés et d'autres déchets afin d'augmenter leurs qualités.
2. Séchage : ce séchage est particulier car les amandes sont étalées à l'ombre. L'objectif est d'évacuer l'eau et de conserver une certaine humidité dans les amandes afin de faciliter le concassage (Sachibu et Enno, 2013).
3. Concassage : cette opération consiste à réduire les amandes de karité en de petites particules fines. Il y a deux façons de réaliser cette opération. Cela dépend des moyens et de la taille de la structure qui la réalise. Pour les villageois ou ceux qui produisent de très petite quantité de beurre, cette opération est réalisée à l'aide de mortier (Eminakpo, 2013). D'autres producteurs tels que les associations, utilisent des moulins (Sachibu et Enno, 2013). Selon Eminakpo (2013) l'obtention de fines particules, résultat d'un bon concassage, faciliterait la torréfaction et réduirait considérablement le temps de mouture.
4. Séchage des fines particules (facultatif) : le séchage est réalisé ici pour réduire l'humidité introduite dans les amandes à l'étape du lavage. Il a pour but de réduire le temps de torréfaction et aider à faire des économies d'énergies (Sachibu et Enno 2013).
5. La torréfaction : réalisée traditionnellement, elle consiste à griller ou chauffer (40 à 60 min à une température de 80 à 90 °C) les fines particules des amandes dans une marmite en aluminium ou une jarre sous un feu modéré (Zalle, 2008). Son but est de libérer l'huile des autres composantes cellulaires. Selon Sachibu et al. (2013), c'est une étape nécessitant une très grande quantité de chaleur. Cependant, la maîtrise du feu est capitale car un feu trop important noircît (brûle) les particules et cela affectera la qualité du beurre (Eminakpo, 2013). Aussi l'utilisation des torréfacteurs traditionnelles sont pénible et ont une faible productivité. D'où l'apparition de deux types de torréfacteurs après plusieurs travaux menés sur cette étape : les torréfacteurs rotatifs et à poêles. Les travaux menés par Ahouansou et Singbo (2010) ont montrés que les torréfacteurs rotatifs et à poêle permettent de réduire de 50 % le temps de torréfaction par rapport au torréfacteur traditionnelle, améliorant également les conditions de travail des femmes.

Lorsque cette étape est réussie, le beurre obtenu présente une bonne couleur. Même la mouture (étape suivante) est facilitée. (Sachibu et Enno 2013)

6. La mouture : c'est une opération qui consiste à moudre les amandes torréfiées afin d'obtenir une pâte. Cette opération est réalisée manuellement par les femmes grâce à une meule (deux pierres de granite). Dans le procédé traditionnelle d'extraction du beurre de karité par voie humide et sèche au Nord du Cameroun, décrit par (Aboubakar et al., 2009) , cette étape est appelée laminage. Au Bénin, dans la technique Tchabal décrit par Ahouannou et al. (2014), c'est plutôt le terme « broyage » qui est utilisé. Elle nécessite beaucoup de temps et de la force. En effet, selon Yokadjim (2006), il faut 33 min à une femme pour laminer 10 kg d'amande. L'utilisation d'un moulin rend cette opération plus facile, plus économique et réduit considérablement le temps de mouture. Soit 2,5 min pour moudre 10 kg avec la méthode mécanisée (Yokadjim, 2006). La pâte obtenue est la principale matière première de l'étape suivante, le barattage.
7. Le barattage : c'est une opération qui consiste à battre énergiquement la pâte pour faire apparaître en surface une masse crémeuse émulsifiante. Selon Eminakpo (2013), cette masse est plus légère, plus claire et proche d'une mousse. Traditionnellement la pâte issue de la mouture est introduite dans une bassine puis à l'aide de leurs mains les femmes réalisent des mouvements. Ensuite, vient le lavage.
8. Lavage : elle consiste à ajouter de l'eau froide et ou tiède à l'écume obtenue (2 volume d'eau pour un volume de beurre) afin d'éliminer toutes les impuretés (Zalle, 2008). Dans les procédés traditionnelles Lokpa, Peuhl, par fumage ou Tchabal (Ahouannou et al., 2013), cette opération n'est pas représentée comme une étape. En effet Son et al. (2012) considèrent qu'elle fait partie intégrante du processus de barattage. Toutefois elle est une étape très importante et quasiment incontournable après le battage énergétique de la pâte. « Les gommes sont éliminées sous forme de mousse et les impuretés sont rendues insolubles par l'eau chaude » (Lebert, 2005). Ainsi le lavage permet l'élimination de ces éléments qui peuvent avoir une influence sur le goût et la qualité du beurre (Son et al., 2012).
9. La cuisson de l'émulsion / Chauffage de la crème : cette opération consiste à mettre au feu, environ 2 heures (Eminakpo, 2013), une marmite contenant l'émulsion ou crème. Au cours de cette opération, la crème fond, les particules solides se noircissent et restent au fond de la marmite. L'huile (beurre de karité sous forme liquide) plus claire apparaît et remonte à la surface. Il ne reste plus qu'à recueillir cette huile dans un récipient et la filtrée.

10. La filtration : elle consiste à utiliser tout objet (un tissu ou un tamis) perméable à l'huile et imperméable aux particules solides/noires (Sachibu et Enno, 2013). Les particules noires sont rejetés (Eminakpo, 2013). L'huile est ensuite laissée pour être refroidie.
11. Refroidissement : ce processus consiste à mettre l'huile dans une marmite ou une bassine et ensuite la laissée dans un espace aérer afin qu'elle refroidisse et devienne semi-solide. À cette étape l'huile obtenu est appelée beurre de karité.
12. Conditionnement : il consiste à introduire le beurre de karité refroidi dans des contenant pour lui donner une forme et le protéger des impuretés. Au Bénin les femmes utilisent des Calebasses pour donner la forme arrondie (Figure 4) à leur beurre de karité (Eminakpo, 2013).



Figure 4 : Conditionnement du beurre au Bénin (Eminakpo, 2013)

1.3 PRINCIPAUX TRAVAUX RÉALISÉS SUR L'ANALYSE ET L'OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE DU PROCESSUS DE PRODUCTION DU BEURRE DE KARITÉ

Les travaux de Noumi et al. (2012) et Sachibu et al. (2013) réalisés au Burkina Faso et au Ghana, sont les principaux travaux, trouvés dans la littérature, qui traitent de l'analyse énergétique du procédé de production du beurre de karité. Ainsi dans la suite du document, nous allons nous appesantir principalement sur leurs travaux afin de voir les résultats qui sont en relation avec ce thème et de faire une comparaison plus tard avec nos résultats

1.3.1 Travaux réalisés au Burkina Faso

Noumi et al. (2012) ont évalué le potentiel et les impacts socio-économiques et environnementaux de pratiques énergétiques économes et de l'utilisation des déchets comme combustibles dans la région Est du Burkina Faso. Leur étude se fonde sur un échantillon raisonné de collectrices de fruits et de productrices de beurre aux pratiques traditionnelles. Le groupement Yemboado de la ville de Fada N'Gourma qui compte 42 membres est le seul

groupement de transformatrices à être choisi pour la réalisation des travaux. L'analyse de la situation traditionnelle considérée comme situation de référence permet d'avoir les résultats suivants : Pour 100 kg de fruits frais récoltés, 19,75 kg d'amandes ont été obtenues et par la suite 6,52 kg de beurre ont été extraits. Ainsi pour produire 1 kg de beurre, 7,87 kg de bois sont consommés. Ce qui représente un coût total en énergie de 246 FCFA·kg⁻¹, soit 31% de l'ensemble des charges. À l'échelle régionale, 24 108 t·an⁻¹ de bois serait ainsi utilisé pour la production de beurre de karité, et cela concourt à une perte de 3 898 ha·an⁻¹ de couvert forestier local et à une émission de 39 77 teqCO₂·an⁻¹. L'utilisation du bois est très dangereuse pour l'état de santé des femmes et des enfants et concourt à la désertification.

Suite à ces résultats, six (6) scénarios ont été combinés pour évaluer les impacts économiques et environnementaux. Ces scénarios sont :

- ✓ scénario 1 (collectrices) : substitution partielle du bois par les coques de noix ;
- ✓ scénario 2 (collectrices) : scénario 1 + foyer amélioré en banco ;
- ✓ scénario 3 (collectrices) : séchoir coquillage pour le séchage des noix ;
- ✓ scénario 4 (transformatrices) : substitution partielle du bois par les boues de barattage ;
- ✓ scénario 5 (transformatrices) : scénario 4 + foyer amélioré métallique ;
- ✓ scénario 6 (transformatrices) : scénario 5 + torréfacteur à gaz.

Les scénarios les plus intéressants sont le scénario 2 chez les collectrices et le scénario 6 chez les transformatrices. Ils sont plus économes en énergie (réduction du coût énergétique de 36% à 6% du coût de production du beurre) et présentent le moins d'impact sur l'environnement. La marge brute de ces scénarios est presque le double de celle de la situation de référence. Le caractère cumulatif des techniques de ces scénarios les rend plus attrayants encore pour une mise en place progressive.

1.3.1 Travaux réalisés au Ghana

Les travaux conduits par Sachibu et Enno (2013) ont été réalisés dans le cadre du projet EnPoGen (Energy, Poverty and Gender). Ce projet a été mis en œuvre par l'équipe d'Énergie Renouvelable de la SNV (organisation néerlandaise de développement) suite à de nombreuses réflexions et visite effectuée dans le groupement de Tiehisuma dans la région métropolitaine de Tamale au Ghana. L'objectif général consistait à améliorer le revenu et l'environnement de travail des femmes rurales en introduisant des foyers améliorés dans la transformation du beurre de karité.

Pour atteindre cet objectif, 87 kg de noix de karité non traitées ont été considérés comme échantillon pour l'estimation du coût de production du beurre de karité. La main d'œuvre était assurée par quatre femmes. Cette étude utilisait la méthode traditionnelle de production étalée sur 12 étapes, résumées dans le Tableau 1. De ce tableau, on retient qu'il a fallu 33 h et 55 min (2 035 min) pour produire 28,3 kg de beurre de karité de 87 kg d'amandes.

Tableau 1 : Résumé du processus de production du beurre de karité (Sachibu et Enno, 2013)

Processus	Entrée	Sortie	Durée (min)	Temps de travail (min)
Nettoyage	87 kg d'amandes emmagasinés	86 kg d'amandes nettoyés	33	132
Lavage pour enlever les impuretés	86 kg d'amandes nettoyés	Amandes lavés	17	68
Séchage	Amandes lavées	87 kg d'amande lavé et séché	23	92
Concassage	87 kg d'amande lavé et séché	86 kg d'amande concassé	11	22
Séchage des amandes concassés	86 kg d'amande concassé	Amande concassée et séchée	30	60
Torréfaction	Amande concassée et séchée	84 kg d'amande torréfié	90	180
Mouture	84 kg d'amande torréfié	80 kg de pâte	40	40
Barattage	80 kg de pâte	63 kg d'écume	208	808
Préparation de l'écume	63 kg d'écume	28,3 kg d'huile	90	90
Collecte et filtration	28,3 kg d'huile	Huile de karité filtré	23	46
Solidification	Huile de karité filtré	Huile de karité solide	1 440	30
Conditionnement	Huile de karité solide	28,3 kg de beurre conditionnés	30	60
Total			2 035	1 628

Le coût d'un sac d'amande est de GHc 50,00 (0,0245 \$US/2013 ou 11,67 FCFA/2013). De ce sac sont produits 28,3 kg de beurre de karité. Des dépenses (Tableau 2) ont été effectuées au cours de la production. Le beurre est finalement vendu à GHc 70,75.

Le détail des opérations financières est résumé dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Rapport des dépenses et revenus de 87 kg d'amande (Sachibu et Enno, 2013)

Dépenses		Revenus	
Éléments	Coûts (GHc)	Éléments	Coûts (GHc)
Achat des amandes	50,00	Ventes du beurre de karité	70,75
Concassage	2,00		
Mouture	4,00		
Bois	5,40		
Conditionnement	0,94		
TOTAL	62,34		

Des résultats de l'étude, il a été établi quelques ratios donnés dans le Tableau 3

Tableau 3 : Ratios issus de l'étude (Sachibu et Enno, 2013)

Ratios	Valeurs
1 kg amandes pour 1 000 kg de beurre de karité	3 074
2 Litres d'eau pour 1 000 kg de beurre de karité	11 660
3 kg de bois pour 1 000 kg de beurre de karité	1 735
4 Heure de travail pour 1 000 kg de beurre de karité	985
5 kWh d'électricité pour 1 000 kg de beurre de karité	173

Il faut reconnaître que le procédé traditionnel de production du beurre de karité est une activité intensive consommatrice de temps (72 min pour 1 kg de beurre produit), d'énergie (0,173 kWh pour 1 kg de beurre produit), et de ressource qui demande des compétences et connaissances appropriées.

L'utilisation de l'énergie et de l'eau sont particulièrement critiques dans cette activité. Avec beaucoup de faiblesses identifiées, des technologies simples et appropriés sont urgemment nécessaires.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIELS

Nous disposons d'amandes de karité biologique sèches de la saison de juillet et Août 2019 certifiées ECOCERT, achetées dans les localités de Bousse (Bissiga, Boukou, Gounghin, komtigré, Nabossonoré, Sao, Tensega, Zan), Boulsin, Saponné et siglé.

Les équipements utilisés pour la production sont :

- une palette pour le déplacement des lourdes charges ;
- un concasseur mécanique, un moulin à meule métallique ;
- une baratte électrique ;
- un torréfacteur rotatif ;
- des bassines de 70 cm de diamètre ;
- des marmites de 54 et 65 cm de diamètre pour la cuisson de l'huile et de l'écume ;
- une laveuse à huile d'une capacité de 100 litres.

Ces équipements appartiennent à ASY.

Quant aux matériels de mesure, ils sont composés de :

- une balance (Annexe I Tableau 1) d'une capacité 500 kg pour la prise de poids ;
- un chronomètre pour la prise de temps ;
- un appareil photo-numérique de marque samsung pour la prise de vue ;
- un mètre de marque huanam, capacité de mesure de 5 m.

Le matériel de laboratoire utilisé est constitué de :

- Pour la mesure du taux d'humidité
 - un cristalliseur en verre (de 5 cm de diamètre extérieur et de volume 40 ml) ;
 - une balance analytique (plage de mesure 0,01 à 200 g, précision 0,1 mg) pour mesurer la perte de masse de l'échantillon ;
 - une étuve ventilée permettant de fixer la température (105 °C et 150 °C) ;
 - un dessiccateur permettant d'isoler l'échantillon contre l'humidité du laboratoire.
- Pour la mesure du PCI
 - un système de combustion (Calorimètre 1241, Parr instrument) incluant une bombe calorimétrique, une vase calorimétrique, un agitateur, une jaquette isolante ;
 - une balance de précision (plage de mesure 2 g à 10 kg, précision 1 g) ;
 - balance analytique (plage de mesure 0,01 à 200 g, précision 0,1 mg) ;
 - bouteille d'oxygène sous pression.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 Méthode d'étude

2.2.1.1 Méthode de mesure

La méthode classique de mesure de la masse d'un liquide et d'un solide a été utilisée dans notre étude. La mesure de la masse d'un liquide consiste à mesurer la masse du récipient vide, y verser le liquide puis mesurer la nouvelle masse. La masse du liquide s'obtient par soustraction de la masse du récipient à la masse totale. La mesure de la masse d'un solide quant à elle consiste à poser le solide sur la balance et à lire directement la valeur obtenue.

2.2.1.2 L'expérimentation et collecte des données primaires

Les travaux ont consisté à suivre la production pendant 2 semaines afin d'estimer la capacité de production, la quantité d'énergie (électrique, gaz, bois) utilisée, la quantité d'eau etc. Pour cela, les données sont collectées suivant les paramètres que sont : durée de chaque opération (lavage, concassage, torréfaction, mouture, barattage, cuisson, etc.) ; quantité des intrants (amandes, eaux, bois, gaz, énergie électrique), la quantité des extrants (amandes, pâtes, écumes, huiles, beurres, tourteaux, et autres résidus). Les données sur : le coût d'achat des amandes, du gaz, du coût unitaires des sacs vides d'amandes, le coût du transport d'un sac d'amande, le coût de la certification, l'amortissement et la main d'œuvre des travailleuse ont été fournies par ASY. Le coût du kg du bois a été déterminé en pesant 250 FCFA de bois achetés chez les vendeuses. Cette quantité a été pesé au centre de production (Karibio), soit 4 kg la quantité achetée. Le coût du kilowattheure électrique est pris en tenant compte du type de tension (triphase 4 fils), de la catégorie (10 A), et de la tranche (plus de 200 kWh), soit 114 FCFA le kWh. Le coût du mètre cube d'eau est relevé sur les factures d'eau d'ASY. Elle est prise égale à 1 104 FCFA le m³ pour un tarif société. Les données sur les équipements (poids, taille et la capacité de la cuve de lavage de l'huile) et aussi les remarques et appréciation des femmes ont également été collectées.

À partir de ces données, nous avons notamment calculé la production totale d'ASY, l'énergie consommée ainsi que les rendements de chaque étape.

2.2.1.3 Traitement des données

Toutes les données de l'analyse énergétiques et le coût financier ont été traitées à l'aide du

logiciel Microsoft Excel. Les résumés schématiques des résultats de chaque étape et le schéma du processus de production du beurre de karité ont été réalisés sur le logiciel Microsoft Powerpoint. Le schéma de la station de décantation a été réalisé sur le logiciel SketchUp pro 2016.

2.2.1.4 Évaluation de l'efficacité énergétique du procédé

L'analyse énergétique du procédé de production du beurre de karité est faite à travers les paramètres tels que : la capacité horaire ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$) des équipements, le taux d'extraction (%) et quelques ratios (litres d'eau par kilogramme de beurre produit, kilogramme de bois ou de gaz par kilogramme de beurre produit, temps de travail par kilogramme de beurre produit, le kilowattheure électrique par kilogramme de beurre produit etc.)

➤ Capacité horaire C_h ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$)

La capacité horaire détermine la quantité de matière première traitée par l'équipement en une heure. Elle s'exprime par la formule :

$$C_h = \frac{m}{t} \quad (1)$$

Avec,

- m : la masse introduite dans l'équipement ;
- t : le temps de traitement de la masse m .

➤ Taux d'extraction (%)

Le taux d'extraction se calcule en ramenant la masse de matière grasse extraite à celle de la matière première. Il s'exprime par le rapport entre la masse du beurre obtenue à celle des amandes utilisées.

$$T_e = \frac{m_b}{m_a} \times 100 \quad (2)$$

Avec,

- T_e : le taux d'extraction ;
- m_b : la masse de beurre obtenu ;
- m_a : la masse d'amande utilisée.

➤ L'énergie consommée E_{elec} (kWh)

L'énergie électrique est déterminée par le produit de la puissance électrique absorbée du moteur électrique et son temps de fonctionnement. Il s'exprime par la formule :

$$E_{elec} = \frac{P \times t}{\eta} \quad (3)$$

Avec,

- P : la puissance électrique utile du moteur ;
- η : le rendement du moteur électrique. Dans cette étude $\eta = 90\%$;
- t : le temps de fonctionnement de l'appareil en heure ;
- $\frac{P}{\eta}$: la puissance absorbée.

2.2.1.5 Détermination du potentiel énergétiques des résidus

Les boues de barattage, qui sont des résidus traditionnellement jetés, ont été analysés en tant que biocombustible solide de substitution au bois de feu. Les échantillons analysés ont été collectés sur le site de production à Karibio puis analysés au Laboratoire d'Énergie Renouvelable et Efficacité Énergétique (LabEREE) du 2iE. L'analyse immédiate des boues de barattage a été réalisée suivant la Norme Française NF MO3-005, la Norme Européenne EN 14918 et la Norme Internationale ISO 1928. Le taux d'humidité a aussi été déterminé. L'analyse a été réalisée suivant la Norme Européenne EN 14774-1 et la Norme Américaine ASTM D 2867-70.

La teneur en eau des boues de barattage est déterminée par l'équation suivante :

$$W = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \times 100 \quad (4)$$

Avec,

- W : Teneur en humidité ;
- m_1 : masse du récipient vide en grammes ;
- m_2 : masse du récipient avec l'échantillon avant séchage, en grammes ;
- m_3 : masse du récipient avec l'échantillon après séchage à poids constant, en grammes.

Le PCS est calculé grâce à l'équation suivante :

$$PCS = \frac{k_1 \times E_{cal} \times (T_m - T_i) - k_1 \times E_{pt} \times (L_i - L_f)}{m_{\text{échantillon}}} \quad (5)$$

Avec,

- $k_1 = 4,1855$ j/cal;
- $E_{cal} = 2\,674$ cal/°C;
- $E_{pt} = 2,3$ cal/cm;
- T_m = Température maximale (°C) ;
- T_i = Température initiale (°C) ;
- L_i = Longueur de fil de platine initiale, en cm ;
- L_f = Longueur de fil de platine restante, en cm ;

- $m_{\text{échantillon}}$: masse de la prise d'essai de l'échantillon à analyser en g.

Le PCI est déterminé par l'équation suivante :

$$PCI = PCS - \left(\frac{E_{\text{cond}} \times k_2 \times H_{\text{éch}}}{100} + \frac{E_{\text{cond}} \times W}{100} \right) \quad (6)$$

Avec,

- PCS : le pouvoir calorifique supérieur ;
- $k_2=8,937$: facteur de proportionnalité : masse hydrogène présente/masse d'eau formée ;
- E_{cond} : chaleur de condensation de l'eau = 2 511 j/g ;
- $H_{\text{éch}}$: teneur en hydrogène de l'échantillon en % ;
- W : la teneur en humidité de l'échantillon ;

La teneur en hydrogène de l'échantillon est déterminée par l'équation suivante :

$$H_{\text{éch}} = H_{\text{anhydre}} \times \frac{(100 - W)}{100} \quad (7)$$

Avec,

- $H_{\text{éch}}$: teneur en hydrogène de l'échantillon en % ;
- $H_{\text{anhydre}} = 6,5 \%$
- W : la teneur en humidité de l'échantillon ;

Le rapport entre le PCI du bois et celui des résidus de karité (équation 8) permet de calculer la masse nécessaire des résidus de karité pour fournir la même énergie qu'une masse de bois données.

$$\text{Masse de résidus de karité} = \frac{PCI_{\text{bois}}}{PCI_{\text{résidus de karité}}} \times \text{Masse du bois} \quad (8)$$

Le PCI du butane est pris égale à 45 752 kJ·kg⁻¹.

2.2.2 L'analyse financière

L'analyse financière a été effectuée à partir du coût de production (équation 9) et de la marge financière (équation 10) et d'autres coûts équation 11.

- Le coût de production : Il est déterminé par le rapport de la somme du coût des charges entrantes dans la production et le kilogramme du beurre de karité produit. Il s'exprime par la formule suivante :

$$C_p = S \times m_b^{-1} \quad (9)$$

Avec,

- S : la somme du coût des charges entrantes dans la production (amandes, amortissement du matériel, transport, certification, énergie électrique, gaz, bois, eau, personnel) ;
 - m_b : la quantité de beurre obtenu.
- La marge financière : Il est déterminé par la différence entre le coût de vente et le coût de production de 1 kg de beurre de karité. Il s'exprime par la formule suivante :

$$m_f = C_v - C_p \quad (10)$$

Avec,

- C_v : le coût de vente de 1 kg de beurre de karité ;
- C_p : le coût de production de 1 kg de beurre de karité.

- Coût du gaz C_g (FCFA·kg⁻¹)

$$C_g = \frac{C_u \times Q_g}{12,5} \quad (11)$$

Avec,

C_u : le coût unitaire d'une bouteille de gaz. Une bouteille de gaz (12,5 kg) est de 5 000 FCFA ;

Q_g : la quantité de gaz (kg) utilisé pour produire d'une quantité m_b de beurre de karité ;

- Coût du bois par C_b (FCFA·kg⁻¹)

$$C_b = C_{ub} \times Q_b \quad (12)$$

Avec,

C_{ub} : le coût du kg de bois, soit 62,5 FCFA·kg⁻¹ ;

Q_b : la quantité de bois (kg) utilisé pour produire d'une quantité m_b de beurre de karité ;

- Coût de l'énergie électricité C_{elec} : il est calculé à partir des informations sur le type d'abonnement de ASY. En effet, ASY possède un abonnement triphasé 4 fils 10A. Sachant sa consommation supérieure à 200 kWh, ASY se retrouve dans la 3^{ème} tranche avec 114 FCFA le kWh. Les charges fixes sont constituées de la redevance et de la prime fixe.

$$C_{elec} = C_{uelec} \times E_{elec} + red + Pf \quad (13)$$

C_{uelec} : le coût du kWh de l'électricité, soit 114 FCFA le kWh ;

E_{elec} : l'énergie électrique consommé (kWh) pour une quantité m_b de beurre de karité ;

Red : redevance 1 226 FCFA/mois

Pf : prime fixe 885 FCFA

- Le coût de l'eau C_{eau} (FCFA) : il est calculé en tenant compte de la redevance du service des abonnés, de la TVA et du coût du m^3 de l'eau pour un tarif société.

$$C_{eau} = red_{eau} + TVA + Q_{eau} \times Cu_{eau} \quad (14)$$

Red_{eau} : redevance de l'eau 1 000FCFA ;

TVA : 18% pour une consommation supérieure à $90 m^3$;

Q_{eau} : quantité d'eau consommé ;

Cu_{eau} : coût du m^3 de l'eau ($1\ 104\ FCFA \cdot m^{-3}$).

- Coût énergétique de l'électricité ou du gaz ou du bois par kg $C_{en/kg}$ ($FCFA \cdot kg^{-1}$)
Il est calculé par le rapport du coût de l'électricité ou du bois ou du gaz par rapport à la quantité de beurre produit.

$$C_{en/kg} = \frac{\text{cout de l'élément}}{m_b} \quad (15)$$

Avec,

m_b : la quantité de beurre produit (kg).

2.2.3 Système photovoltaïque connecté réseau

La méthode de dimensionnement du système photovoltaïque connecté réseau suit les étapes suivantes :

- Etape1 : calcul de la puissance crête

À partir de la quantité d'énergie annuelle la puissance crête est calculé par la formule suivante :

$$P_c = \frac{E_{an}}{365 \times P_r \times H_i} \quad (16)$$

Avec

$P_r=75\%$ et $H_i=5,15\ kWh \cdot m^{-2}$

- Etape2 : choix du module et calcule du nombre de module

À partir d'un catalogue, on choisit le type de module voulut puis à par tir de la formule suivante calculer le nombre de module nécessaire.

$$N_{br} = \frac{P_c}{P_{module}} \quad (17)$$

Avec

N_{br} : le nombre de module ;

P_c : la puissance crête calculé ;

P_{module} : la puissance du module choisit.

- Etape3 : configuration du champ PV et choix de l'onduleur

La conception du champ PV et le choix des onduleurs doivent suivre les règles suivantes :

- La tension MPP du générateur PV (V_{mpp}) $>$ La tension minimale admise à l'entrée de l'onduleur. On doit tenir compte de l'effet de la température en exploitation ;
- La tension en circuit ouvert du générateur PV (V_{oc}) $<$ La tension maximum admise à l'entrée de l'onduleur. On doit tenir compte de l'effet de la température en exploitation ;
- Préférer la tension nominale a l'entrée de l'onduleur car elle donne le meilleur rendement ;
- Le ratio de puissance doit être compris entre 90% et 110% ;
- Tous les strings (branches) connectent à un même onduleur doivent avoir la même tension continue.

L'onduleur doit être choisit à travers une documentation fournisseurs avec les caractéristiques électriques (entrée/sortie).

- Étape 4 : protection et câbles

Coté DC

$$I_{\text{max}_{cc \text{ onduleur}}} \leq I_{\text{cal}_{\text{disjoncteur}}} \quad (18)$$

Coté AC

$$I_{\text{onduleur}} < I_{\text{cal}_{\text{disjoncteur}}} \quad (19)$$

Vérifier la chute de tension admissible dans les câbles.

$$\Delta V = 2 \times (L \times I \times \rho) / S \quad (20)$$

2.2.4 L'impact environnemental

La production du beurre de karité émet d'énorme quantité de CO₂ issu de la combustion du bois. Pour la détermination de la surface (ha) déboisé, nous nous sommes basé sur l'hypothèse de Noumi et al., (2012), qui stipule que « tout le CO₂ émis lors de la combustion du bois de feu était d'origine non renouvelable ». Ainsi selon, Noumi et al., (2012), la production forestière au Burkina Faso est 6,2 t·ha⁻¹.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 RÉSULTATS

3.1.1 Processus de production du beurre de karité de l'ASY

Les amandes disponibles pour la production du beurre de karité dans cette étude proviennent des zones rurales de Boussé, Boulsin, Saponné et siglé. Dans sa préoccupation de produire du beurre biologique, ASY a signé un accord avec les propriétaires des champs dans lesquels pousse l'arbre du karité afin de certifier leurs amandes. La certification est réalisée par ECOCERT. Cette certification a pour objectif, de conseiller les propriétaires des champs à ne pas utiliser des produits chimiques qui pourraient contaminer les amandes.

Dans la période de juin à septembre, une fois les fruits de karité récoltés, ils suivent un processus d'obtention des amandes réalisé par les femmes. Une fois les amandes obtenues, elles sont transportées dans un magasin de la localité construit par ASY. Chaque femme est payée en fonction la quantité d'amandes qu'elle apporte. Les amandes sont ensuite acheminées des localités vers le centre de production Karibio à Ouagadougou. Ainsi débute la chaîne de production du beurre de karité bio de ASY.

L'étude a identifié 11 étapes distinctes de production du beurre de karité. Ces 11 étapes sont résumées à la Figure 5.

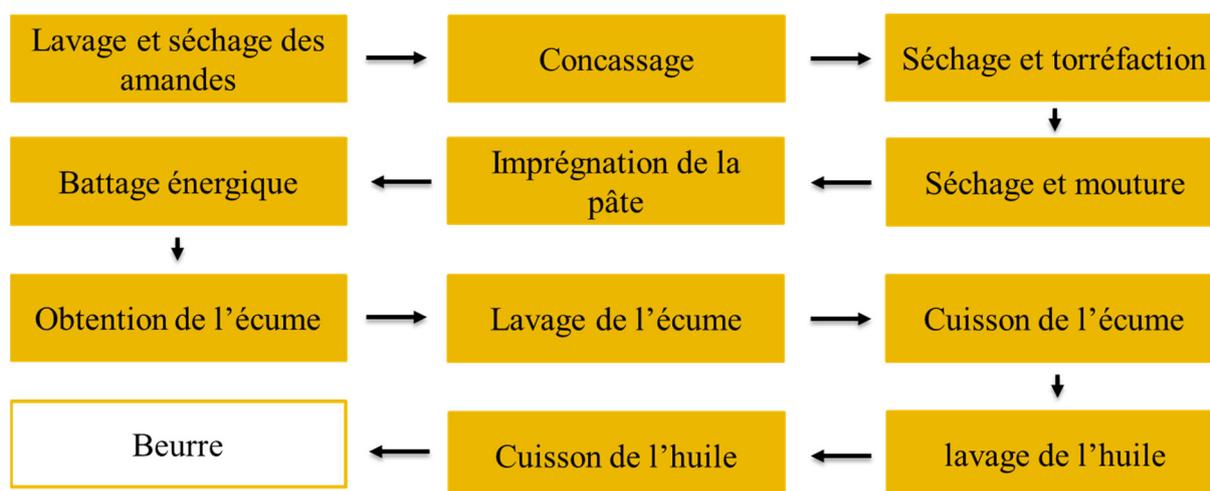


Figure 5 : Processus de production du beurre de karité de ASY

Nous allons présenter chaque étape avec les quantités en entré et en sortie.

1. **Le lavage et séchage des amandes** : Le processus débute par le lavage des amandes suivi d'un séchage (Figure 6). Il faut à une femme, 62 l d'eau et 5 min pour laver 71 kg

d'amandes. L'eau utilisée est de l'eau pure venant du robinet. Le séchage dure environ 9 h et 30 min. À la fin de l'opération, 67 kg d'amandes sont relevées. Soit 6 kg de pertes constituées d'amandes, de déchets et de vapeur d'eau. Le résumé de cette opération est présenté dans la Figure 7.



Figure 6 : Opération de lavage et séchage

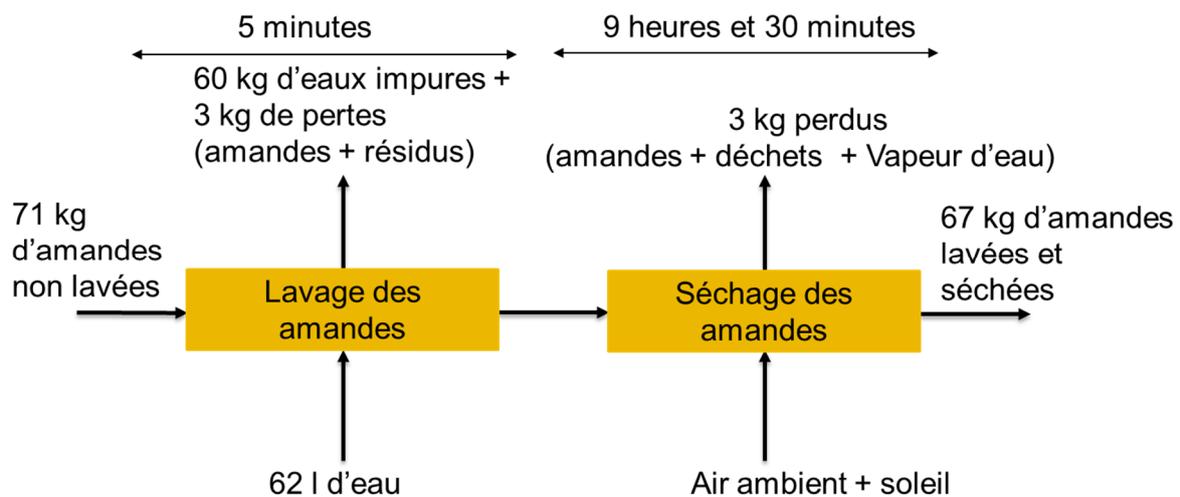


Figure 7 : Résumé schématique de l'opération de lavage et de séchage

2. **Concassage** : Cette opération nécessite deux femmes. Une chargée du fonctionnement de la machine et une autre chargée d'introduire les amandes dans la trémie. Il faut environ 1 min pour concasser 32 kg d'amandes sèches. Le concasseur est mis en mouvement par un moteur électrique de 11 kW. L'énergie électrique nécessaire est alors de 0,2 kWh pour les 32 kg d'amandes concassées.

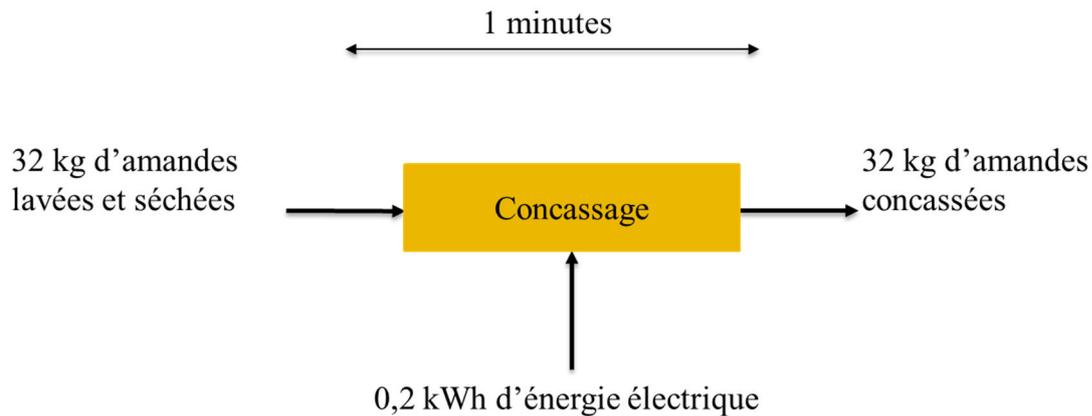


Figure 8 : Résumé schématique de l'opération de concassage

3. **Séchage et torréfaction** : Cette opération débute par un séchage préalable d'environ 7 h. Ce séchage est réalisé au soleil sur une terrasse à ciel ouvert (Figure 9) et permet de réduire l'humidité contenue dans les amandes. Vient ensuite l'opération de torréfaction. Dans cette étape les amandes sont rôties pour faciliter l'extraction du beurre de karité. Il faut 2 h 36 min et 3,7 kg de gaz pour torréfier 215 kg d'amandes concassées. À la fin de l'opération, on relève 209 kg d'amandes torréfiées. Soit une perte totale de 6 kg (4 kg pendant l'opération de séchage et 2 kg pendant la torréfaction). Les pertes sont constituées d'amandes, de vapeur d'eau, de résidus et d'autres matières volatiles.



Figure 9 : Séchage des amandes concassées

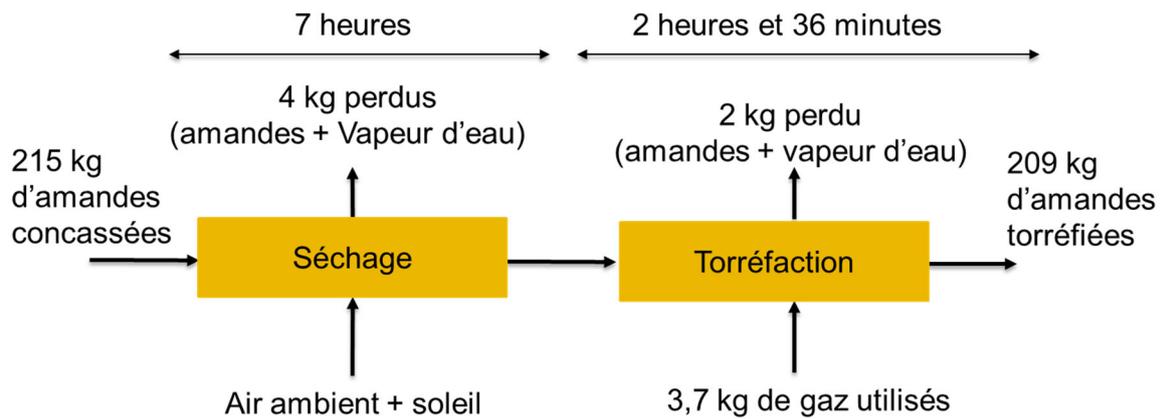


Figure 10 : Résumé schématique de l'opération de séchage et torréfaction

4. **Séchage et mouture des amandes** : à cette étape, les amandes sont séchées au soleil afin d'éliminer l'humidité toujours présente après la torréfaction et au même moment, refroidir les amandes. Il faut 7 h pour sécher 70,5 kg d'amandes torréfiées. La mouture quant à elle nécessite 25 min et 5,09 kWh électrique. Cette énergie électrique est calculée à partir de l'équation 3 présenté dans la section « matériels et méthodes ». La quantité de pâte obtenue est de 64,5 kg, soit une perte de 7 kg pendant le séchage et 9 kg pendant la mouture. Pendant le séchage, les pertes sont issues des mauvaises manipulations et de vapeur d'eau. Pendant la mouture elles sont constituées de pâte restante dans le moulin, de vapeur d'eau, de matières volatiles, des pertes dues aux manipulations etc.

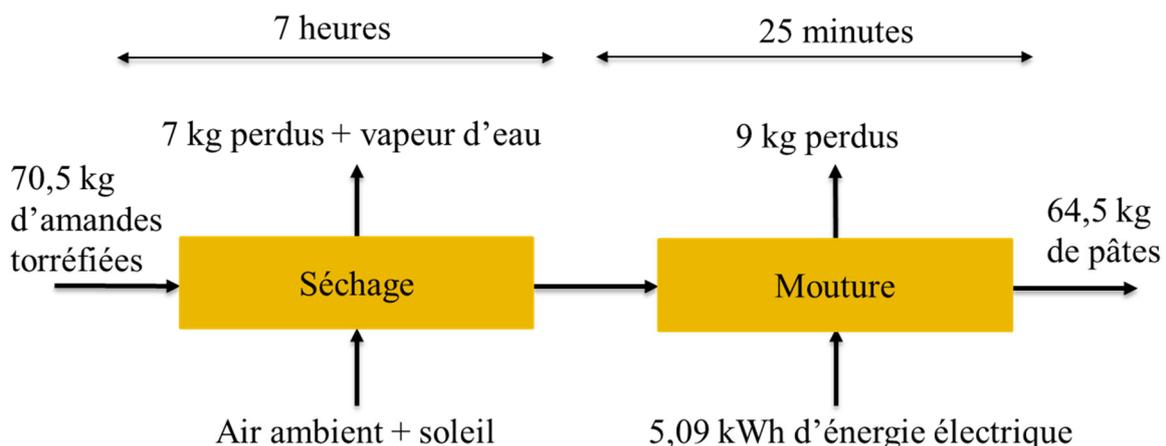


Figure 11 : Résumé schématique de l'opération de séchage et de mouture

5. **Imprégnation de la pâte d'eau** : cette opération consiste à verser de l'eau sur la pâte obtenue après mouture afin qu'elle devienne plus consistante. L'imprégnation de 39 kg de pâte moulue nécessite 26,5 l d'eau et 2 min de temps de travail à une femme. On

obtient 65 kg de pâte imprégnées. Aucune perte n'a été relevée au cours de cette opération.

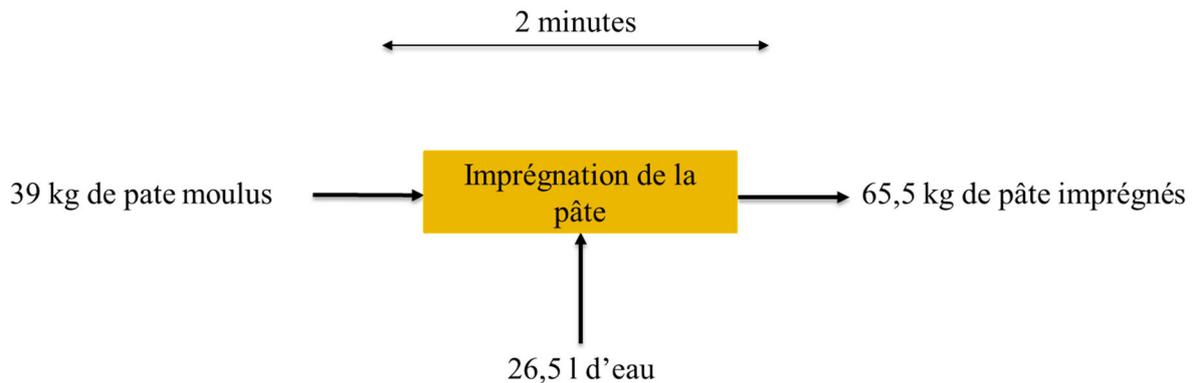


Figure 12 : Résumé schématique de l'opération d'imprégnation

6. **Battage énergétique de la pâte** : Il s'agit d'une opération qui consiste à battre énergiquement la pâte consistante obtenue après imprégnation afin d'obtenir une pâte plus claire, légère et crémeuse. Cette opération est réalisée par une baratte électrique d'une puissance de 3,7 kW. Il faut environ 11 min, 12 l d'eau et 2 femmes pour battre énergiquement 77 kg de pâte imprégnée. On obtient 84 kg de pâte battue, soit une perte de 5 kg (pâtes + eaux). La consommation énergétique est évaluée à 0,75 kWh.

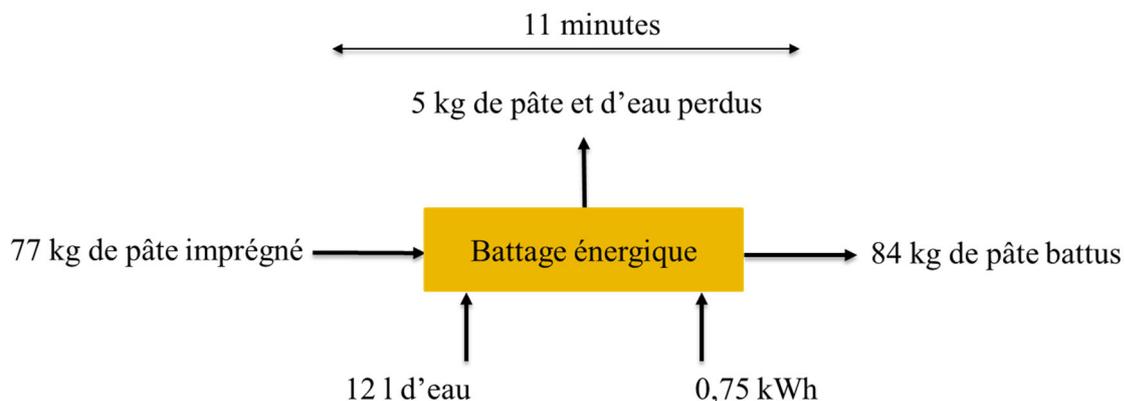


Figure 13 : Résumé schématique de l'opération de battage énergétique de la pâte

7. **Obtention de l'écume** : Cette opération consiste à malaxer la pâte issue du battage énergétique avec un apport important d'eau. 111 kg de pâte battue sont répartis dans 2 bassines entre 4 femmes pour être malaxer (Figure 14). Il faut 15 min et 96 l d'eau à ces quatre femmes pour réaliser cette opération. On obtient 37 kg d'écume et 170 kg de boue de barattage (Figure 14). Les boues de barattages sont de couleur marron clair et sont constituées d'eau et de tourteau. Elles sont rejetées dans un espace, aménagé par

les femmes, d'une profondeur de 9 cm. 4 jours plus tard, 59 kg de tourteaux (60,6% d'humidité) sont obtenus à partir de 170 kg de boue de barattage, soit une évaporation de 111 l d'eau. Le résumé de cette opération est présenté schématiquement à la Figure 15.



Figure 14 : Obtention de l'écume et des boues de barattage

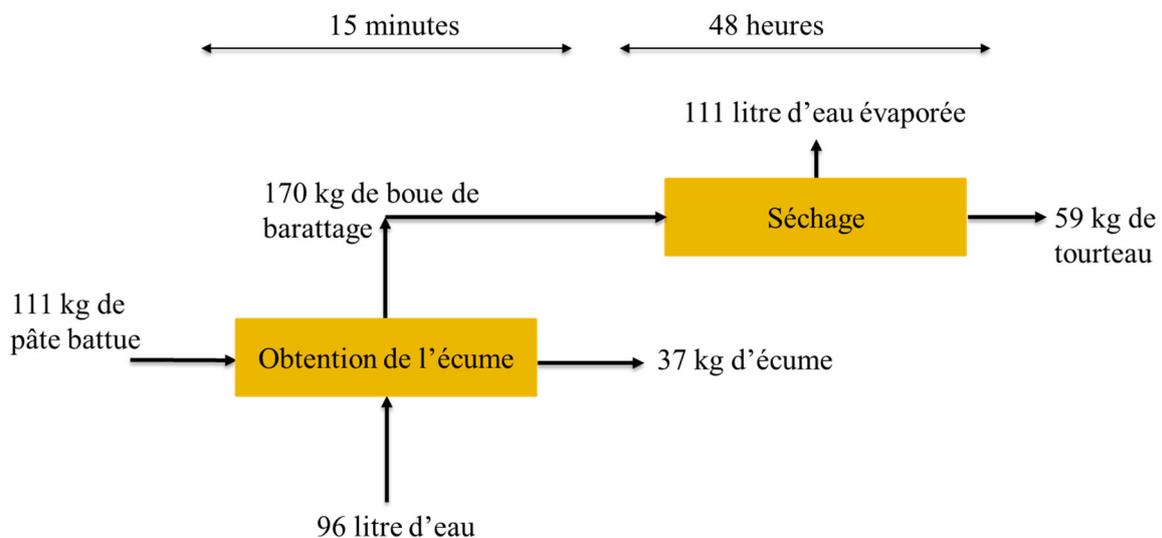


Figure 15 : Résumé schématique de l'opération d'obtention de l'écume

8. **Le lavage de l'écume** : À cette étape l'écume subit un lavage. De l'eau est introduite dans 5 bassines différentes mises côte à côte pour former une chaîne de lavage. L'écume est lavée dans une 1^{ère} bassine, dans une 2^{ème}, etc. À l'issue de 5 lavages, il aura fallu 337 l d'eau pure, 20 min et 4 femmes pour laver 141 kg d'écume. On obtient 138 kg d'écume lavées. Les femmes rejettent donc 340 l d'eau impure sur le sol. Selon le chef d'équipe des femmes, cette eau est inutilisable car elle contient des particules d'huile, et d'autres résidus non exploitables.

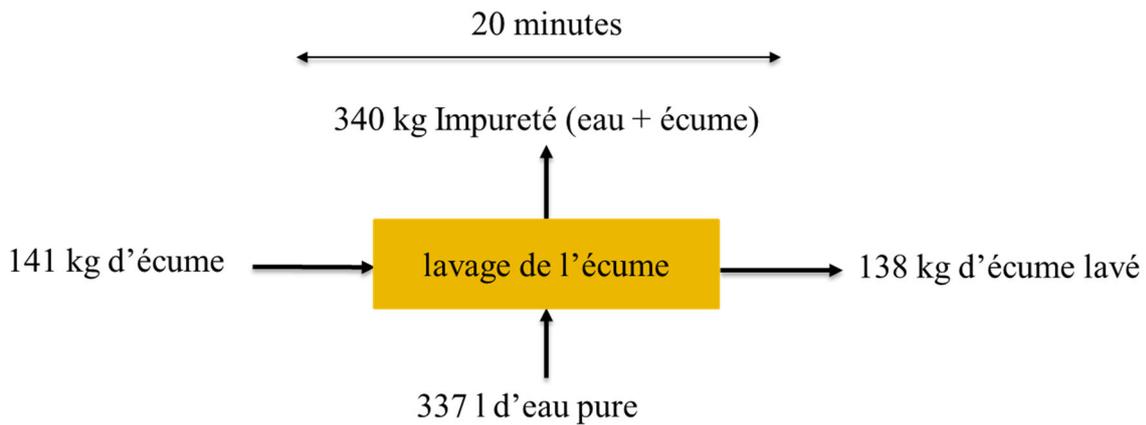


Figure 16 : Résumé schématique de l'opération de lavage de l'écume

9. **Cuisson de l'écume** : 73 kg d'écume sont cuites pendant 1 h 45 min dans une marmite en aluminium de 80 l. La cuisson nécessite 73 kg (1 314 000 kJ) de bois et une femme pour réaliser l'opération. Après 1 h 45 min de cuisson, on recueille dans une bassine l'huile. Les résidus noirs restant au fond de la marmite sont filtrés pour extraire le reste de l'huile. Un sac vide sert de tissus de filtration (Figure 17). On obtient 54,5 kg d'huile et 7 kg de résidus (Figure 17). Ces résidus sont rejetés dans la nature sans une utilisation particulière. Le résumé de cette opération est présenté à la Figure 18.



Figure 17 : L'opération de filtration et les résidus obtenus

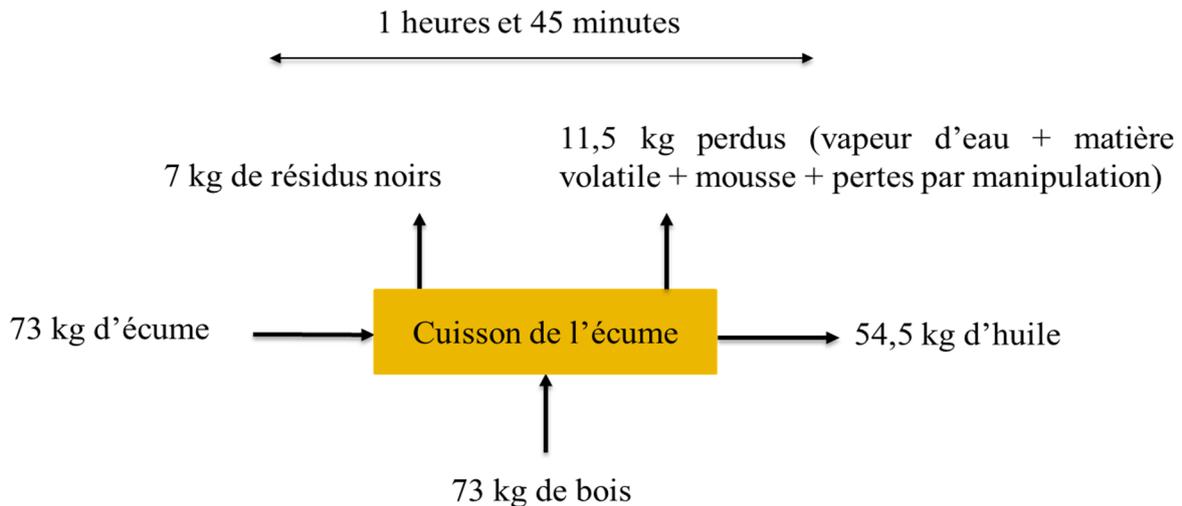


Figure 18 : Résumé schématique de l'opération de cuisson de l'écume

10. **Le lavage de l'huile** : Cette opération consiste à introduire 80 kg d'huile dans un bac d'une capacité de 100 l, y ajouter de l'eau chaude et froide et remuer le mélange avec une manivelle. L'ajout de l'eau se réalise en trois étapes. Les deux premières étapes consistent à ajouter un volume de 48 l d'eau chaude à l'huile. La dernière étape quant à elle, sera avec de l'eau froide (24 l). Au total 72 l d'eau utilisé. L'eau chaude est obtenue à partir de 1 kg de gaz. Cette opération est réalisée pendant environ 1 h par une femme. On obtient 78 kg d'huile lavée, 69 kg d'eau impure rejetée et 1 kg de beurre résiduels (d'eau, d'huile impure et autres résidus) et 4 kg d'huile perdus au cours de la manipulation. Le beurre résiduel est destiné à la fabrication du savon.

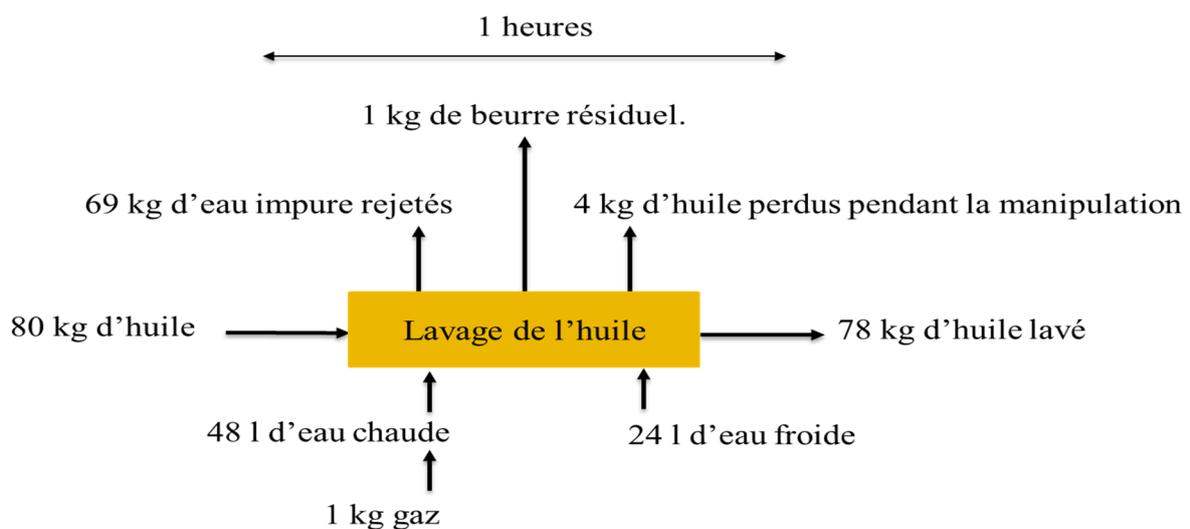


Figure 19 Résumé schématique de l'opération de lavage de l'huile

11. **Cuisson de l'huile** : Après le lavage, 103 kg d'huile sont versés dans une marmite de 80 l pour subir une opération de cuisson pendant 3 h 11 mn afin d'éliminer complètement l'eau qui reste toujours dans l'huile après le lavage. Il faut 3,6 kg de gaz pour réaliser cette opération. À l'issue des 3 h et 11 min de cuisson, nous obtenons 100 kg d'huile, soit une perte de 3 kg d'huile au cours de la cuisson et des manipulations. À cette étape l'huile est propre et prête à être conditionnée.

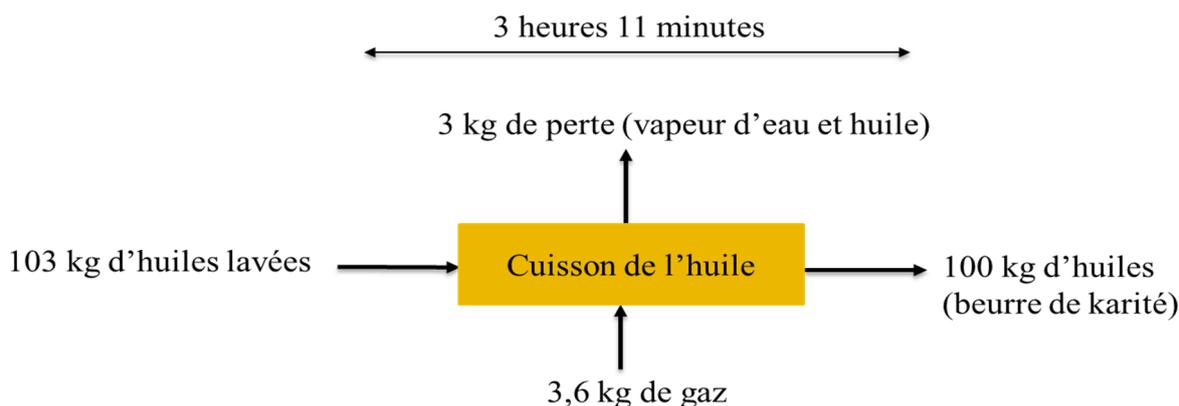


Figure 20 : Résumé schématique de la cuisson de l'huile

Le résumé des résultats des mesures sont présentés à l'Annexe III Tableau 1.

3.1.2 Quelques ratios

Des résultats de mesure, il ressort que le rendement d'extraction est évalué à 30%. D'autres ratios ont également été évalués (Tableau 4). Ces ratios ont été calculés à partir des données de l'Annexe III Tableau 2.

Tableau 4 : Ratios obtenus pour 1 kg de beurre produit

	Ratios	Valeurs
1	Amandes	3,307 kg
2	Bois	1,365 kg
3	Gaz	0,073 kg
4	Électriques	0,277 kWh
5	Eau	13,214 l
6	Tourteaux	2,284 kg
7	Résidus noirs	0,13 kg

La capacité horaire des équipements tel que le concasseur, le torréfacteur, le moulin et la baratte ont également été évaluée (Tableau 5).

Tableau 5 : Capacité horaire des équipements

Équipements	Valeurs
Concasseur (kg·h ⁻¹)	1 920
Torréfacteur (kg·h ⁻¹)	82,69
Moulin (kg·h ⁻¹)	169,2
Baratte (kg·h ⁻¹)	420

Au bout de 2 semaines, 8 femmes d'ASY ont produit 764 kg de beurre de karité à partir de 2 530 kg d'amandes. Cette production a nécessité :

- 55,77 kg de gaz, soit 4,46 bouteilles de 12,5 kg ;
- 1 042,86 kg de bois ;
- 211,63 kWh d'énergie électrique ;
- 10 095,5 l d'eau.

Le beurre est introduit dans des fûts de 200 l (Figure 21) avant d'être conditionné et livré aux clients.



Figure 21 : Fûts de 200 l contenant du beurre de karité biologique

3.1.3 Potentiel énergétique des boues de barattage

L'analyse du procédé de production montre que la production de 1 kg de beurre de karité engendre 2,284 kg de boue de barattage d'un taux d'humidité de 60,6% (Annexe III Tableau 3). L'analyse des boues de barattage, au laboratoire, révèle un PCI de 25 031 kJ·kg⁻¹ (Annexe III : Tableau 4).

3.1.4 Résultats financiers

Pour le compte de l'année 2019-2020, ASY souhaite produire 21 t de beurre de karité biologique. À partir du rendement de production obtenus ci-dessus, il a donc été évalué la quantité d'amandes nécessaire à la production des 21 t de beurre, soit 69,537 t d'amandes de karité. Les données sur le coût d'achat des amandes, le coût du transport, l'amortissement, le coût des sacs vides, la main d'œuvre des travailleuses, le coût de la certification et le coût de vente du beurre sont fournies par ASY. Le coût des charges de production est obtenu à partir des données financières collectées et des équations 11, 12, 13 et 14. On obtient :

- Coût de l'énergie électrique : 667 701 FCFA.
- Le coût de l'eau : 310 973 FCFA
- Coût du bois : 1 791 563 FCFA
- Coût du gaz : 615 000 FCFA

Le détail des opérations financières est résumé dans le Tableau 6.

Tableau 6 : Bilan financier

	Quantité	Prix unitaire	Total (FCFA)
Investissement			
Amandes	69 536	200	13 907 285
Amortissement (bâtiment + équipements)		5 000	5 000
Coût des sacs vides	696	200	139 200
Transport des amandes	696	1 000	696 000
Coût de la certification		2 311 157	2 311 157
Charges de production			
Prime fixe + redevance (électricité)	3	1 226	4 563
Coût de l'énergie (kWh)	5 817	114	663 138
Coût de l'eau	277 494	1,104	306 353
Redevance (Eau)	3 mois		3 000
TVA (Eau)	3	18%	1 620
Coût du gaz (bouteilles)	123	5 000	615 000
Coût du bois (kg)	28 665	62,50	1 791 563
Charges du personnel			
Travailleuses		4 287 958,115	4 287 958
Total			24 731 837
Coût par kg produit			1 178
Coût de vente du beurre	21 000	1300	27 300 000
Revenu (marge financière)			2 568 163
Revenu par kg			122,3

Ainsi pour une production annuelle de beurre de karité, le coût de production est évalué à 24 731 837 FCFA, soit 1 178 FCFA·kg⁻¹. Sachant que le beurre est vendu à 1 300 FCFA le kg, son revenu annuel est estimé à 2 568 163 FCFA, soit 122,3 FCFA·kg⁻¹.

La consommation totale en énergie est évaluée à 3 074 263,5 FCFA, avec le bois qui représente la plus grosse part (58%).

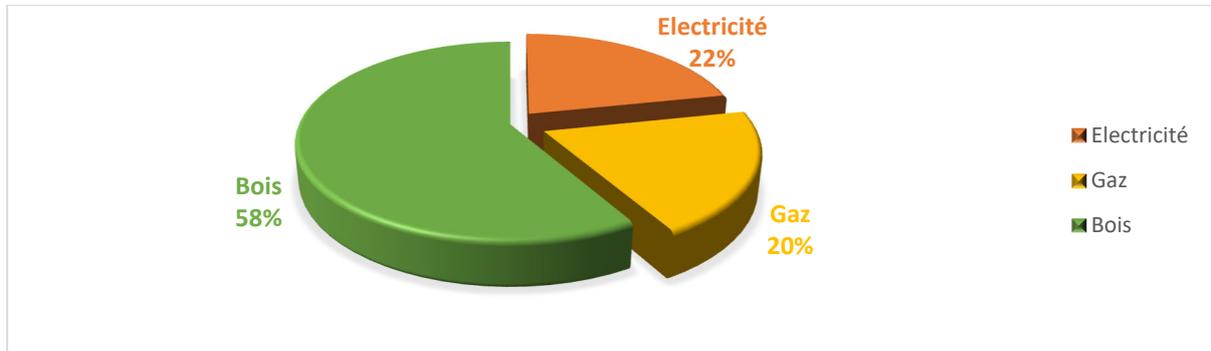


Figure 22 : Part financier de l'électricité, du gaz et du bois dans la consommation énergétique

3.2 DISCUSSION

3.2.1 Analyse des résultats

Avec un système de production mécanisé, ASY produit 764 kg de beurre à partir de 2 530 kg d'amandes achetées. Soit un rendement théorique de 30%. Ce rendement est similaire au rendement des systèmes mécanisés au Ghana, qui ont un rendement bien supérieur, soit 32,53% (Sachibu et Enno, 2013). Cependant des techniques traditionnelles ont des taux d'extraction bien plus élevées. Il s'agit de la technique de barattage classique (43,25%) et la technique de barattage Peuhl (48,63%) au Togo (Kpegba et al., 2017). Mais, il faut noter que la teneur en matière grasse des amandes au Togo est inconnue, ce qui ne permet pas de faire une comparaison significative des rendements. Toutefois, le calcul du rendement est le même défini dans cette étude.

À partir des résultats obtenus sur la capacité horaire des équipements, le torrificateur est capable de torrifier 82,69 kg d'amandes en une heure. Ce résultat est 3,3 fois supérieur à celui trouvé au Bénin du même type de torrificateur (torrificateur rotatif), qui torrifie 24,5 kg en une heure (Ahouansou et Singbo, 2010). Un résultat élevé mais discutable. En effet, au Bénin le torrificateur est alimenté par du bois alors que dans cette étude il s'agit du gaz butane. L'intensité du feu est différente. Aussi, les rendements des deux torrificateurs ne sont pas connus pour permettre une réelle comparaison. Après la torrification, les amandes subissent un second séchage afin d'avoir une pâte liquide huileuse après la mouture. Cependant nous constatons à plusieurs reprises qu'après mouture les amandes ne sortent pas sous forme

pâteuses. En effet, lorsque les amandes sont bien séchées, elles renferment que des matières grasses qui lors de la mouture donne une pâte huileuse. Par contre si elles ne sont pas bien sèches, à la mouture on obtient une texture granuleuse. Cela témoigne une forte teneur en eau toujours présente dans les amandes après le séchage. On conclut que le séchage n'a pas été suffisante, ou peut-être que les amandes n'ont pas été bien torréfiées. Dans ce cas, l'opération de mouture est interrompue. Les amandes qui ne sont pas encore passées au moulin sont ramenées au soleil pour subir un nouveau séchage. La petite portion qui n'est pas bien moulue (texture granuleuse) est recueillie dans un récipient puis mélangée aux amandes bien sèches afin de subir la prochaine opération de mouture. Au total, le séchage est une opération importante dans la filière karité car elle améliore le taux d'extraction et la qualité du beurre. Cependant, les conditions et la température de séchage sont entre autres des paramètres non respectés par les productrices. Toutes actions visant à améliorer les conditions de séchages amélioreraient le rendement d'extraction et la qualité du beurre.

Au cours des étapes de transformation des amandes de karité jusqu'au beurre lavé, de nombreuses opérations ont nécessité un apport d'énergie électrique (concassage, mouture, battage énergétique) et un apport d'énergie thermique issu du bois (cuisson de l'écume), du gaz butane (torréfaction, chauffage de l'eau, cuisson de l'huile) et du soleil (séchage des amandes et des tourteaux). Le bilan énergétique est établi comme suit :

- Les opérations de concassage, mouture et battage énergétique ont nécessitées au total 0,277 kWh (997,2 kJ) d'énergie électrique pour produire 1 kg de beurre de karité. Ce qui représente un coût total en énergie électrique de 31,8 FCFA·kg⁻¹, soit 2,7% de l'ensemble des charges. Cette consommation énergétique est 1,6 fois supérieure aux résultats obtenus par Sachibu et Enno (2013) au Ghana, soit 0,173 kWh pour produire 1 kg de beurre de karité. Cette consommation énergétique élevée peut s'expliquer par le fait que dans la technique décrite par Sachibu et Enno (2013), l'opération de battage énergétique est réalisée manuellement par les femmes alors que dans cette étude, il est utilisé une baratte électrique.
- 1,365 kg de bois sont consommés pour produire 1 kg de beurre de karité, soit une quantité énergétique de 24 570 kJ (PCI du bois = 18 000 kJ³) et un coût énergétique de 85,3 FCFA·kg⁻¹ (7,24% de l'ensemble des charges). On constate une consommation énergétique relativement faible par rapport aux résultats des rares travaux menés sur la

³ Sanogo, 2008

question de l'analyse énergétique du procédé de production du beurre de karité. Selon Sachibu et Enno (2013), il faut 1,734 kg de bois pour produire 1 kg de beurre de karité et selon Noumi et al. (2012), il faut 7,87 kg de bois pour produire 1 kg de beurre de karité. On constate que la consommation en bois est relativement faible par rapport aux deux travaux présentés précédemment. Cette faible valeur s'explique par le fait que dans les travaux de Sachibu et Enno (2013) et ceux Noumi et al. (2012), les opérations thermiques (torréfaction, cuisson de l'écume, chauffage de l'eau, réchauffement du beurre pour filtration) n'utilisent que du bois alors que dans notre cas c'est le bois et le gaz qui sont utilisés pour satisfaire les opérations thermiques. En réalité, dans cette étude, le bois n'est utilisé qu'à l'opération de cuisson de l'écume. Aussi le foyer utilisé est en banco (rendement : 30 à 40%) ayant un rendement meilleur au foyer à trois pierres (5%) utilisé dans les travaux de Sachibu et Enno (2013). Tout porte ainsi à croire que la consommation en bois dans cette étude devrait être 2 fois, voir 3 fois, inférieur à celui des travaux de Sachibu et Enno (2013). Le foyer utilisé possède une ouverture pour son alimentation en bois (Figure 23), qui lors de la cuisson, perd de l'énergie. Aussi il possède de nombreuses fissures témoignant de la vieillesse et la fatigue du foyer. En effet la construction du foyer date de 2004, alors que les foyers en banco, en terre cuite, ont une durée de vie de 2 ans (jusqu'à 4 ans). Il est certain que ces foyers ont perdus leurs efficacités. Cependant le rendement actuel de foyer n'a pas été évalué pour faire une réelle interprétation de l'efficacité de ce foyer. Cependant, en se basant sur la durée de vie des foyers en banco et de l'état actuel de ce foyer, il serait intéressant de reconstruire ce foyer. Aussi, nous optons pour la reconstruction du même type de foyer car il est facile à reproduire par les artisans locaux et le matériel nécessaire à sa construction est accessible. Il faut ajouter que la production annuelle de 21 t de beurre de karité nécessitera environ 28,67 t·an⁻¹ de bois (avec 1,365 kg de bois pour 1 kg de beurre produit). Cela concourt à une perte de 4,62 ha·an⁻¹ de couvert forestier.



Figure 23 : Cuisson de l'écume

- 0,073 kg de gaz utilisé pour produire 1 kg de beurre de karité soit une dépense énergétique de 3 339,9 kJ (0,928 kWh) dont le coût énergétique est de 29,3 FCFA·kg⁻¹ obtenu à partir de l'équation 15. Pour la production de 21 t de beurre de karité, cela représente 123 bouteilles de gaz de 12,5 kg. Le PCI est pris égale à 45 752 kJ.

Au total, le bilan énergétique pour produire 1 kg de beurre de karité est de 28 907,1 kJ, soit 607,05 TJ (168,7 GWh) pour produire 21 t de beurre de karité. Le bois représente à lui seul 85% de la consommation énergétique suivie du gaz (12%) et de l'électricité (3%)

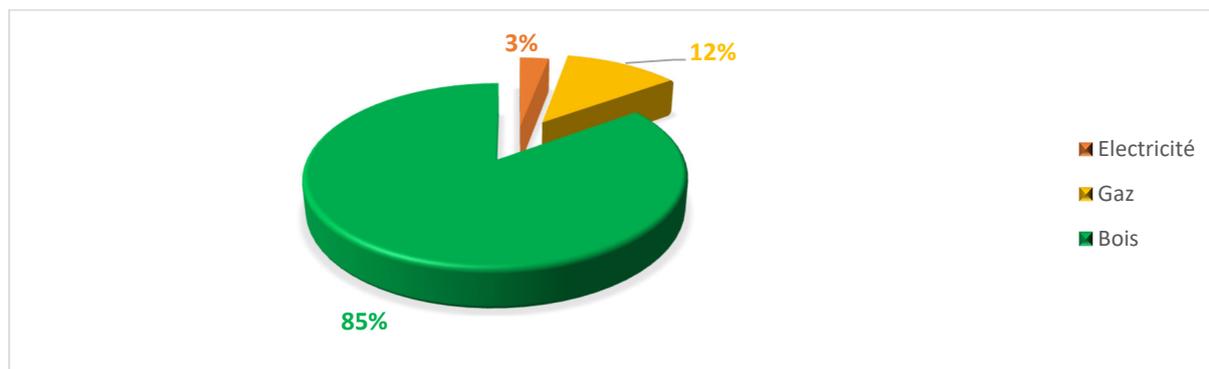


Figure 24 : Part énergétique de l'électricité, du gaz et du bois,

Par ailleurs, la production de 1 kg de beurre de karité engendre 2,284 kg de résidus de barattage très humide (60,6%) équivalent à 0,9 kg de matière sèche. Donc pour 21 tonnes de beurre de karité, cela représente 47 964 kg de résidus de barattage très humide et 18 897,82 kg de boues sèches. Grâce à leur forte teneur en beurre résiduel (15%), après séchage au soleil, ces boues ont donc un fort pouvoir calorifique (25 031 kJ) qui les rend intéressantes comme biocombustible en substitution du bois de feu puisque 1 kg de bois peut être remplacé par 0,72 kg de boue de barattage.

Les étapes les plus consommatrices en eau sont l'étape du lavage des amandes, l'étape d'obtention de l'écume et l'étape du lavage de l'écume, soit 70% des intrants (kg). En effet, pour produire 1 kg de beurre de karité il faut environ 13,214 l d'eau. Cela revient à environ 278 m³d'eau pour produire 21 t de beurre de karité. La quantité d'eau rejetée est importante. Face à ce constat, toutes actions visant à réduire la consommation en eau dans cette filière karité, permettraient d'une part de réduire la consommation en eau et de rediriger ce surplus vers les populations rurale en besoin.

3.2.2 Pistes d'optimisation du procédé de production du beurre de karité

L'opération de séchage est une importante opération qui améliore la qualité du beurre obtenu et son rendement d'extraction. Cependant il est une opération qui nécessite des améliorations

car le niveau de température (60 °C - 70 °C) recommandé dans la littérature n'est généralement pas atteint. Ainsi l'utilisation de séchoir solaire permettrait de remplir ces conditions et ainsi d'améliorer la qualité du beurre. Aussi dans le procédé de production du beurre de karité, l'étape la plus consommatrice en énergie est la cuisson de l'écume utilisant du bois. La consommation en énergie électrique est aussi non négligeable, soit 0,277 kWh pour produire 1 kg de beurre de karité. Aussi, dans le processus de production du beurre de karité, l'eau s'est révélée être une ressource très importante car une énorme quantité est utilisée. Cependant après utilisation, la quantité d'eau rejetée (278 m³d'eau) pousse à des réflexions dans le sens d'une réutilisation de cette eau dans le processus de production ou dans d'autres activités

Les actions à mener à cette étape de l'étude sont :

- L'introduction de séchoir solaire ;
- L'introduction des boues de barattage ;
- L'amélioration de l'état des foyers ;
- L'introduction d'une station de décantation ;
- L'introduction du solaire photovoltaïque ;
- L'introduction d'un chauffe-eau solaire pour satisfaire les besoins en eau chaude.

3.2.2.1 L'utilisation de séchoir solaire tunnel en Banco

Comme mentionné, l'utilisation de séchoir solaire permettrait aux productrices de faciliter la torréfaction en réduisant considérablement le taux d'humidité, d'améliorer la qualité du beurre et d'augmenter le rendement d'extraction du beurre de karité. Les séchoirs solaires tunnel en Banco (Figure 25) ont une capacité de 80 à 120 kg de produits frais avec des températures de 40 à 70 °C (N'tsoukpoe, Bambara, et Gaye, 2015). Les plages de température correspondent à celles suggérées par Womeni et al. (2006, 2007) pour avoir une bonne qualité du beurre et améliorer le taux d'extraction, soit 60 à 70 °C.



Figure 25: Séchoir solaire tunnel en Banco

Avec une capacité de séchage importante, ce type de séchoir (Annexe VI) est juste une aire entourée de brique de ciment stabilisée appelée banco ($6,2 \times 2,5$ m). Le bâti est surmonté par du bois avec une couverture en film transparent ($14 \times 3,4$ m) fixée sur ces bois. Le séchoir dispose de 8 claies de $1,5 \text{ m}^2$ chacune disposées à environ 1 m du sol sur un même plan horizontal. Le film plastique augmente la vitesse de séchage à travers le phénomène d'effet de serre, de protéger également les amandes contre la poussière, les résidus dans l'environnement immédiat et éventuellement de la pluie. Sa construction est simple avec des matériaux locaux. Son coût est estimé à 600 000 FCFA. Elle peut faire plusieurs années (environ 10 – 15 ans) sans se détériorer. Seule la couverture plastique est renouvelée tous les deux ou trois ans à hauteur de 100 000 FCFA et le tamis en nylon des claies qui constitue également une pièce d'usure.

3.2.2.2 L'introduction des boues de barattage

L'analyse du taux d'humidité des boues de barattage a montré que 47 964 kg de résidus de barattage d'une humidité de 60,6% permettent de produire 18 897,82 kg de boues sèches (Figure 26). Aussi l'analyse du PCI a montré que 1 kg de bois peut être remplacé par 0.72 kg de boue de barattage. Ainsi, l'utilisation de 18 897 kg de boues sèches réduisent l'utilisation du bois à 2 424,17 kg, soit une économie de 26 245,83 kg de bois pour 21 t de beurre produit.

La réalisation de ces boues est très facile et ne nécessite pas d'équipement particulier. Après exfiltration de l'eau dans le sol, les boues sont malaxées à la main par les femmes pour avoir une forme ronde et ensuite laissées au soleil pour bien sécher. Cette tâche peut être intégrée dans le processus de production du beurre de karité. Les femmes bénéficieront de 5 FCFA pour 1 kg de boue traitée, soit 239 820 FCFA pour toute la production. Après séchage, les boues sont introduites dans des sacs pour être stockées. Les sacs d'amandes vides seront utilisés pour le

stockage.



Figure 26 : Boule de boue de barattage pour combustion

3.2.2.3 Reconstruction des foyers en banco

Au cours des nombreuses opérations de cuisson, le foyer en banco a subi des dégradations. On peut remarquer à la Figure 27, l'apparition des fissures témoignant du vieillissement des foyers. On remarque également un élargissement de l'ouverture de l'introduction du bois et aussi l'utilisation des pierres pour maintenir la marmite en place. Il est donc nécessaire de reconstruire ces foyers pour permettre de réduire aussi la consommation en bois.



Figure 27 : Foyer en banco en mauvaise état

De plus nous proposons d'ajouter une fermeture à l'ouverture du foyer afin qu'après introduction du bois, on puisse limiter les échanges de chaleur avec l'extérieur. Bien sûr, pour que cela fonctionne il faut que le bois soit découpé sous forme de buche d'environ 25 cm de long avec un diamètre de 10 à 15 cm. Le coût de construction de ce même type de foyer en banco auprès des artisans locaux (à Ouagadougou) est de 20 000FCFA. En intégrant cette option de fermeture à l'avant, le prix peut atteindre 22 500 FCFA.

3.2.2.4 La construction d'une station de décantation

Les étapes les plus consommatrices en eau sont le lavage des amandes, l'obtention de l'écume, le lavage de l'écume. L'eau issue de ces étapes peut être introduite dans le bac à décantation. Après décantation, l'eau est autorisée, grâce à une vanne, à rejoindre un second bassin à travers un tuyau. Dans le second bassin l'eau devenue plus claire et libérée des particules solides peut être utilisée pour le lavage des amandes dans le processus de production ou être utilisée pour l'irrigation des plantes ou autres activités ne nécessitant pas de l'eau pure. Cette station permet aussi de faciliter la récupération des boues de barattage.

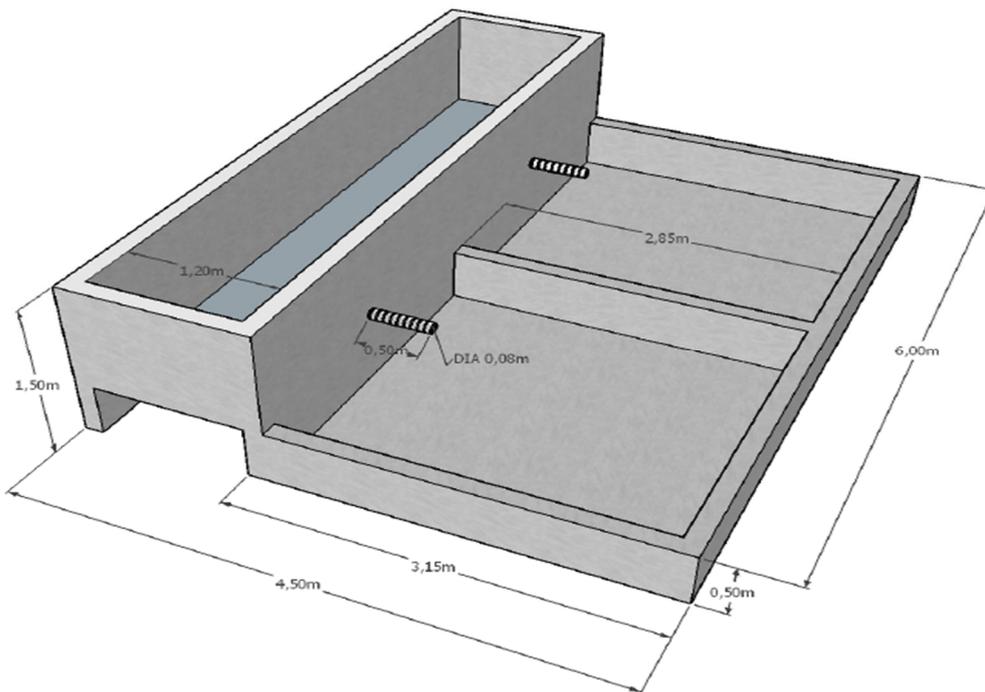


Figure 28 : Plan de la station de décantation

En considérant que l'eau issue de la décantation est utilisée pour laver les amandes, nous pouvons économiser jusqu'à 21,8% de l'eau nécessaire, soit 60 494 m³ d'eau. Une économie de 66 785 FCFA par an.

La construction de ce type de décanteur est évaluée à 627 000 FCFA. Sa construction nécessite 7,7 m³ de béton. Le prix du mètre cube de béton est égal à 70 000 FCFA. À cela, il faut ajouter 40 fers de 10 mm d'un coût unitaire de 3 200 FCFA et un tube PVC de 75 mm de diamètre. Les détails complémentaires sur le décanteur sont donnés à l'Annexe VII

La main d'œuvre est évaluée à 84 000 FCFA (3 500 FCFA × 2 personnes × 12 jours) et une maintenance annuelle de 50 000 FCFA.

3.2.2.5 L'introduction du solaire photovoltaïque

Il existe trois systèmes photovoltaïques à savoir, le système autonome avec stockage à batterie,

le système au fil du soleil sans stockage et le système connecté au réseau.

Dans cette étude, notre choix s'est porté sur le système connecté au réseau car elle répond parfaitement aux conditions de fonctionnement du site de production (Karibio). En effet il faut savoir que la production du beurre de karité ne dure que 3 mois (Novembre, Décembre et Janvier) sur toute l'année. Les équipements tel que le moulin et la baratte électrique appartiennent à ASY et sont utilisés que pour la production du beurre de karité. Aussi le site dispose de 3 locaux de stockage d'amandes et de beurres et d'un bureau. L'énergie consommée par ces locaux sont issus de l'éclairage, soit 1 lampe par local. Après la production du beurre de karité, vient la production de l'huile de sésame qui dure 2 mois environ. La production de l'huile de sésame utilise une presse hydraulique alimentée par l'électricité de la SONABEL. Au total, il faut retenir que le temps de travail sur ce site est de 5 mois par an. En dehors de cette période aucune activité nécessitant une consommation électrique importante n'est réalisée. Les bureaux ne sont utilisés que pendant la période de production. La direction d'ASY est située à Gounghin où elle réalise des opérations administratives.

Aux vues de ces constats, l'introduction d'un système photovoltaïque autonome n'est pas la meilleure solution puisqu'elle ne sera exploitable que pendant 3 mois, voire 5 mois en considérant qu'elle peut être utilisée pour compenser l'énergie électrique pendant la production de l'huile de sésame. Aussi le stockage est un problème majeur dans les systèmes autonomes. Leurs coûts élevés, les entretiens et leurs temps de vie inférieur à ceux des panneaux solaires limitent l'utilisation de ce système. Pour réduire les coûts d'investissement, la solution sera donc de mettre en place un système au fil du soleil sans stockage. C'est une solution intéressante puisque les activités de production ne sont réalisées que pendant la journée. Cependant ce système possède quelques limites en ce sens que la variation de l'ensoleillement pourra influencer la quantité d'énergie requise dans une plage d'heure donnée (exemple : 7h ou 16h). Aussi, l'objectif de la mise en place d'un système photovoltaïque étant qu'elle soit profitable, il serait intéressant d'exploiter l'énergie pendant les périodes de non production (7 mois). Pour parvenir à cela, la seule alternative est d'opter pour le système photovoltaïque connecté au réseau.

Le système connecté au réseau (Figure 29) consiste à garder les charges électriques connecté sur le réseau national et à produire une quantité d'énergie électrique équivalente ou supérieur à sa consommation à partir d'un générateur photovoltaïque et à la vendre au distributeur nationale (SONABEL).

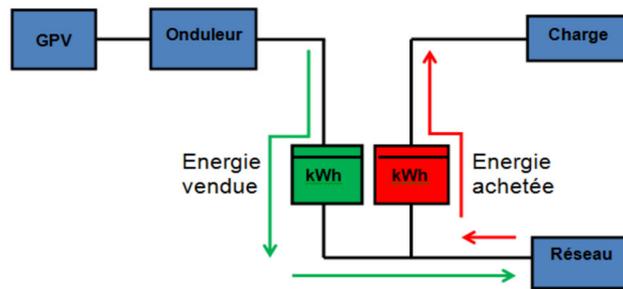


Figure 29: Système photovoltaïque connecté au réseau

L'avantage dans ce système est que pendant la période de non production, le système continue de produire de l'énergie et injecte sur le réseau de la SONABEL. Le compteur de vente d'énergie enregistre la quantité d'énergie produite et la SONABEL enregistre cette production en faveur de ASY. Sachant que ASY possède une direction fonctionnelle toute l'année, le surplus de l'énergie produit par ce système peut servir à réduire ou compenser intégralement l'énergie consommé sur son second site (la direction).

Le dimensionnement de ce système a été réalisé à partir de la quantité d'énergie nécessaire à la production du beurre de karité sur 3 mois, soit 5 817 kWh. La mise en place du système nécessitera 20 modules de 250 Wc de marque SolarWorld, soit un champ de 5 kWc. La surface occupée par les panneaux est de 34 m². Elle nécessitera également 1 onduleur triphasé de 5 000 VA de marque SMA, 2 disjoncteurs, 2 parafoudres et des câbles de connections. Le détail du dimensionnement est disponible en Annexe IX.

L'investissement est évalué à 4 836 500 FCFA (Annexe IX Tableau 3). L'installation de ce système engendre donc une économie de 667 701 FCFA (coût de l'énergie électrique avant l'installation du PV) et une maintenance de 50 000 FCFA par mois du système. Ainsi en utilisant la formule de la VAN (Valeur actuelle Nette), avec un taux d'actualisation de 8% et une durée de vie du projet de 20 ans, l'investissement n'est rentable qu'à partir de la 13^{ème} année (Annexe IX Figure 5).

Il faut noter que le temps de retour sur investissement peut être fortement réduit car dans cette étude nous n'avons tenu compte que des économies réalisées pendant la période de production du beurre de karité. Étant donné que ce système fonctionnera sur toute l'année il serait intéressant d'évaluer les économies réalisées pendant la production de l'huile de sésame et aussi pendant le reste de l'année en compensant la consommation de la direction de ASY. L'évaluation de ces économies nécessitera de suivre le fonctionnement du système sur l'année. Ce qui peut être objet d'une autre étude. Toutefois les résultats obtenus sont satisfaisants, voilà pourquoi son installation sera bénéfique pour ASY.

Le système photovoltaïque proposé est une solution pour des années à venir car le système de comptage et de vente d'énergie à la SONABEL n'est pas encore appliqué dans le contexte du Burkina Faso. En effet aucun accord n'a encore été signé stipulant qu'un particulier peut réaliser un système connecté réseau et vendre son énergie produit à la SONABEL. Cependant des accords ont été signés avec la SE4ALL (Sustainable Energy for All) pour l'application de ce système d'ici 2022 à 2025. Ainsi dès l'application de ce système de vente d'énergie, ASY pourra tirer avantage de cela et vendre son énergie à la SONABEL et faire ainsi des économies sur sa consommation en énergie électrique.

3.2.2.6 L'introduction de chauffe-eau solaire

La production de beurre de karité nécessite environ 50 l d'eau par jour. Cette quantité d'eau est produite par du gaz butane qui engendre sur la durée de production (3 mois) une dépense de 615 000 FCFA. L'introduction d'un chauffe-eau solaire permettrait ainsi d'économiser 615 000 FCFA.

Le choix s'est porté sur un chauffe-eau solaire de type capteur stockeur direct à cause de sa disponibilité et de sa faisabilité par les artisans locaux. Le dimensionnement (Annexe X) nous permet de retenir 1 capteur de 1,4 m² avec une capacité de stockage de 100 l. Le coût de ce système est évalué à 225 000 FCFA. En considérant un taux d'actualisation de 8%, une durée de 20 ans et des frais de maintenance annuelle de 5 000 FCFA, le temps de retour sur investissement est d'environ 5,5 ans.

En se basant sur les résultats du dimensionnement, l'introduction du solaire thermique serait rentable au bout de 8 ans. Cependant son utilisation pendant 3 mois sur l'année n'est pas intéressante. En effet, l'eau chaude n'est nécessaire que pendant la période de production du beurre de karité. En dehors de cette période, il n'existe pas d'activité utilisant de l'eau chaude. La production de l'huile de sésame n'utilisant également pas d'eau chaude, le capteur solaire sera donc abandonné pendant 9 mois sans utilisation. La probabilité qu'il soit endommagé par les aléas du climat sont fortes. Investir dans un équipement (supposé renouvelable) qui n'est pas exploité à son plein potentiel n'est pas pertinent.

Au total, l'introduction de chauffe-eau solaire dans le système de production du beurre de karité, quoique rentable, n'est pas pertinente à cause de son faible temps de fonctionnement, soit 3 mois sur l'année.

3.2.2.7 Impacts environnementaux

L'introduction des boues de barattage dans la production et la reconstruction des foyers rend le processus autonome en combustible et par conséquent préserve le couvert forestier. En effet, l'utilisation des boues de barattage permet d'économiser jusqu'à 88,63% de bois et ainsi

préserver 4,28 ha de couvert forestier. L'introduction de la station de décantation permet d'utiliser 217,506 m³ pour l'irrigation (pour 21 t de beurre produits). Cependant il est nécessaire de mener des études plus approfondies sur la composition chimique des particules d'huile contenue dans cette eau pour s'assurer qu'elle ne porte pas atteinte aux plantes.

3.2.3 Analyse financière

Le bilan financier est établi en considérant les améliorations introduites dans le système. La rentabilité financière de ces améliorations sont ensuite observées sur 20 ans (durée de vie des panneaux et des onduleurs) en considérant un taux d'actualisation de 8% (taux fixé en Afrique de l'ouest pour les projets d'énergie renouvelable).

- L'introduction de séchoir solaire nécessite un investissement de 600 000 FCFA. Sa durée de vie est estimée à environ 20 ans. Cependant le film plastique nécessite d'être remplacé à hauteur de 100 000 FCFA tous les 2 ans.
- L'introduction des boues de barattage nécessite un investissement de 239 820 FCFA dans la main d'œuvre tout en économisant 1 640 364 FCFA annuellement.
- La reconstruction de foyers nécessite un investissement de 22 500 FCFA. Sa durée de vie est de 5 ans ;
- La construction du décanteur est évaluée à 627 000 FCFA. Il permet d'économiser 66 785 FCFA par an sur la consommation en eau. Sa durée de vie est évaluée à 20 ans.

Ce bilan est réalisé sans tenir compte du solaire thermique (chauffe-eaux solaire) qui n'est pas une proposition retenue et le solaire photovoltaïque qui lui est une solution pour des années à venir et son application nécessite des autorisations qui ne sont pas encore signées.

Ainsi en considérant ces 4 introductions, l'investissement de la première année est de 1 573 320 FCFA. Le temps de retour est estimé à 1 an avec un bénéfice de 7 374 FCFA. Les détails du calcul sont présentés à Annexe XI.

3.2.4 Proposition d'une chaîne de production

En intégrant ces améliorations dans le processus de production, la nouvelle chaîne se présente comme illustré à la Figure 30.

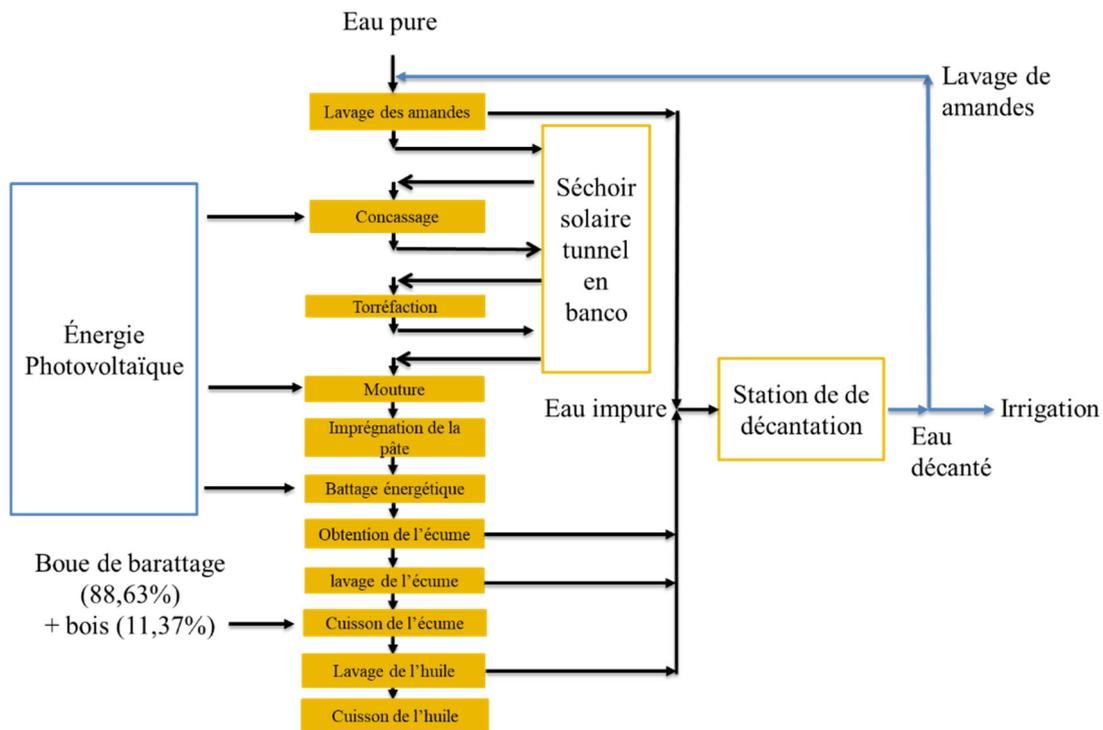


Figure 30 : Nouvelle chaîne de production en intégrant les améliorations

CONCLUSION- PERSPECTIVES

L'analyse énergétique du processus de production du beurre de karité a révélé les éléments suivants :

- un rendement de production faible, soit 30% ;
- une consommation énergétique élevée, avec le bois qui représente 58% de cette consommation ;
- des foyers en banco en mauvais état ;
- le séchage réalisé n'est pas suffisant, entraînant des consommations en énergie lors de la torréfaction ;
- une consommation importante en eau, soit 13,214 l pour 1 kg de beurre de karité.

À partir de ces résultats, des points d'amélioration ont été proposés avec une simulation financière et les impacts sur l'environnement. L'introduction des boues de barattage et la reconstruction des foyers améliorés permettent de réduire la consommation en bois de 26,3 t et de préserver 4,28 ha de couvert forestier. Aussi l'introduction de système photovoltaïque connecté au réseau permet de réduire la consommation en énergie électrique. L'introduction de séchoir solaire en banco, permet d'améliorer la qualité des amandes par la réduction considérable du taux d'humidité et d'améliorer le taux d'extraction du procédé. L'impact du séchage sur le taux d'extraction n'est pas clairement établi dans les rares travaux sur le séchage solaire des amandes. Il serait intéressant de réaliser des travaux montrant l'effet du séchage solaire des amandes sur le taux d'extraction du beurre de karité. Est-ce positif ou négatif ? Aussi l'introduction d'un décanteur permet d'économiser jusqu'à 21,8% d'eau et d'utiliser 217,506 m³ pour l'irrigation. Cependant comme expliqué dans la section impact environnemental, il est nécessaire de mener des études plus approfondies sur la composition chimique des particules d'huile contenues dans cette eau pour s'assurer qu'elle ne porte pas atteinte aux plantes.

Les limites de ce stage se situent au niveau de la détermination de la quantité de savon produit. En effet, la détermination de la quantité de savon produit par le beurre résiduel n'a pas été possible car la quantité (10 kg) obtenue à la fin de nos tests n'était pas suffisante pour lancer la production du savon. Pour pouvoir participer à l'opération de production du savon, il aurait fallu attendre la fin de la production des 21 t du beurre de karité qui devra durer encore 2 mois sachant que notre contrat s'achève 2 mois plutôt. Aussi, les femmes étaient un peu réticentes quant à la réalisation de plusieurs essais lors de l'expérimentation car cela ralentirait leur travail. Nous étions ainsi contraints à limiter la prise des données à 2 essais, voir 1 dans certains cas.

RECOMMANDATIONS

À l'issus de nos travaux à ASY, nous recommandons ce qui suit :

- Les productrices du beurre de karité d'ASY sont pour la plupart des mamans et de grands-mères dont l'âge se situe entre 40 à 65 ans. La production du beurre de karité est une activité très pénible avec de lourdes charges à déplacer. Nous suggérons à ASY de recruter 2 ou 4 jeunes filles de 18 à 30 ans, chaque année, afin pour qu'elles assument les tâches physiques. Elles pourront aussi apprendre le métier avec ces vieilles femmes très expérimentées afin que dans 2 à 5 ans, elles prennent la relève.
- Il faut équiper les femmes d'équipement de protection individuelle (EPI). En effet lors de la production, les femmes ne disposent pas de chaussures fermées pour se protéger des éventuels accidents.
- Produire le beurre de karité en fonction de la provenance (région). En effet, pendant la production, les amandes en provenance des zones rurales tels que Boulsin et Boussé sont mélangées pour produire un seul type de beurre de karité. Alors qu'il serait intéressant de séparer les amandes venant des différentes localités pendant la production et de produire que le beurre de karité correspondant à la localité en utilisant les amandes de la localité. Donc il s'agira, par exemple, d'utiliser les amandes de Boussé pour produire le beurre de Boussé. Cela permettra de facilement déclasser un beurre s'il a une contamination dans une région.
- S'équiper de séchoir solaire pour réaliser un bon séchage des amandes ;
- Construire une station de décantation des eaux impures et des boues de barattage ;
- Reconstruire les foyers en banco ;
- Construire un système photovoltaïque connecté au réseau.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

Citation articles scientifiques

- Aboubakar A.K.D., Henriette A.Z., Kameni A. et Tchiégang C. 2009. « Procédés traditionnels de production et circuit de commercialisation du beurre de karité au Nord-Cameroun ». *Tropicultura* 27(1) : 3-7.
- Ahouannou C., Tchobo F.P., Toukourou A.C., Kougbadi F., et Soumanou M.M., 2013. « Influence des opérations thermiques impliquées dans les procédés traditionnels d'extraction du beurre de karité au Bénin ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 7(5) : 2151-64.
- Ahouansou R. et Singbo A. 2010. « Évaluation performances techniques de deux torrificateurs d'amande de karité ». *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin* (68) : 20-28.
- Dabat M.-H., Blin J., et Rivier M. 2010. « Affronter le défis énergétique et alimentaire au Burkina Faso ». *Innovation et Développement Durable dans l'Agriculture et l'Agroalimentaire (ISDA)* (1) :14.
- Kpegba, K., Kpokanu A.S., Simalou O., Novidzro K.M., et Koumaglo H.K. 2017. « Évaluation des techniques de production du beurre de karité au Togo ». *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 11(4) :1577-1591.
- Rousseau K., Gautier D., et Wardell A.D. 2015. « Coping with the Upheavals of Globalization in the Shea Value Chain : The Maintenance and Relevance of Upstream Shea Nut Supply Chain Organization in Western Burkina Faso ». *World development* 66 :413-427.
- Saussey M. 2011. « Le barattage des savoirs : Circulations des ressources et apprentissages des artisans burkinabè dans un contexte de mondialisation ». *Revue d'anthropologie des connaissances* 5(3):551-572.
- Sanogo O. 2008. « Test de performances des foyers « Roumde » ». *Institut de Recherche en sciences appliquées et technologies (IRSAT) Rapport provisoire* (8) :21.

Son G., Ye G.S., et Kaboré A. 2012. « Besoins et pratiques du dosage de l'eau du procédé d'extraction du beurre de karité par barattage ». Série A(14(1)):45-52.

Womeni, H. M., Ndjouenkeu R., Kapseu C., Mbiapo F.T., Parmentier M., et Fanni J. 2006. « Effet de la cuisson et du séchage des noix de karité (*Butyrospermum parkii* (G. Don) Kotschy) sur la qualité du beurre ». *Tropicultura* 25(3):175-82.

Womeni, H. M., Ndjouenkeu R., Kapseu C., Mbiapo F.T., Parmentier M., et Fanni J. 2007. « Séchage des amandes de karité et qualité du beurre : impact du séchage traditionnel au soleil ». *Tropicultura* 25(4):240-47.

Citation articles de colloque

Noumi E.S., Dabat M.-H., et Blin J. 2012. Développement durable de la transformation traditionnelle du karité en valorisant énergétiquement les résidus organiques. Acte du Colloque International Francophone d'Énergétique et de Mécanique. *CIFEM 2012 ART-4-39*. Ouagadougou, Burkina Faso.

Saussey M., Moity-Maizi P., et Muchnik J. 2006. « La production de beurre de karité au Burkina Faso : une économie féminine enchâssée ». 3^{ème} colloque international du réseau SYAL (Systèmes Agroalimentaires Localisés). Alimentation et territoires (ALTER 2006). 33.

Citation ouvrages

Achada, A.S. 2015. *Politique d'efficacité énergétique de la CEDEAO. Rapport*. Praia, Cap vert : CEREEC.

Badini Z., Kaboré M., Sluijter J.V.D.M., et Vellema S. 2011. *Historique de la filière karité au Burkina Faso et des services offerts par les partenaires techniques et financiers aux acteurs*. rapport de recherche du VC4PD. 11. Burkina Faso : VC4PD.

Brondex V. 1999. *Évaluation des impacts potentiels d'une augmentation de la production du beurre de karité : le cas de la ville de Boyan au Mali*. Mémoire en vue de l'obtention du Maître en environnement (M.Env). Mali.

De Poncins C. 2005. *Le karité, beurre d'Afrique*. rapport de recherche. Association Équiterre.

Dubut O. 2012. « Les beurres : (*Butyrospermumparkii*), cacao (*Theobroma cacao*), kokum

(*Garcinia indica*) et illipé (*shorea stenoptera*) ». Th. Doct. : Faculté de Pharmacie.
Université de Nantes.

Eminakpo A. 2013. *Guide pratique de la production du beurre de karité*. Manuel de l'apprenant. Bénin : SWISSCONTACT, HELVETAS BENIN.

GRET (Groupe de recherche et d'échanges technologiques). 2008. Développement d'innovations techniques, économiques, organisationnelles, dans la filière karité. *rapport de recherche*. Ouagadougou, Burkina Faso.

Lebert O. 2005. « Le karité et le henné ; deux matières premières africaines à fort pouvoir culturel local utilisées dans les cosmétiques ». Th. Doct. : Faculté de pharmacie.
Université de Nantes,

N'tsoukpoe E.K., Bambara B., et Gaye M. 2015. Rapport de l'étude de marché du solaire thermique : production d'eau chaude et de séchage de produits agricoles. *Rapport d'étude de marché*. Ouagadougou, Burkina Faso: 2iE.

Sachibu M. et Enno H. 2013. *Behind the Butter : An Energy Annalysis of Shea Butter Processing. Rapport d'étude*. Ghana.

Yokadjim P. 2006. *Étude de la plate-forme multifonctionnelle : services énergétiques et processus de développement humain durable ; le cas de la filière karité dans le centre-Ouest du Burkina Faso*. Mémoire de fin d'étude. Ouagadougou, Burkina Faso : Groupe EIER-ETSHER actuel 2iE.

Zalle A. 2008. *Étude de l'impact socio-économique de la production du beurre de karité sur les conditions de vie des femmes en milieu rural: cas de la région du Centre Sud du Burkina Faso (Pô)*. Mémoire de fin de cycle. 00-2008/SER. Bobo-Dioulasso, Burkina Faso: Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso.

Sites internet

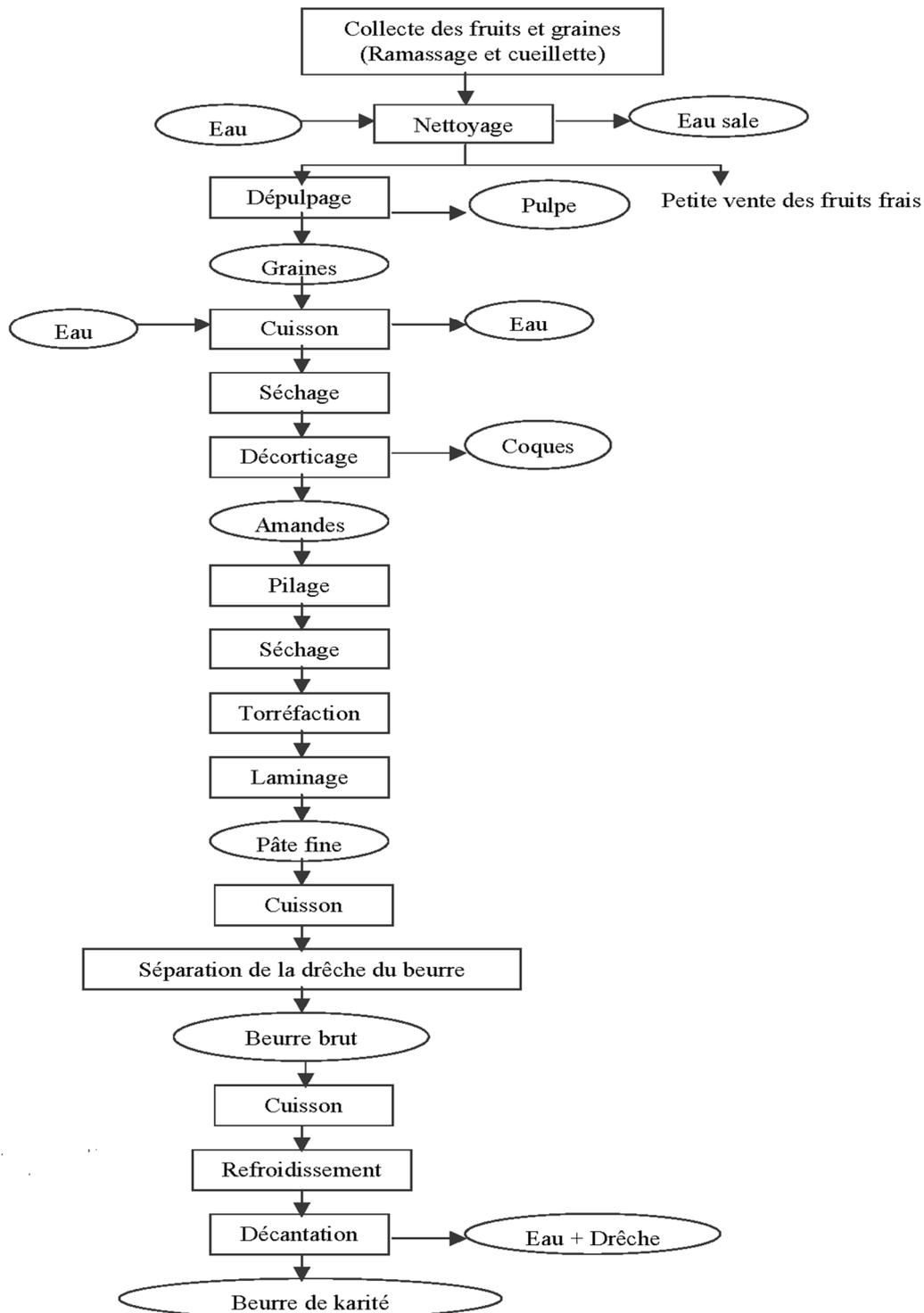
Bambio, François Z. 2016. « investirauburkina.net - Burkina Faso : 2ème producteur mondial de karité en 2015 ». *Investir au Burkina Faso*.

(<https://investirauburkina.net/index.php/syntheses-economiques/tourisme/item/709-burkina-faso-2eme-producteur-mondial-de-karite-avec-24-4-milliards-de-fcfa-de-recettes-d-exportation-en-2015>). Consulté le 25 juillet 2019

ANNEXES

Annexe I : Différents procédés d'obtention d'amande et de production du beurre de karité	V
Annexe II : Information sur le matériel.....	XIII
Annexe III Résultats des travaux	XVI
Annexe IV Fiche technique du moteur de la baratte.....	XXI
Annexe V : Fiche technique du moteur du concasseur/moulin.....	XXII
Annexe VI : Séchoir banco	XXIII
Annexe VII : Station de décantation	XXVI
Annexe VIII : Profil et historique de l'association Songtaab-Yalgré (ASY).....	XXVIII
Annexe IX: Système PV injecté réseau.....	XXXI
Annexe X : Chauffe-eau solaire thermique.....	XXXVII
Annexe XI : analyse financière avec les améliorations.....	XXXVIII

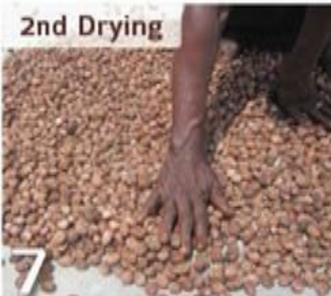
*Annexe I : Différents procédés d'obtention d'amande et de production
du beurre de karité*



Annexe I Figure 1 : Diagramme du procédé d'extraction du beurre de karité par voie sèche (Aboubakar et al, 2009).

QUALITY SHEANUTS

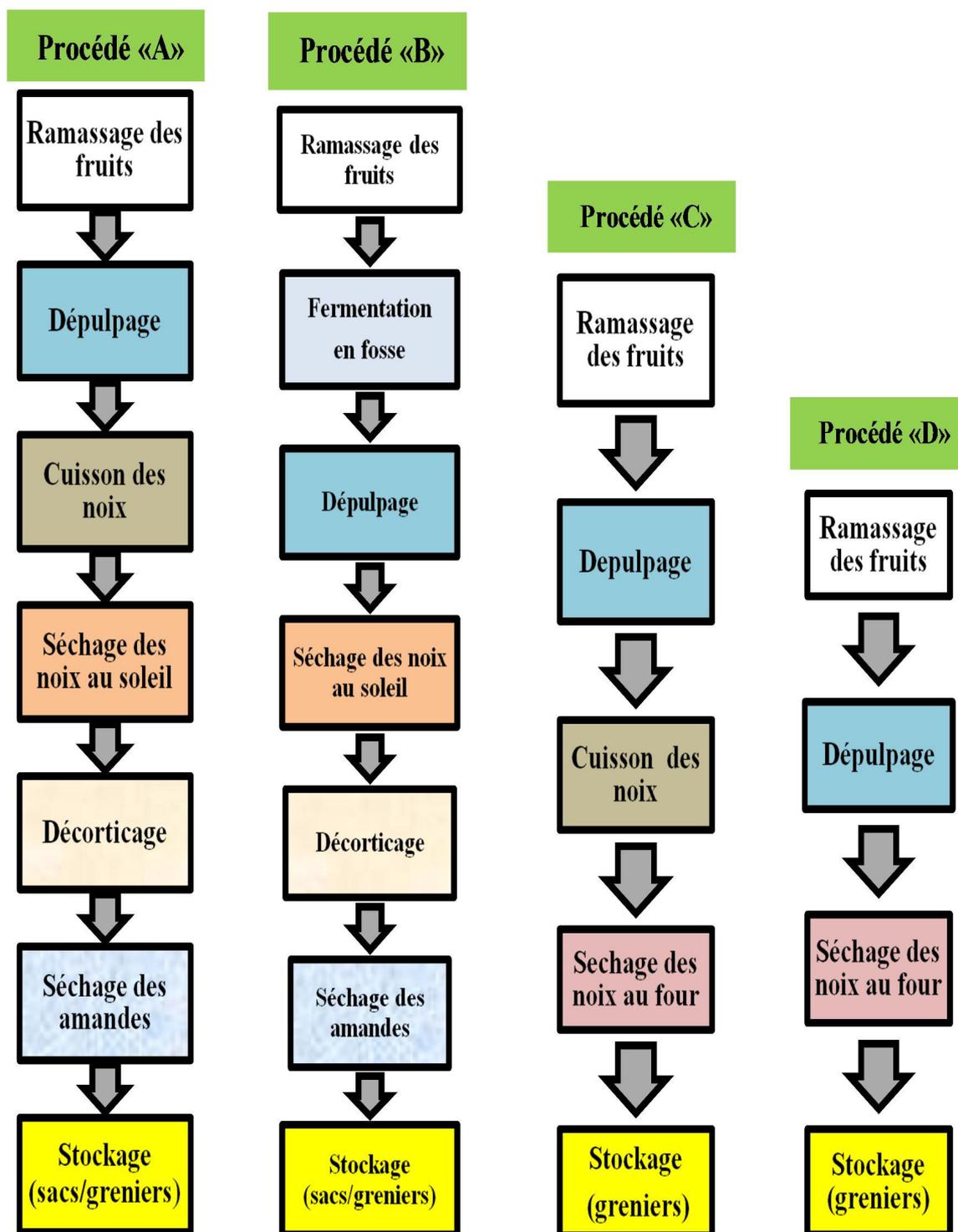
best practices for production

 <p>1</p>	 <p>2</p>	 <p>3</p>
<p>Collect Collect ripe fruit from ground DON'T SHAKE OR KNOCK FROM TREES</p>	<p>De-pulp De-pulp quickly – by hand or feed animals DON'T USE ROTTEN OR GERMINATED NUTS</p>	<p>Boil Boil nuts in water within 7 days for 40 minutes maximum DON'T OVERBOIL – SAVE WATER AND FIREWOOD</p>
 <p>4</p>	 <p>5</p>	 <p>6</p>
<p>1st Drying Dry quickly on clean surfaces, mats or drying racks DON'T EXPOSE TO RAIN OR DIRT</p>	<p>De-husk De-husk within 3-4 days</p>	<p>Sort Remove bad nuts and impurities DON'T MIX WITH SAND, STICKS, STONES, ETC</p>
 <p>7</p>	 <p>8</p>	 <p>9</p>
<p>2nd Drying Continue to dry on clean surfaces still removing all bad nuts MOISTURE SHOULD BE UNDER 7% BY WEIGHT</p>	<p>Check Moisture Test for dryness DON'T STORE SOFT OR MOIST NUTS</p>	<p>Store Store dry nuts in jute sacks off the floor in dry airy conditions DON'T STORE IN PLASTIC, FERTILISER OR PP SACKS</p>



www.globalshea.com

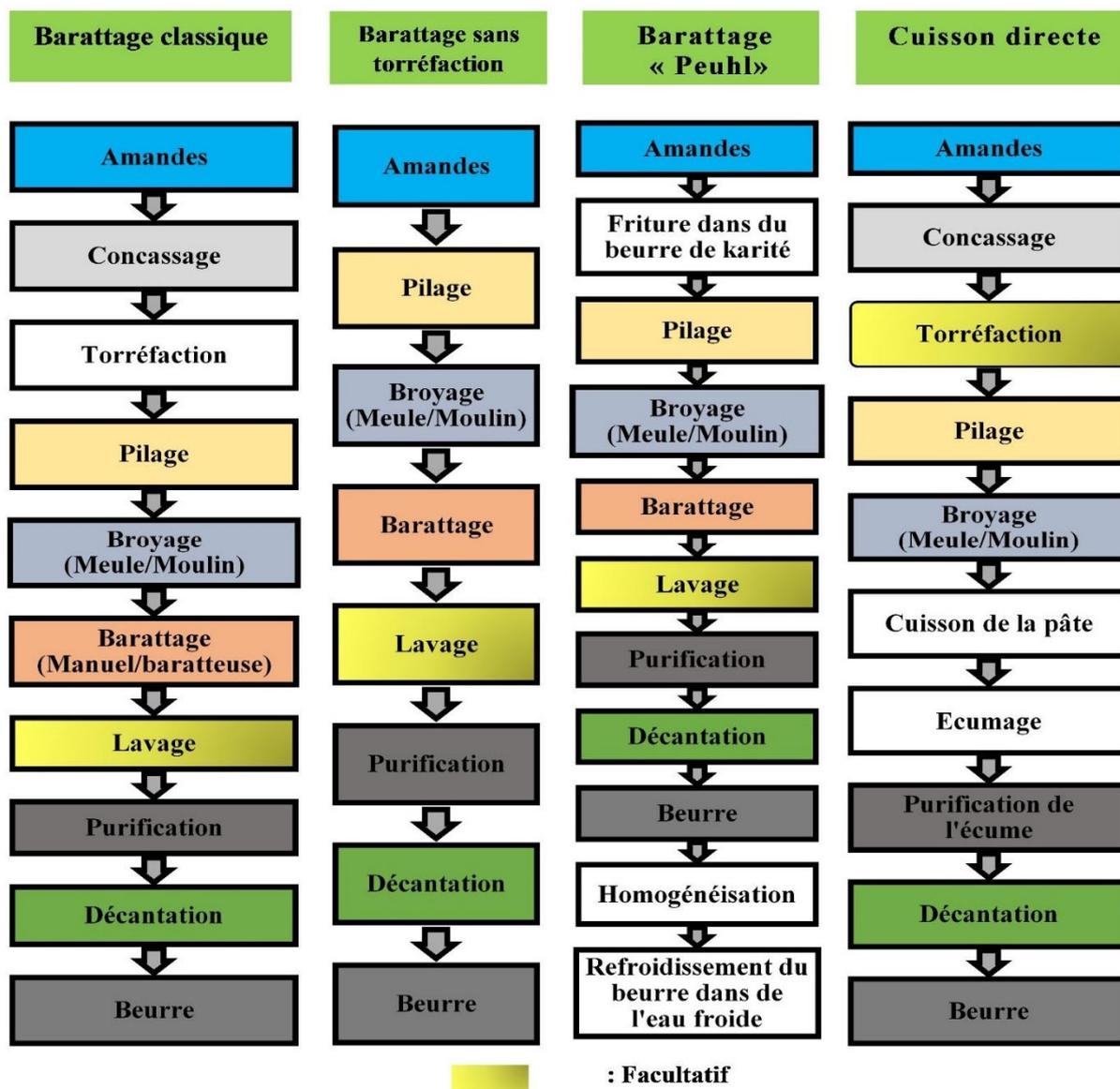
Annexe I Figure 2 : Procédés d'obtention des noix de karité au Ghana (Sachibu et Enno, 2013)



Annexe I Figure 3 : Procédés traditionnels d'obtention des noix de karité au Togo (Kpegba et al., 2017)

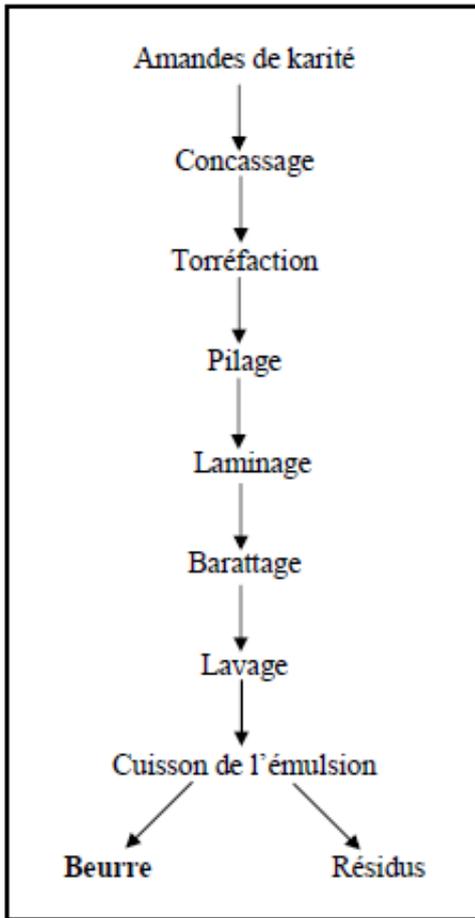


Annexe I Figure 4 : Diagramme du procédé d'extraction du beurre de karité par voie humide (Aboubakar et al., 2009).

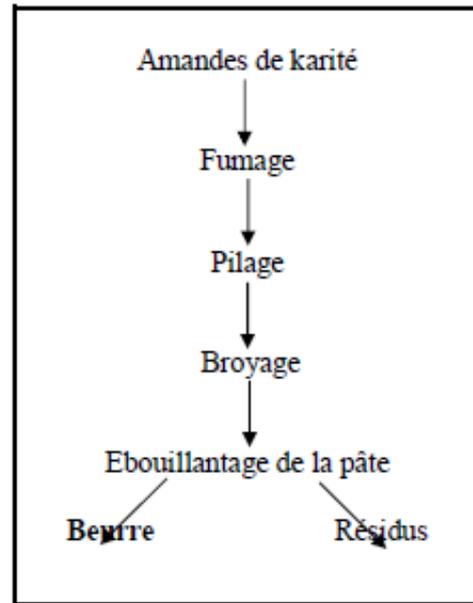


Annexe I Figure 5 : Procédés traditionnels de production du beurre de karité au Togo. (Kpegba et al., 2017)

Méthode par barattage



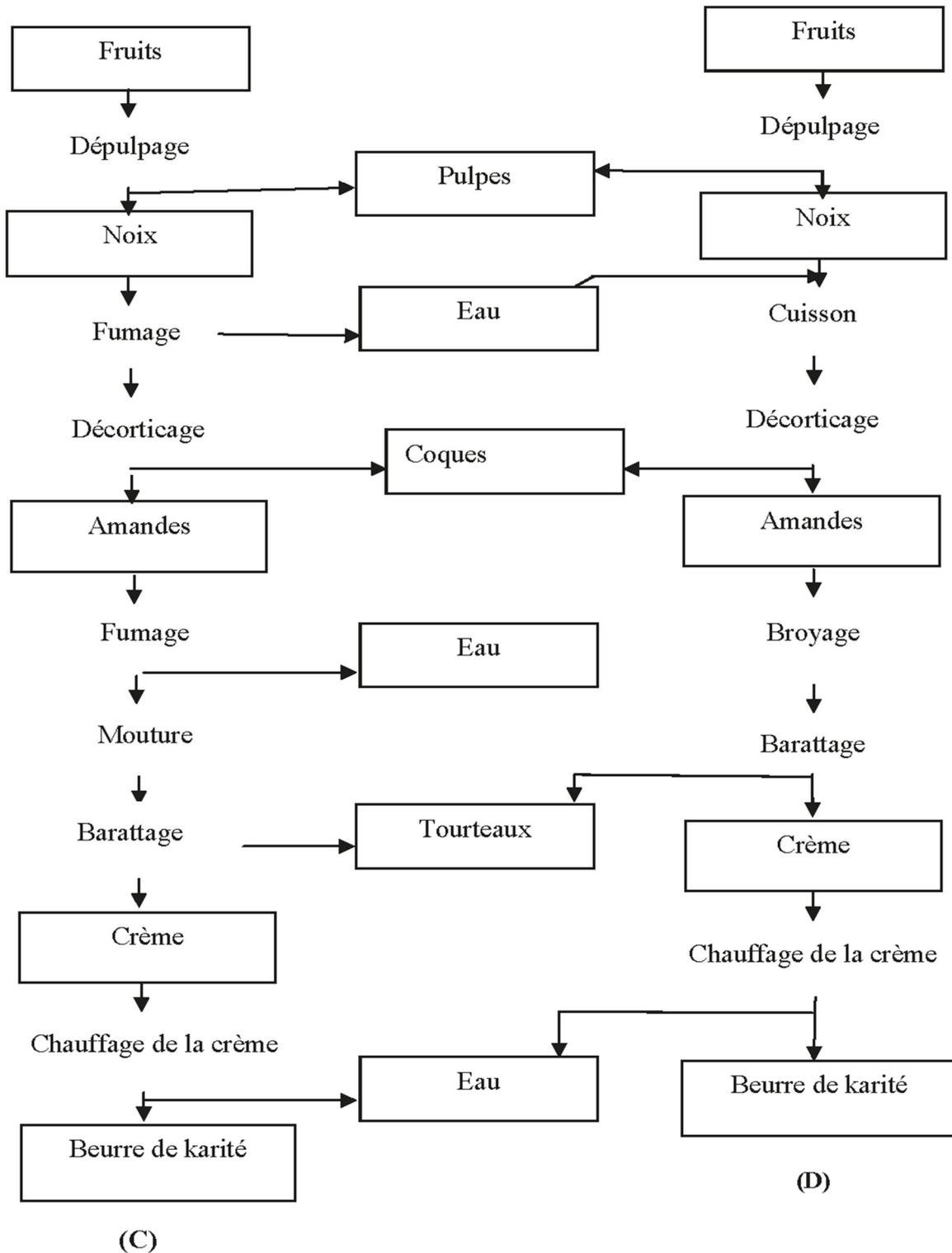
Méthode par cuisson de la pâte



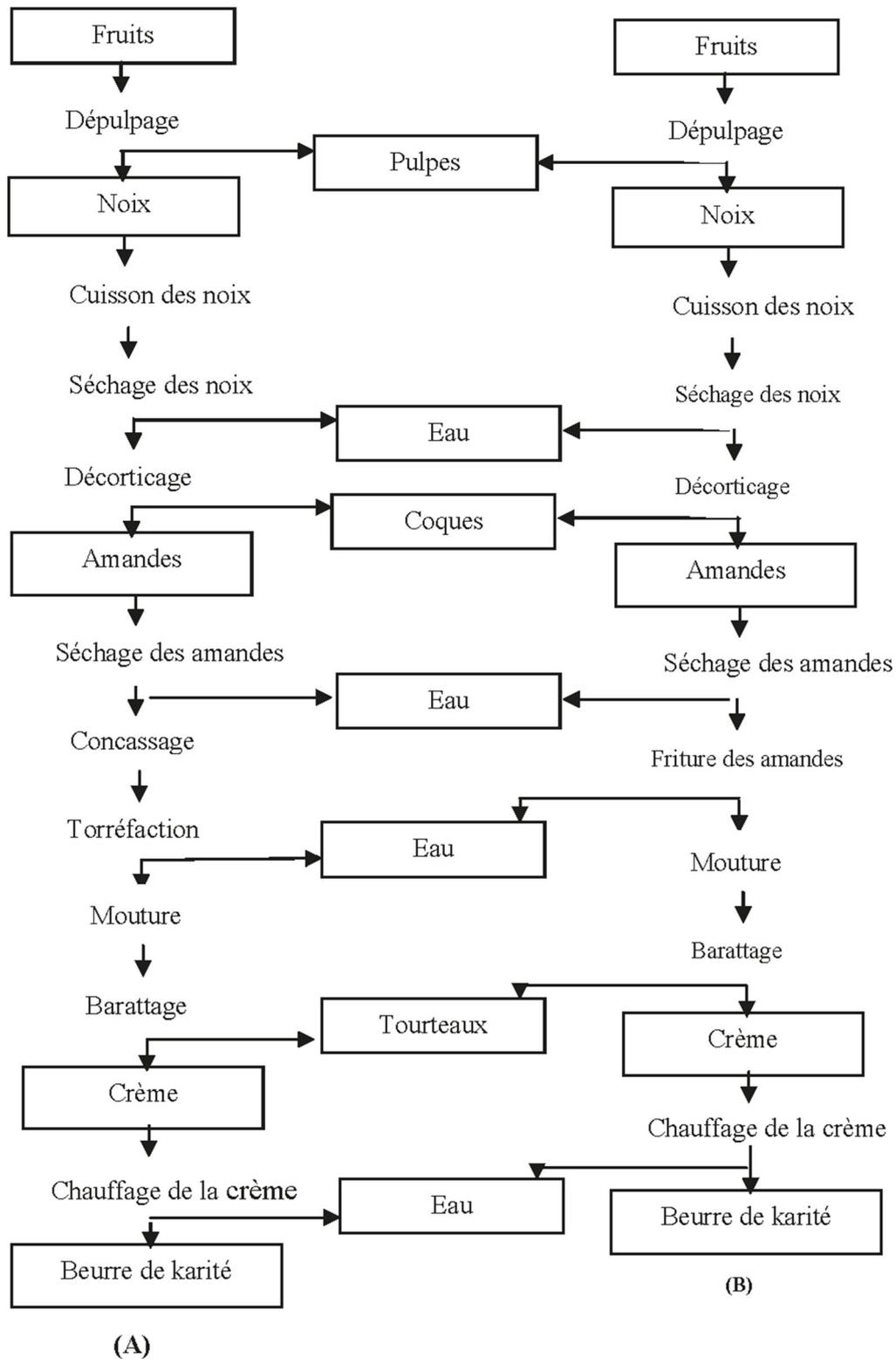
Annexe I Figure 6 Méthode de production du beurre de karité au Burkina Faso (Saussey et al., 2006)



Annexe I Figure 7 : Procédés traditionnel de production du beurre de karité au Ghana (Sachibu et Enno, 2013)



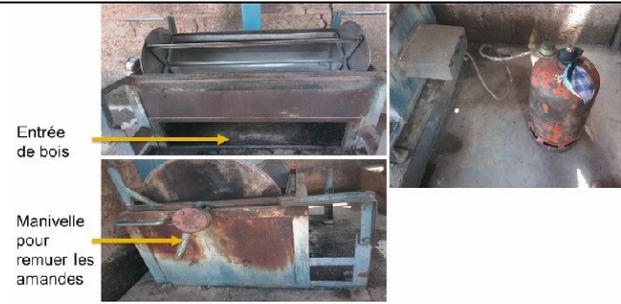
Annexe I Figure 8 : Procédé traditionnel d'extraction ; (C) : Procédé traditionnel par fumage ; (D) : Procédé traditionnel Tchabal. (Anhouannou et al, 2014)



Annexe I Figure 9 : Procédé traditionnel d'extraction mis en œuvre - (A) : Procédé traditionnel Lokpa, (B) : Procédé traditionnel Peulh. (Anhouannou et al, 2014)

Annexe II : Information sur le matériel

Annexe I Tableau 1 : équipements

Vue	Matériel	Information
	<p>Concasseur et Moulin</p>	<p>Ils sont alimentés par un moteur électrique de 11 kW. Un système de courroie permet soit d'utiliser le concasseur ou soit le moulin.</p>
	<p>Baratte électrique</p>	<p>Alimenter par un moteur électrique de 3,7 kW.</p>
	<p>Torréfacteur rotatif</p>	

	<p>Foyer amélioré</p>	<p>Ce sont des foyers améliorés en terre cuite utilisant du bois pour la cuisson de l'écume.</p>
		<p>Foyer amélioré en fer</p>
	<p>Foyer amélioré en fer</p>	
		

	<p>2 marmites posées sur un foyer amélioré à gaz</p>	<p>Ces marmites ont une capacité de 100 litres environ.</p>
	<p>Bac de lavage de l'huile</p>	<p>L'huile issu de la cuisson de l'écume est lavée avec ce bac.il à une capacité de 100 litres.</p>
	<p>Une balance</p>	<p>Cette balance à une capacité de 500 kg et une précision de 1 kg.</p>

Annexe III Résultats des travaux

Les résultats des mesures sont présentés dans le tableau 1

Annexe III Tableau 1 : Résultats des mesures

N°	Étape	Entrée	Sortie	Durée (min)	Autres informations	Rendement (sortie/entrée)
1	Lavage et séchage des amandes	71 kg d'amande non lavé	67 kg d'amandes lavés et séchés	575	62 l d'eau pour le lavage. 60 kg d'eau impure et 6 kg d'eau perdue par évaporation	94%
2	Concassage	67 kg d'amandes lavés et séchés	66 kg d'amandes concassés	2	0,36 kWh	97%
3	Torréfaction	66 kg d'amandes concassés	63 kg d'amandes torréfiés	45 (465)	1 kg de gaz utilisé 3 kg perdus (amandes + vapeur d'eau)	97%
4	Séchage et mouture des amandes	63 kg d'amandes torréfiés	61 kg de pâtes moulus	25 (425)	4,58 kWh 2 kg perdus (pâtes + vapeur d'eau)	97%
5	Imprégnation de la pâtes	61 kg de pâtes moulus	92 kg de pâtes imprégnés	2	31 l d'eau nécessaire	155%

N°	Étape	Entrée	Sortie	Durée (min)	Autres informations	Rendement (sortie/entré)
6	Battage énergétique de la pâte	92 kg de pâtes imprégnés	99 kg de pâte battus	16	0,99 kWh d'énergie 8 l d'eau nécessaire 1 kg de pates et d'eau perdus	104%
7	Obtention de l'écume	99 kg de pâte battu	32 kg d'écume	15	86 l d'eau nécessaire ; 151 kg d'impuretés (tourteaux + eau impure). 53 kg de tourteaux.	32%
8	Lavage de l'écume	32 kg d'écume	31 kg d'écume lavé	7	76 l d'eau pure nécessaire au lavage 77 l d'eau impure rejetés	97%
9	Cuisson de l'écume	31 kg d'écume lavé	23 kg d'huile	75	31 kg de bois nécessaire 7 kg de résidus noir rejeté et 1 kg perdus (vapeur d'eau + matière volatile + mousse + pertes par manipulation).	74%
10	Lavage de l'huile après cuisson de l'écume	23 kg d'huile	22 kg d'huile lavé	30	21 l d'eau entrante 0,1 kg de gaz 20 l d'eau impure rejeté + 1 kg de beurre résiduels + 1 kg d'huile perdu par manipulation.	97%
11	Cuisson de l'huile	103 kg d'huile lavé	100 kg d'huile pure	191	2,56 kg de gaz nécessaire 3 kg d'eau et huile perdu	97%

Avec le rendement obtenu pour chaque étape, nous sommes capables de calculer pour un 1 kg de beurre produit, la quantité d'amande nécessaire à l'entrer. Pour cela il faut calculer les quantités intermédiaires. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous

Annexe III Tableau 2 : Résultats des calculs intermédiaires pour 1 kg de beurre produit

N°	Étape	Entrée	Sortie	Autres informations
1	Lavage et séchage des amandes	3,32 kg d'amande non lavé	3,13 kg d'amandes lavés et séchés	2,883 l d'eau pour le lavage 2,79 kg d'eau impure et 0,279 kg d'eau perdue par évaporation
2	Concassage	3,13 kg d'amandes lavés et séchés	3,03 kg d'amandes concassés	0,0195 kWh
3	Torréfaction	3,03 kg d'amandes concassés	2,95 kg d'amandes torréfiés	0,037 kg de gaz utilisé 0,087 kg perdus (amandes + vapeur d'eau)
4	Séchage et mouture des amandes	2,95 kg d'amandes torréfiés	2,86 kg de pâtes moulus	0,219 kWh 0,689 kg perdus (pâtes + vapeur d'eau)
5	Imprégnation de la pâtes	2,86 kg de pâtes moulus	4,45 kg de pâtes imprégnés	1,594 l d'eau nécessaire
6	Battage énergétique de la pâte	4,45 kg de pâtes imprégnés	4,62 kg de pâte battus	0,038 kWh 0,537 l d'eau nécessaire 0,224 de pâte et d'eau perdus.

N°	Étape	Entrée	Sortie	Autres informations
7	Obtention de l'écume	4,62 kg de pâte battu	1,48 kg d'écume	3,716 l d'eau nécessaire ; 6,582 kg d'impuretés (tourteaux + eau impure) 2,284 kg de tourteaux.
8	Lavage de l'écume	1,48 kg d'écume	1,44 kg d'écume lavé	3,235 l d'eau pure nécessaire au lavage 3,264 l d'eau impure rejetés
9	Cuisson de l'écume	1,44 kg d'écume lavé	1,07 kg d'huile	1,365 kg de bois nécessaire 0,13 kg de résidus noir rejeté et 0,215 kg perdus
10	Lavage de l'huile après cuisson de l'écume	1,07 kg d'huile	1,03 kg d'huile lavé	0,936 l d'eau entrante (eau chaude + froide) 0,01 kg de gaz nécessaire (0,858 l d'eau impure rejeté + 0,013 kg perdus de beurre résiduel)
11	Cuisson de l'huile	1,03 kg d'huile lavé	1,00 kg d'huile pure (beurre de karité)	0,0256kg de gaz nécessaire 0,03 kg d'eau et huile perdu

Annexe III Tableau 3 : Taux d'humidité

	Boue de barattage				
	m1	m2	m3	Taux sur brut	Taux sur sec
Essai1	45,9999	47,0007	46,3956	60,4616307	152,9188779
Essai2	51,2867	52,2881	51,6792	60,80487318	155,133758
			moyenne	60,63325194	154,0263179

Annexe III : Tableau 4PCS et PCI

	masse échantillon	Ti	Tm	Li	Lf	PCS (J/g)	Hanhy dre	Héch	PCI
Essai1	0,5181	25,22	26,47	11	1,4	26 824	6,5	2,558838624	24 727
Essai2	0,5021	24,8	26,04	11	3	27 487	6,5	2,558838624	25 390
Essai3	0,5026	24,33	25,55	11	6,05	27 072	6,5	2,558838624	24 976
					moyenne	27 128		Moyenne	25 031

Annexe IV Fiche technique du moteur de la baratte

MOTEUR MONOPHASÉ 220V

MADE IN FRANCE

Pompe
& Moteur
.com

CARACTERISTIQUES GENERALES :

Ces moteurs asynchrones monophasés sont généralement utilisés pour un usage domestique, mais conviennent aussi bien pour des usages industriels (installation 220V).

Ce type de moteur électrique est adapté pour tous types de machines avec un entraînement électromécanique.

Nos moteurs électriques peuvent être utilisés sur des machines-outils type (*perceuses à colonne, scie à ruban, tour, fraiseuse, compresseur, bétonnière, machine à bois, LUREM C260 ...*, machines agricoles, *démonte pneus, pont élévateur, motoréducteur, ventilateur, aérateur, pompe à eau, tapis convoyeurs...*)

Il est également conseillé de protéger électriquement le moteur électrique par un disjoncteur magnétothermique correctement calibré par rapport à l'intensité nominale du moteur.

Les avantages de ce moteur :

- Carcasse Aluminium (*poids léger*)
- Double condensateur
- Degré de protection IP 55
- Conformités aux normes IEC
- Certification ISO 9001 SGS
- Classe d'isolation F
- Niveau sonore 79 dB (A)
- Poids 31 Kg
- Garantie 1 an



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Référence	Tension d'alimentation	Puissance	Vitesse de rotation	Intensité	Hauteur d'arbre	Ø arbre	Type de fixation
CML112M4	Mono 220V	3.7 KW / 5 CV	4 pôles - 1430 Tr/min	19.7 A	112 mm	28 mm	B3 (à pattes)

PRODUITS ASSOCIÉS :

Disjoncteur magnéto thermique

Réf: **GV2ME21**



Poulies



Inverseur sens de rotation

Réf: **INV220**



Courroies



Consulter les dimensions moteur en deuxième page ↓

Site Web: www.pompe-moteur.fr

Mail: contact@pompe-moteur.com

Tél: 02.99.69.20.82

Annexe V : Fiche technique du moteur du concasseur/moulin

MOTEUR TRIPHASÉ 230/400V

MADE IN FRANCE

Pompe
& Moteur
.com

CARACTERISTIQUES GENERALES :

Ces moteurs asynchrones triphasés sont généralement utilisés pour un usage professionnel mais peuvent aussi convenir pour des particuliers qui disposent de triphasé chez eux (installation 230V/400V).

Ce type de moteur électrique est adapté pour tous types de machines avec un entraînement électromécanique.

Nos moteurs électriques peuvent être utilisés sur des machines-outils type (*perceuses à colonne, scie à ruban, tour, fraiseuse, compresseur, bétonnière, machine à bois, LUREM C260 ...*, machines agricoles, démonte pneus, pont élévateur, motoréducteur, ventilateur, aérateur, pompe à eau, tapis convoyeurs...).

Il est également conseillé de protéger électriquement le moteur électrique par un disjoncteur magnétothermique correctement calibré par rapport à l'intensité nominale du moteur.

Les avantages de ce moteur :

- Carcasse Aluminium (*poids léger*)
- Boîte à bornes en alliage d'aluminium
- Degré de protection IP 55
- Conformités aux normes IEC
- Certification ISO 9001 SGS
- Classe d'isolation F
- Niveau sonore 77 dB (A)
- Poids 83,5 Kg
- Garantie 1 an



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES :

Référence	Tension d'alimentation	Puissance	Vitesse de rotation	Intensité	Hauteur d'arbre	Ø arbre	Type de fixation
CAIS160M4	Tri 230V/400V	11 KW / 15 CV	4 pôles - 1450 Tr/min	21,3 A	160 mm	42 mm	B3 (à pattes)

PRODUITS ASSOCIÉS :

Disjoncteur magnéto thermique

Réf: **GV2ME21**



Poulies



Inverseur sens de rotation

Réf: **INV380**



Courroies



Consulter les dimensions moteur en deuxième page ↓

Site Web: www.pompe-moteur.fr

Mail: contact@pompe-moteur.com

Tél: 02.99.69.20.82

Annexe VI : Séchoir banco

USAGE : artisanal

ÉNERGIE : séchoir solaire direct a convection naturelle

RÉFÉRENCES : CEAS, ATESTA

HISTORIQUE

Zone d'implantation : Burkina Faso

Début d'expérimentation : 1989

Utilisation régulière : depuis 1990

Nombre de séchoirs diffusés (1994) : H 50

CARACTÉRISTIQUES DU SÉCHOIR

Description générale : Il est constitué d'un bâti en briques de terre stabilisée appelée banco (6,2×2,5 m), de 5 arceaux de bois qui surmontent le bâti, d'une couverture en film transparent (14 x 3,4 m) fixée sur les arceaux, de 8 claies de 1,5 m² chacune disposée à environ 1 m du sol sur un même plan horizontal. La hauteur du séchoir est variable dans le sens de la longueur : 1,90 m pour la plus petite hauteur (avant du séchoir) et 2,40 m pour la plus grande (arrière du séchoir).

Système d'aération : Air frais : 4 entrées par l'avant et 4 entrées sur les faces latérales. Elles sont protégées par une grilla en acier galvanisé (maillage fin). Air humide : une sortie sur l'arrière du séchoir, a 2 m du sol environ.

Débit d'air non ajustage dépendant des conditions climatiques sur le site : entre 100 et 140 m²/h environ.

Capacité : 10 kg de produit frais/m² de claie soit 120 kg de produit frais par séchoir.

Chargement du séchoir : À partir des faces latérales du séchoir. Opération discontinue.

Matériaux : Banco, ciment, acier galvanisé, claies en bois, cardes nylon, tamis en nylon de type moustiquaire.

RÉALISATION : construit avec des matériaux locaux. Couverture plastique de préférence importée (dure trois fois plus longtemps que celles fabriquées dans le pays).

DURÉE DE VIE : plusieurs années. Renouvellement de la couverture plastique tous les deux ou trois ans. Le tamis en nylon des claies constitue également une pièce d'usure.

COUT DE FABRICATION : 600 000 FCFA environ.

CONDITIONS D'UTILISATION ET PERFORMANCES

Pays : Burkina Faso.

Utilisateurs : coopératives, groupements de femmes., « privés ».

Produits séchés : mangues.

Destination : exportation en Europe, vente locale.

Période d'utilisation : la période d'obtention des amandes couvre la période de Juin – Août et la production du beurre de karité de septembre-janvier

Mode d'utilisation : le chargement du séchoir se fait en discontinu.

Pays : Burkina Faso.

Produit : amandes de karité

Températures : minima/maxima, moyenne (°C) 25/40

Ensoleillement journalier (kWh/m²) 6,0

Humidité relative : minima/maxima, moyenne (%) 15/70

Température dans le séchoir (°C) Gain de 10 à 20 °C 40 à 70 °C

Consommation spécifique du séchoir (Cs) (kWh/kg d'eau extrait) :2,1

CAPACITÉ DE DIFFUSION

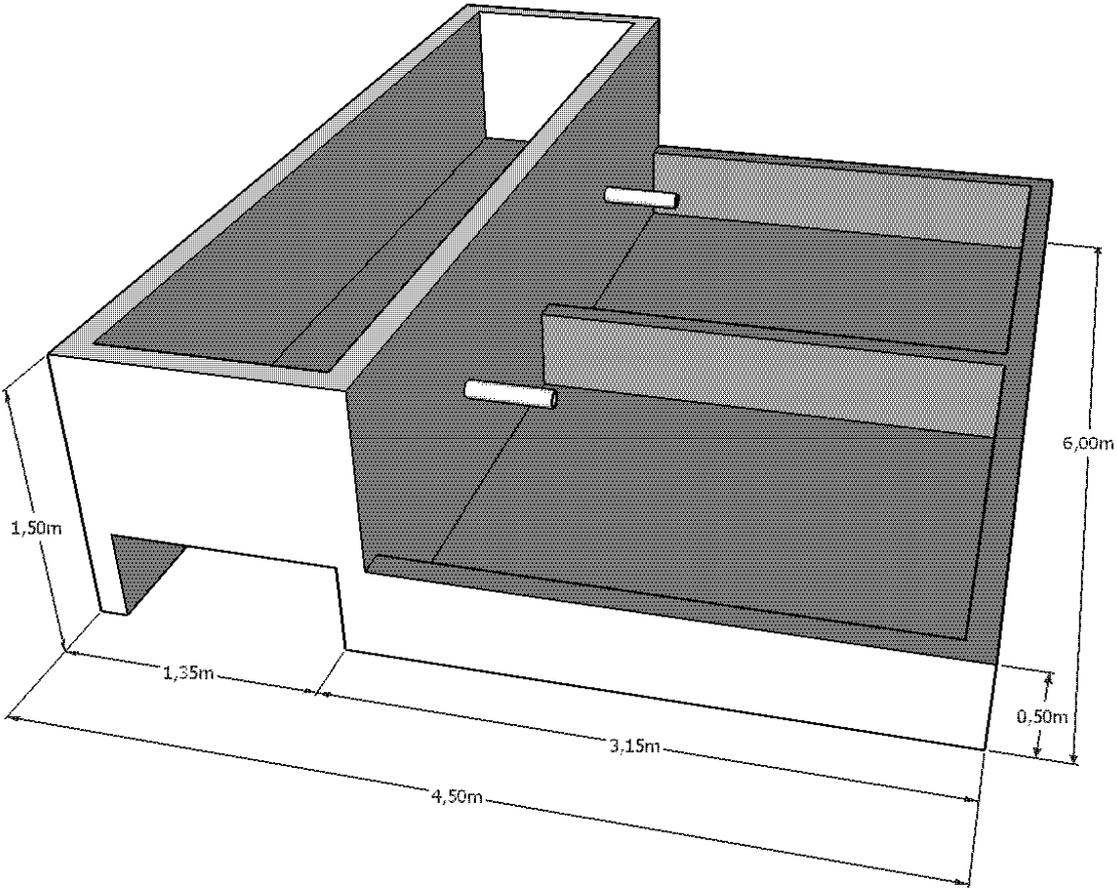
Facteurs favorables

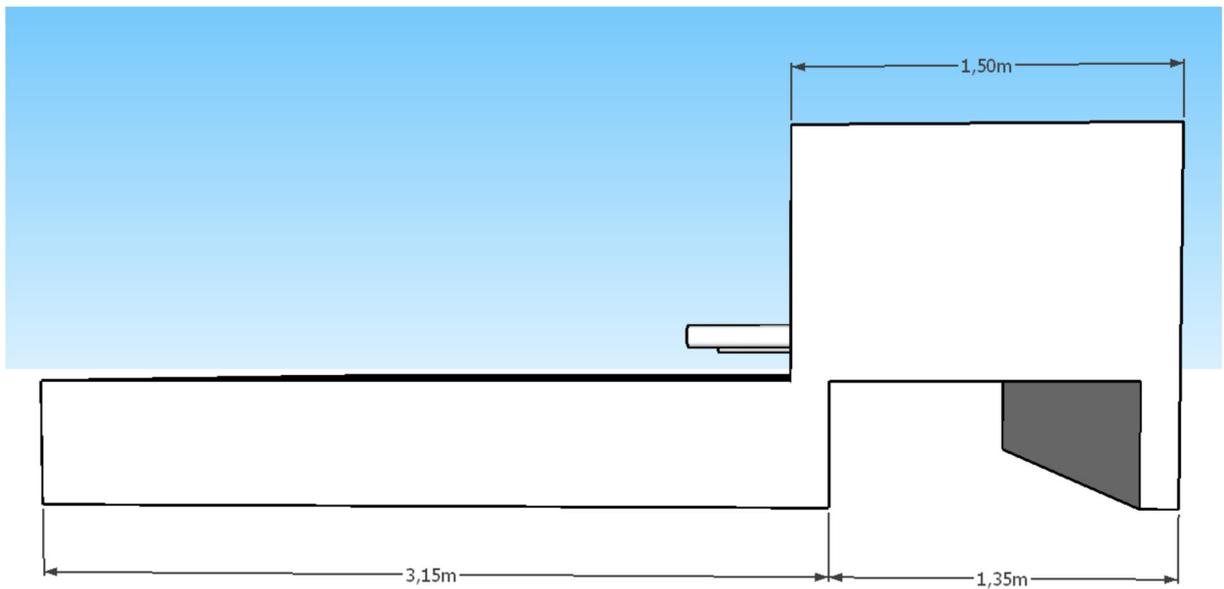
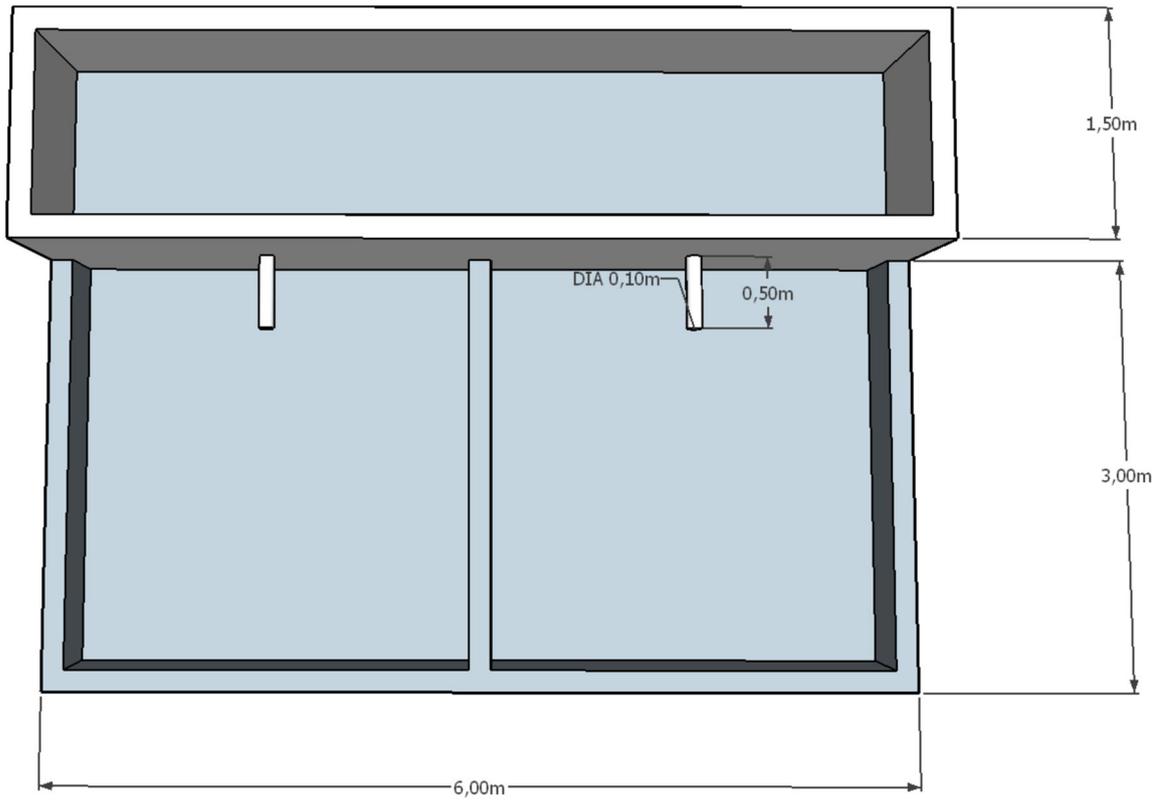
- Réalisable avec des matériaux locaux.
- Les bénéfices dégagés peuvent permettre de rembourser le séchoir au bout de 2 saisons de séchage.
- Coût d'entretien limité.
- La couverture plastique est simplement fixée par des élastiques sur
- L'armature. Elle peut être enlevée et rangée à l'abri des vents et des pluies dès la fin de la saison de séchage.
- Bien qu'utilisé pour le séchage des mangues, ce séchoir peut convenir d'autres fruits et au séchage des légumes.
- La qualité des produits séchés est satisfaisante : il n'y a pas de dépôt de poussières, ni d'altérations par les insectes ou par les rongeurs.
- Débit en produits séchés relativement élevé pour un séchoir solaire de ce type.

Facteurs défavorables

- Entretien de la couverture plastique peut poser des problèmes de coût et de disponibilité dans certaines régions.
- Séchage dépendant des conditions climatiques sur le site : ne permet pas de sécher en saison des pluies.
- Paramètres de séchage peu réglables : qualité organoleptique du produit sec difficilement maîtrisable.
- Séchage solaire direct affectant la qualité du produit (couleur, vitamines).

Annexe VII : Station de décantation





*Annexe VIII : Profil et historique de l'association Songtaab-Yalgré
(ASY)*

1. Historique

L'Association Songtaab-Yalgré (ASY) est née grâce à la volonté d'une brave femme du nom de Feu Ouedraogo née Djigma Marceline, ex agent de l'ONATEL de réunir les femmes du secteur n°9 pour développer des microprojets en vue d'améliorer les conditions de vie des femmes en milieu rural et urbain.

En effet, elle a constaté que les femmes des villages de sa famille et belle-famille vivent grâce aux revenus tirés de la production et transformation de produits forestiers non ligneux et qu'elles font face à des difficultés liées à la méconnaissance des bonnes pratiques de production, transformation et aux difficultés d'accès aux marchés à cause de leurs faibles niveaux d'instruction et d'accès à l'information.

Afin d'aider les femmes à améliorer leurs revenus et à venir à bout de leurs difficultés, l'Association Songtaab-Yalgré (ASY) a été mise en place le 23 Octobre 1998. Elle a une envergure nationale et dispose siège social à Ouagadougou.

Douze (12) années après sa création, en 2010 ASY comptait 7 groupements avec un total de d'environ **1 200** femmes spécialisés dans la collecte, transformation et production de produits agroalimentaires et cosmétique à base de produits locaux (sésame, miel, karité). Cette association au cœur du développement socioéconomique des femmes a mis sur pied des produits issus de la transformation du beurre de karité et du sésame conventionnel et biologique.

ASY a ainsi atteint les résultats suivants :

- Une capacité de transformation de **500** tonnes de noix de karité et de **100** tonnes de sésame ;
- + de 980 femmes vivent directement des revenus de la production et de transformation du beurre de karité et du sésame ;
- + de 5 000 000 FCFA sont investis chaque année pour la certification, le renouvellement du matériel de transformation et les aménagements.

En 2018, soit 20 ans après sa création, l'impact des activités de ASY touche environ 2 995 femmes et 5 hommes et elle a aujourd'hui une gamme de produits élargie et diversifiée : Confiture de karité, beurre de karité, huile de sésame, huile de baobab, huile de neem, Soumbala, fruits séchés...

L'association compte à nos jours (baseline, 2018), 1 200 femmes et 7 hommes, soit un total de 1207 membres.

La vision de l'Association d'ici 2025 est :

- d'arriver à permettre à plus de 10 000 femmes et jeunes en milieu rural et urbain d'être de véritables entrepreneurs qui œuvrent de façon collective et individuelle ;
- 1 000 Tonnes d'amande de karité transformé ;
- 300 tonnes de sésame transformé ;
- 6 000 emplois directs créés ;
- 100 millions de FCFA investi dans l'accroissement de la capacité de transformation ;
- 10 000 Transformatrices en milieu rural adhérent au réseau et ont une autonomie économique.

2.Profil

Objectif principal : Améliorer les conditions de vie des femmes, des jeunes et des couches vulnérables et promouvoir l'égalité des droits au Burkina

Les objectifs spécifiques :

- Amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle ;
- Amélioration de la santé infantile et des mères ;
- Contribuer à élever le niveau d'instruction et de connaissance des femmes, des jeunes et des enfants par la formation et l'éducation ;
- Faciliter l'accès aux technologies de l'information et de la communication ;
- Valoriser les produits locaux par la production, la transformation et la commercialisation ;
- Encourager et développer l'esprit d'entreprise des femmes et des jeunes ;
- Etc.

Les activités principales :

Pour atteindre ces buts et objectifs, l'ASY s'investit dans 4 types d'activités qui sont :

- L'élaboration et l'exécution des programmes d'activités de formation, de perfectionnement et de recyclage sur des thèmes spécifiques tels que :
 - la santé communautaire;
 - l'alphabétisation fonctionnelle;
 - la transformation des produits locaux, etc.
 - la valorisation et la promotion des produits locaux
 - le droit (de l'homme, foncier,)
 - les textes de loi divers
 - la sécurité alimentaire et nutritionnelle
 - le parrainage des enfants
 - l'insertion socioéconomique (recrutement et mise à disposition de personnels qualifiés...)
 - formation aux petits métiers

- protection et de conservation des terres et des PFNL
- La fabrication et la commercialisation de produits divers:
 - du beurre de karité conventionnel /biologique
 - du soubala, de la patte d'arachide
 - des savons artisanaux à base du beurre de karité
 - Huiles essentiels

- les activités socioculturelles et de perfectionnement qui concernent :
 - la prise en charge des membres à travers une mutuelle santé
 - L'appui conseil et assistance aux groupements socio-économiques des femmes
 - l'accompagnement des PME/PMI à la gestion de leurs entreprises

Annexe IX: Système PV injecté réseau

1. Calcul de la puissance crête

La quantité d'énergie annuelle est de 5 817 kWh·an⁻¹

La puissance crête est calculé par la formule suivant :

$$P_c = \frac{E_{an}}{365 \times P_r \times H_i}$$

Avec

$P_r=75\%$ et $H_i=5,15 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}$

$P_c=4,13 \text{ kWc}$

2. Module

Les modules choisit sont celle de la marque SolarWorld 250 Wc

Le nombre de module est de :

$$N_{br} = \frac{P_c}{P_{module}}$$

$N_{br}=16$

Après vérification au niveau de l'onduleur nous avons choisi 20 modules en série.

				
		SW 250	SW 255	SW 260
Sunmodule[®] Plus				
SW 250 - 260 poly				
COMPOTEMENT LORS DE CONDITIONS DE TEST STANDARD (STC*)				
Puissance au point de puissance maximale	P_{max}	250 Wc	255 Wc	260 Wc
Tension à vide	U_{oc}	37,6 V	38,0 V	38,4 V
Tension au point de puissance maximale	U_{mpp}	30,5 V	30,9 V	31,4 V
Courant de court-circuit	I_{sc}	8,81 A	8,88 A	8,94 A
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	8,27 A	8,32 A	8,37 A
Rendement du module	η_m	14,91 %	15,21 %	15,51 %
Tolérance sur la mesure de puissance (P_{max}) attribuée par TÜV Rheinland : +/- 2 % (TÜV Power controlled)			*STC : 1000W/m ² , 25 °C, AM 1.5	
COMPOTEMENT A 800W/m ² , NOCT, AM 1.5				
Puissance au point de puissance maximale	P_{max}	185,4 Wc	188,7 Wc	192,4 Wc
Tension à vide	U_{oc}	34,2 V	34,5 V	34,8 V
Tension au point de puissance maximale	U_{mpp}	27,8 V	28,1 V	28,5 V
Courant de court-circuit	I_{sc}	7,24 A	7,30 A	7,35 A
Courant au point de puissance maximale	I_{mpp}	6,68 A	6,72 A	6,76 A
Faible réduction du rendement en conditions de charge partielle à 25 °C : à 200 W/m ² , la puissance est égale à 100 % (+/- 2 %) de la puissance en condition STC.				

Annexe IX Figure 1 : module PV 250 Wc

3. Onduleur

Nous choisissons un onduleur sunny Tripower 5 000TL. Puissance apparente : 5 000 VA

Données techniques	Sunny Tripower 5000TL
Entrée (DC)	
Puissance DC max. (quand $\cos \phi = 1$)	5 100 W
Tension d'entrée max.	1 000 V
Plage de tension MPP / tension d'entrée assignée	245 V à 800 V / 580 V
Tension d'entrée min. / Tension d'entrée de démarrage	150 V / 188 V
Courant d'entrée max. entrée A / entrée B	11 A / 10 A
Courant d'entrée max. par string entrée A / entrée B	11 A / 10 A
Nombre d'entrées MPP indépendantes / strings par entrée MPP	2 / A : 2 ; B : 2
Sortie (AC)	
Puissance assignée (à 230 V, 50 Hz)	5 000 W
Puissance apparente AC max.	5 000 VA
Tension nominale AC	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Plage de la tension nominale AC	160 V à 280 V
Fréquence du réseau AC / plage	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz à +5 Hz
Fréquence de réseau assignée / tension de réseau assignée	50 Hz / 230 V
Courant de sortie max.	7,3 A
Facteur de puissance pour la puissance assignée	1
Facteur de déphasage réglable	0,8 inductif à 0,8 capacitif
Phases d'injection / phases de raccordement	3 / 3
Rendement	
Rendement max. / rendement européen	98 % / 97,1 %

Annexe IX Figure 2: Sunny Tripower 5 000 VA

4. Vérification

Annexe IX Tableau 1 vérification

Vérification	SB 2 500		validation
	calcul	spécification	
Tension Nominal de tension	$20 \times 37,6 = 752 \text{ V}$	<1 000V	ok
Plage de tension MPP	$20 \times 30,5 = 610 \text{ V}$	Valeur comprise entre 245 à 800 V/ Tension d'entrée assignée 580 V	ok
Courant entrée onduleur	1 branche $1 \times 8,81 = 8,81 \text{ A}$	<11A	ok
Ratio de puissance	$\frac{5 100}{20 \times 250} = 1,02$	0,9-1,10	ok
Rendement	98%		

Après vérification, nous retenons :

- 1 onduleur de 5 000 VA
- 20 modules de 250 Wc de marque SolarWorld
- La nouvelle puissance crête est de 5 kWc ;
- 1 string.

Onduleur : 1 550 000 FCFA

Pv : 150 000 FCFA

5. Disjoncteur

- Coté DC

$$I_{max_{cc\ onduleur}} \leq I_{cal_{disjoncteur}}$$

$$11\ A < 15\ A$$

Le disjoncteur choisit est un disjoncteur DC de 15 A

: disjoncteur DC 15A. 220V DC par pôle. Coût 16 000FCFA

- Coté AC

$$I_{onduleur}(7,3\ A) < I_{dis}(10\ A)$$

Donc le choisit est le disjoncteur AC 10A, 2 pôles, 30 mA.

coût :8 500 FCFA

6. Protection contre les surtensions atmosphériques

- Coté DC

$$\text{Tension parafoudre} \leq \text{tension onduleur}$$

Nous avons choisi le parafoudre 1 000 V DC imax de décharge :40kA coût : 25 000FCFA

- Coté AC :

Niveau de tension à respecter 230/400 V

Nous avons choisi le parafoudre IPRD 40 40 kA,350 V de type2. Coût 20 000 FCFA TTC

7. Section des câbles et longueurs

➤ Coté DC

En se conformant au tableau des section en fonction du courant admissible, la section requise est 2,5 mm² puisque nous avons un disjoncteur de 15 A.

Annexe IX Tableau 2 : Section de câble en fonction du courant

Câble size (mm ²) CU	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Courant admissible (A)	13	21	28	36	46	61	81	99	125	160	195	220	250	285	340	395

Vérification de la chute de tension. Il doit être à la limite admise (2% sur le côté continu)

La distance entre le générateur PV et l'onduleur est pris égale à 20 m

$$\Delta_{admissible} = \frac{30,5 \times 20 \times 2}{100} = 12,2 V$$
$$\Delta_{cable} = \frac{2 \times (L \times I \times \rho)}{S} = \frac{2 \times (20 \times 11 \times 0,0183)}{2,5} = 3,2 V$$
$$\Delta_{cable} < \Delta_{admissible}$$

La section de 2,5 mm² est adéquate.



Annexe IX Figure 3 : Câble PV

Nous avons choisi 2 rouleaux de 20 m

Coût 20 000 FCFA

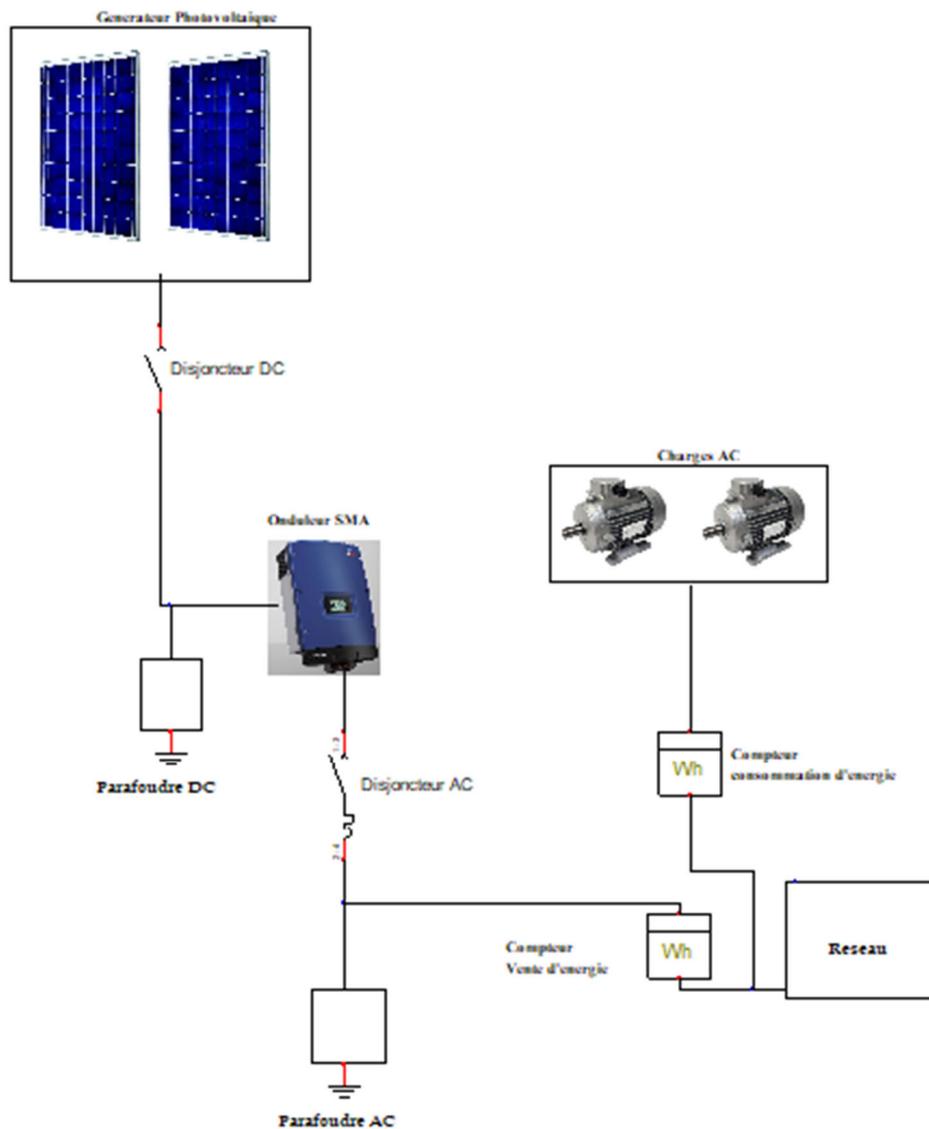
➤ Côté AC

La distance entre l'onduleur et le compteur d'injection réseau est pris égale à 10 m.

Le disjoncteur choit sur le côté AC est de 10 A donc la section requise est de 1,5 mm².

La longueur totale requise est de 20 m puisque c'est 10 m pour le neutre et 10 m pour la phase.

Coût :7 000 FCFA.



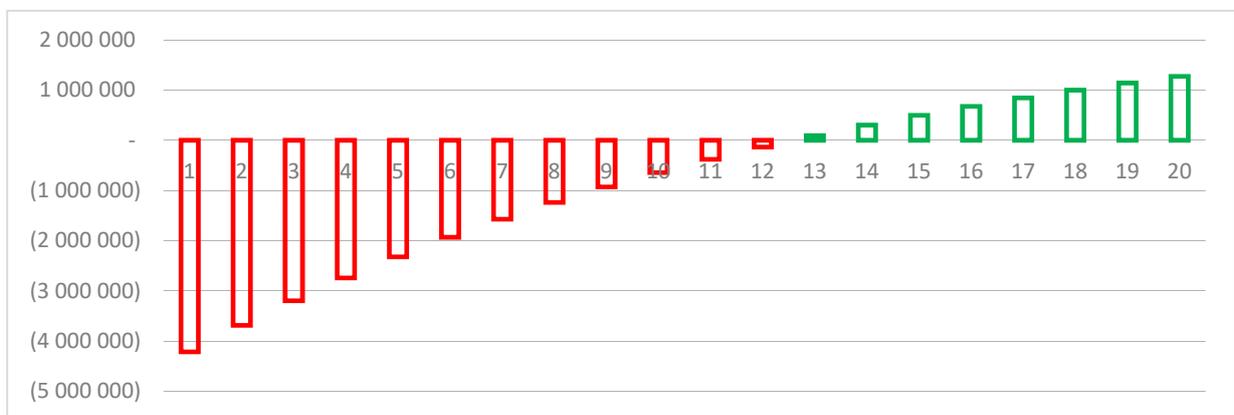
Annexe IX Figure 4: schéma du système connecté réseau

Annexe IX Tableau 3 : Bilan financier

Désignation	Qte	Unité	P.U. (FCFA)	Prix Total (FCFA)
Panneaux	20	U	150 000	3 000 000
Onduleur	1	U	1 550 000	1 550 000
Disjoncteur DC	1	U	16 000	16 000
Disjoncteur AC	1	U	8 500	8 500
Parafoudre DC	1	U	25 000	25 000
Parafoudre AC	1	U	20 000	20 000
Câble DC	40	ml	500	20 000
Câble AC	20	ml	350	7 000
Support des panneaux	20	U	2 000	40 000
Main d'œuvre				150 000
				4 836 500

Annexe IX Tableau 4: Calcul de la VAN sur 20 ans

van-investissement	van cumulé	van	ans
-4 218 258	618 242	618 242	1
-3 688 679	1 147 821	529 579	2
-3 198 328	1 638 172	490 351	3
-2 744 300	2 092 200	454 029	4
-2 323 903	2 512 597	420 397	5
-1 934 646	2 901 854	389 256	6
-1 574 224	3 262 276	360 423	7
-1 240 499	3 596 001	333 725	8
-931 495	3 905 005	309 004	9
-645 380	4 191 120	286 115	10
-380 458	4 456 042	264 921	11
-135 161	4 701 339	245 298	12
91 967	4 928 467	227 127	13
302 270	5 138 770	210 303	14
496 995	5 333 495	194 725	15
677 296	5 513 796	180 301	16
844 241	5 680 741	166 945	17
998 820	5 835 320	154 579	18
1 141 949	5 978 449	143 129	19
1 274 476	6 110 976	132 527	20



Annexe IX Figure 5 : Rentabilité du système PV sur 20 ans

Annexe X : Chauffe-eau solaire thermique

Modèle énergétique RETScreen - Projet de production de chaleur

Projet de production de chaleur

Technologie: **Chauffe-eau solaire**

Caractéristiques de la charge: Piscine, Eau chaude

Unité	Cas de référence	Cas proposé
Type de charge	Industriel	
Besoins quotidiens d'eau chaude	Lj 50	50
Température	°C 90	90
Nb. de jours d'opération par semaine	j 6	6

Portion d'utilisation dans le mois

Mois	Cas de référence	Cas proposé
Janvier	100%	100%
Février	0%	0%
Mars	0%	0%
Avril	0%	0%
Mai	0%	0%
Juin	0%	0%
Juillet	0%	0%
Août	0%	0%
Septembre	0%	0%
Octobre	0%	0%
Novembre	100%	100%
Décembre	100%	100%

Méthode d'évaluation de température d'eau froide: Formule

Température de l'eau - minimum: °C 27,4

Température de l'eau - maximum: °C 30,2

Unité	Cas de référence	Cas proposé	Énergie économisée	Surcoûts à l'investissement
Chaleur	MWh 0,3	0,3	0%	

Évaluation des ressources

Système de positionnement solaire: Fixe

Inclinaison: ° 10,0

Azimut: ° 0,0

Afficher information

Chauffe-eau solaire

Type: Tubes sous vide

Fabricant: Artisans locaux

Modèle: Capteur stockeur (direct)

Surface brute par capteur solaire	m²	1,70
Surface de captage par capteur solaire	m²	1,40
Coefficient Fr (tau alpha)		0,80
Coefficient Fr UL	(W/m²)°C	3,73
Coefficient de température de Fr UL	(W/m²)°C²	0,000
Nombre de capteurs		1
Surface du capteur solaire	m²	1,70
Capacité	kWh	0,88
Pertes diverses	%	80,0%

Infrastructures connexes et divers

Stockage: Oui

Volume de stockage / surface du capteur solaire: L/m² 71

Volume de stockage: L 99,4

Échangeur de chaleur: caisson Non

Pertes diverses: % 80,0%

Puissance de pompe / surface du capteur solaire: W/m² 0,00

Prix de l'électricité: XOF/kWh 0,000

Sommaire

Électricité - pompe: MWh 0,0

Chaleur fournie: MWh 0,0

Taux de recouvrement de la charge: % 0%

Système de production de chaleur

Vérification du projet

	Cas de référence	Cas proposé
Type de combustible	Gaz naturel - m³	Gaz naturel - m³
Rendement saisonnier	100%	100%
Consommation de combustible - annuelle	m³ 30,1	30,1
Prix du combustible	XOF/m³ 1250,000	
Coût en combustible	XOF 37 809	0

Voir la note technique
Voir la Base de données de produits

Analyse financière

Paramètres financiers	
Taux d'inflation	% 8,0%
Durée de vie du projet	an 20
Ratio d'endettement	%
Coûts d'investissement	
Système de production de chaleur	XOF 0 0,0%
Autre	XOF 225 000 100,0%
Total des coûts d'investissement	XOF 225 000 100,0%
Encouragements et subventions	
	XOF 0,0%
Frais annuels et paiements de la dette	
Coûts (économies) d'exploitation et entretien	XOF 5 000
Coût en combustible - cas proposé	XOF 0
Autre	XOF Non
Total des frais annuels	XOF 5 000
Économies et revenus annuels	
Coût en combustible - cas de référence	XOF 37 809
Autre	XOF Non
Total des économies et des revenus annuels	XOF 37 809
Viabilité financière	
TRI avant impôt - actifs	% 22,4%
Retour simple	an 6,9
Retour sur les capitaux propres	an 5,4

Graphique des flux monétaires cumulatifs

Annexe XI : analyse financière avec les améliorations

van	ans	cumulé	van-investissement
1 580 694	1	1 580 694	7 374
1 420 738	2	3 001 432	1 428 112
1 315 498	3	4 316 930	2 743 610
1 218 054	4	5 534 984	3 961 664
1 127 828	5	6 662 812	5 089 492
1 044 285	6	7 707 097	6 133 777
966 931	7	8 674 027	7 100 707
895 306	8	9 569 333	7 996 013
828 987	9	10 398 320	8 825 000
767 581	10	11 165 901	9 592 581
710 723	11	11 876 624	10 303 304
658 077	12	12 534 700	10 961 380
609 330	13	13 144 031	11 570 711
564 195	14	13 708 225	12 134 905
522 402	15	14 230 628	12 657 308
483 706	16	14 714 334	13 141 014
447 876	17	15 162 210	13 588 890
414 700	18	15 576 910	14 003 590
383 981	19	15 960 891	14 387 571
355 538	20	16 316 429	14 743 109

