
Mémoire

Auteur : Marignol, Anaïs

Promoteur(s) : Wellens, Joost

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée pays en développement

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/11164>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
2020-2021

Enjeux et contraintes socio-économiques de la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas (*Ananas comosus*) pour les acteurs majeurs de la filière au Sud du Bénin.



Mémoire rédigé par Anaïs MARIGNOL
en vue de l'obtention du grade de master en science et gestion de l'environnement
à finalité pays en développement

Rédigé sous la direction de Joost WELLENS

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : Anaïs MARIGNOL, anais.marignol@gmail.com

REMERCIEMENTS

Je souhaite, tout d'abord, remercier l'ensemble de l'équipe du programme DEFIA et d'Enabel Bénin, pour leur accueil chaleureux et leur soutien tout au long de mes recherches. Un grand merci à Aristophane Aplogan pour son suivi et ses nombreux conseils tout au long de mon stage. Je remercie Wilma Baas de m'avoir donné l'opportunité d'effectuer ce stage au sein de son équipe.

Je tiens à remercier, Philémon Ayihonsou avec qui j'ai partagé ces recherches et à qui je souhaite la réussite pour son travail personnel.

Merci à Orou Bienvenu et à l'équipe de l'association GERME ONG pour leur accueil au sein de l'unité de production de briquettes de Natitingou.

J'aimerais également remercier mon professeur et promoteur Joost Wellens pour ses conseils au cours de ce travail de fin d'études.

Merci à tous ceux qui ont contribué à améliorer mon travail en m'apportant leurs conseils, leur savoir et leur relecture.

Pour finir, je remercie toutes les personnes rencontrées durant ce stage et qui ont fait de cette expérience, tant professionnelle que personnelle, une expérience inoubliable.

RÉSUMÉ

Au Bénin, l'agriculture du département de l'Atlantique est représentée par plusieurs filières prioritaires depuis la mise en place de la politique des pôles de développement, initiée en 2015. Cette politique consiste à départager les territoires en fonction de « leur vocation », synonyme des conditions climatique et pédologique. La culture de l'ananas (*Ananas comosus*) est l'une de ces filières au sein du pôle de développement dont le département de l'Atlantique fait partie. Ce département en particulier représente 93 % des superficies emblavées pour la culture d'ananas du Bénin. Suite à la politique mise en place, des programmes de développement des chaînes de valeurs des filières prioritaires ont été inaugurés. Ces programmes visent non seulement à l'aide aux producteurs lors de la mise en culture par l'apport de conseils ou de subventions, mais également à la localisation des problèmes rencontrés au niveau de l'ensemble de la chaîne de valeur. L'un des problèmes majeurs identifiés au niveau de la culture d'ananas est la gestion des résidus post-récolte. Ces résidus sont arrachés, et soit mis en paillage ou entassés afin d'être séchés puis brûlés, causant des pertes de superficie et de rendements. L'objectif de ce travail a été de mettre en œuvre une technique de valorisation des résidus post-récolte de l'ananas plus précisément dans la production énergétique pouvant être réintroduite au sein des unités de transformation de jus. Ce travail a consisté également à l'identification des impacts socio-économiques des deux principaux acteurs : producteurs et transformateurs. Pour parvenir à l'objectif, une partie de l'étude a été menée sur la faisabilité technique par la réalisation d'expérimentations de production de briquettes à base de résidus post-récolte broyés, de tests de performance énergétique et d'une détermination des rendements en matière première par hectare. Une seconde partie relative aux impacts a nécessité la prospection de 74 producteurs et 23 responsables d'unité de transformation. Les résultats montrent une faisabilité technique avérée à petite échelle qui n'est, pour le moment, pas adaptée à une production plus importante. Les tests de combustion ont permis de mettre en avant des combustibles performants compétitifs face aux sources d'énergie visées par le remplacement auprès des unités de transformation. Les rendements en matière première évalués entre 44,7 t/ha et 108,8 t/ha selon les variétés permettent d'ancrer le projet dans la réalité d'une production à plus grande échelle. Du point de vue des acteurs, les prospections ont permis d'évaluer l'impact de la valorisation tant au niveau de la sécurisation des revenus des producteurs que les contraintes de récolte. Les résultats de ces enquêtes ont donné lieu à l'identification des périodes de disponibilité des résidus, l'estimation de la contrepartie financière allouée aux producteurs et à l'estimation du coût des briquettes. Cette phase expérimentale montre des résultats compétitifs en particulier par rapport au charbon de bois.

Mots-clés : Culture de l’ananas, résidus post-récolte, département de l’Atlantique, faisabilité technique, impacts socio-économiques, producteurs, unités de transformation

ABSTRACT

Agriculture in the Atlantic department has been represented by several priority sectors since the implementation of the development poles policy, initiated in 2015. This policy consists of separating the territories according to “their vocation”, synonymous with the conditions climatic and pedological. The cultivation of pineapple (*Ananas comosus*) is one of these sectors within the development pole of which the Atlantic department is a part. This department represents in particular 93% of the areas sown for pineapple cultivation in Benin. Following the policy put in place, value chain development programs for priority sectors were launched. These programs aim not only to help producers during cultivation through the provision of advice or subsidies, but also to locate problems encountered throughout the value chain. One of the major problems identified in pineapple cultivation is the management of post-harvest residues. These residues are pulled up, and either piled up to be dried and then burned or placed on the ground, causing losses of area and yields. The objective of this work was to implement a technique for valuing the post-harvest residues of pineapple more specifically in energy production that can be reintroduced within juice processing units. This work also consisted in identifying the socio-economic impacts of the two main actors. To achieve the objective, part of the study was carried out on the technical feasibility by carrying out experiments on the production of briquettes based on crushed post-harvest residues, energy performance tests and a determination of raw material yields per hectare. A second part relating to the impacts required prospecting for 74 producers and 23 heads of processing units. The results show a proven technical feasibility on a small scale which is, for the moment, not suitable for a larger production. Combustion tests have made it possible to highlight efficient fuels that are competitive with the energy sources targeted for replacement at the processing units. The raw material yields evaluated between 44.7 t/ha and 108.8 t/ha depending on the variety to allow the project to anchor the reality of production on a larger scale. From the point of view of the actors, the surveys made it possible to assess the impact of the valuation both in terms of securing the income of producers and harvesting constraints. The results of these surveys led to the identification of the periods of availability of residues, the estimation of the financial contribution allocated to producers and the estimation of the cost of the briquettes. This experimental phase shows competitive results, in particular with charcoal.

Keywords: Pineapple cultivation, post-harvest residues, Atlantic department, technical feasibility, socio-economic impacts, producers, processing units

Table des matières

INTRODUCTION	1
1 Contexte et problématique	1
1.1 Importance de la filière Ananas au Bénin.....	2
1.2 Importance de la diversification des activités agricoles.....	2
2 Objectifs et hypothèses	3
2.1 Objectifs général et spécifiques.....	3
2.2 Hypothèses.....	3
ETAT DE L'ART	4
1 Présentation de l'ananas (<i>Ananas comosus</i>)	4
1.1 Systématique et généralités	4
1.2 Morphologie.....	4
1.3 Physiologie.....	5
1.4 Écologie.....	6
1.5 La culture de l'ananas (<i>Ananas comosus</i>).....	7
1.5.1 Cycle de culture de l'ananas (<i>Ananas comosus</i>).....	7
1.5.2 Système cultural.....	8
1.5.3 Les variétés présentes au Bénin.....	10
2 Chaîne de valeur de la filière ananas	11
2.1 Gouvernance	11
2.2 Enjeux socio-économiques	12
2.3 Enjeux environnementaux	13
2.4 Unités de transformation de la filière Ananas	15
2.4.1 Fonctionnement d'une fabrique artisanale de jus d'ananas.....	15
2.4.2 Utilisation énergétique	16
2.5 Normes et labélisation.....	18
3 Valorisation de la biomasse	19
3.1 Substituts énergétiques	20
3.1.1 Briquettes non carbonées.....	20
3.1.2 Briquettes carbonées (biochar).....	21
3.2 Amendements du sol.....	21
METHODOLOGIE	22
1 Présentation de la zone d'étude	22
1.1 Le Bénin.....	22
1.1.1 Sécurité alimentaire.....	23
1.1.2 La politique agricole.....	25
1.1.3 Pôles de développement agricole dédié à la filière ananas	26
1.2 Le département de l'Atlantique	27
1.2.1 Agriculture.....	27
1.2.2 Sols	27
1.2.3 Climat	28
2 Matériels et méthodes	29
2.1 Faisabilité technique de la valorisation des résidus post-récolte	29
2.1.1 Estimation des rendements.....	29
2.1.2 Etablissement du processus de valorisation énergétique.....	30
2.2 Collecte de données des maillons cibles de la filière	34

2.3	<i>Traitement de données</i>	36
2.3.1	Analyse factorielle de données mixtes (A.F.D.M.).....	36
2.3.2	Box plot.....	36
2.3.3	Diagramme de Kiviati.....	36
2.3.4	Analyse factorielle des correspondances (A.F.C.).....	37
RESULTATS		38
1	Evaluation de la faisabilité technique	38
1.1	<i>Production de briquettes à base de résidus post-récolte de l'ananas</i>	38
1.1.1	Détermination du rendement.....	38
1.1.2	Evaluation du processus de production.....	38
1.1.3	Performances énergétiques.....	40
2	Traitement des données socio-économiques	46
2.1	<i>Données générales</i>	46
2.2	<i>Enjeux et contraintes de la valorisation des résidus de culture d'ananas</i>	47
2.2.1	Au niveau des producteurs.....	47
2.2.1	Au niveau des transformateurs(trices).....	60
2.3	<i>Bilan financier</i>	65
DISCUSSION		67
1	Analyse de la faisabilité technique	67
2	Analyse des enjeux et contraintes à la valorisation des résidus d'ananas	69
2.1	<i>Au niveau des producteurs</i>	69
2.2	<i>Au niveau des transformateurs</i>	70
3	Analyse du bilan financier	72
4	Limites et recommandation de l'étude	72
5	Perspectives de l'étude	73
CONCLUSION		74
REFERENCES		76
ANNEXES		82

Liste des figures

Figure 1: Inflorescence en grappe.....	4
Figure 2: "Carotte" du plant d'ananas.....	5
Figure 3: Rejets du plant d'ananas.....	5
Figure 4: Mécanisme des plantes CAM.....	6
Figure 5: Contribution des étapes de la CV aux dommages environnementaux par kg d'ananas.....	14
Figure 6: Répartition des exportations dans la sous-région du jus d'ananas en 2015.....	15
Figure 7: Foyer traditionnel (gauche) et écologique (droite).....	20
Figure 8: Carte du Bénin.....	22
Figure 9: Carte de sécurité alimentaire du Bénin.....	24
Figure 10: Carte de division des pôles de développement agricole.....	25
Figure 11: Carte des zones de développement de la production d'ananas	26
Figure 12: Diagramme ombrothermique d'Abomey Calavi.....	28
Figure 13: Broyeur à maillets.....	31
Figure 14: Système artisanal de pyrolyse (gauche), accélération de la combustion (centre) et refroidissement du "char" (droite).....	31
Figure 15: Presse thermique.....	32
Figure 16: Durée nécessaire à l'ébullition de l'eau pour chaque combustible.....	41
Figure 17: Cercle de corrélation des variables en deux dimensions	44
Figure 18: Représentation en deux dimensions des combustibles en fonction des corrélations des variables	44
Figure 19: Répartition des producteurs enquêtés	46
Figure 20: Répartition des transformateurs enquêtés.....	47
Figure 21: Sources de pertes de revenu des producteurs d'ananas.....	48
Figure 22: Nuage de points des sources de pertes de revenu par catégorie de producteur	50
Figure 23: Mesures d'adaptation employées par les producteurs pour parer les pertes de revenu.....	51
Figure 24: Nuage de points des caractéristiques du niveau de vie par catégorie de producteurs	54
Figure 25: Problèmes liés à la gestion des résidus post-récolte de l'ananas.....	55
Figure 26: Boxplots des besoins et coût de la main-d'œuvre.....	56
Figure 27: Périodes d'intensité de production des unités de transformation.....	60
Figure 28: Boxplots relatif à la capacité des unités de transformation de jus d'ananas	61
Figure 29: Importance des caractéristiques d'un combustible dans le choix d'utilisation des unités.....	63

Liste des tableaux

Tableau 1: Capacités d'activité par sous-catégorie d'acteur de la filière ananas	13
Tableau 2: Sources d'énergie utilisées par les unités de transformation du jus d'ananas	16
Tableau 3: Consommation en combustible en fonction des milieux	17
Tableau 4: Critères de sécurité alimentaire de la méthode CARI	23
Tableau 5: Rendements de résidus post-récolte par variété d'ananas	38
Tableau 6: Formulations produites lors de la phase expérimentale	39
Tableau 7: Estimation des besoins à la production de 100 kg de combustibles	40
Tableau 8: Données du pouvoir calorifique par combustible	42
Tableau 9: Quantités de chaleur captée par l'eau en fonction des combustibles	42
Tableau 10: Calendrier des superficies emblavées mise en culture	57
Tableau 11: Calendrier des récoltes des superficies emblavées par variété	58
Tableau 12: Calendrier de la disponibilité des résidus par superficies emblavées	58
Tableau 13: Evaluation des bénéfices dus à la contrepartie financière en fonction des superficies emblavées	59
Tableau 15: Utilisation en combustible des unités de transformation	61
Tableau 16: Besoins des unités en combustible (kg) par quantité d'ananas transformée	62
Tableau 17: Coût relatif à chaque combustible par quantité d'ananas transformée	62
Tableau 18: Demande en combustible de biomasse d'ananas en remplacement du bois de chauffe et charbon de bois	65
Tableau 19: Coût de la contrepartie financière aux producteurs, à la récolte par mois	66
Tableau 20: Estimation des coûts de production pour 100 kg de briquettes	66
Tableau 21: Coût des briquettes en remplacement du bois de chauffe et charbon de bois	67
Tableau 22: Résultats du test d'ébullition de l'eau pour chaque combustible et un témoin (annexe)	82

Liste des acronymes, symboles et sigles

A.C.P.	Analyse en composantes principales
A.F.C.	Analyse factorielle des correspondances
A.F.D.M.	Analyse factorielle de données mixtes
AFDB	Banque africaine de développement du Bénin
AGPAB	Association des gros producteurs d'ananas au Bénin
AGVSA	Analyse globale de la vulnérabilité et de la sécurité alimentaire
AIAB	Association interprofessionnelle de l'ananas du Bénin
ANEAB	Association nationale des exportateurs d'ananas du Bénin
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
ARE	Autorité de régulation de l'électricité
ATP	Adénosine triphosphate
CAM	Crassulean Acid Metabolism
CCAB	Coopérative des Commerçants d'Ananas du Bénin
CEDEAO	Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest
CETRAD	Centre for training and integrated research in ASAL development
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CNUCED	Conférence des Nations unies sur le commerce et le développement
COLEACP	Comité de liaison Europe-Afrique-Caraïbes-Pacifique
DEFIA	Programme de développement de l'entrepreneuriat dans la filière ananas
DGAE	Direction générale des affaires économiques
ECREEE	Centre for renewable energy and energy efficiency
ETI	Ethical trading initiative
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FCFA	Francs de la communauté financière africaine
FENACOPAB	Fédération nationale des coopératives de producteurs d'ananas du Bénin
FENACOTAB	Fédération nationale des coopératives de transformateurs d'ananas du Bénin
FLO	Commerce équitable – Fair trade
GJ	Giga joule
ha	Hectare

HACCP	Hazard analysis of critical control point
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
INSAE	Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique
Ktep	Kilotonnes d'équivalent pétrole
MERPMEDER	Ministère de l'énergie, des recherches pétrolières et minières, de l'eau et du développement des énergies renouvelables
NADPH	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
NAFDAC	Certificat national agency for food and drug administration and control
ONG	Organisation non gouvernementale
PCCC	Food safety system certification 22000 et GLOBAL G.A.P
PEP carboxylases	Phosphoénolpyruvate carboxylase
Plateforme IRA	Plateforme d'initiative pour la relance de l'ananas
PNDFA	Plan national de développement de la filière ananas
PNIASAN	Plan national des investissements agricoles de sécurité alimentaire et nutritionnelle
PSDSA	Plan stratégique de développement du secteur agricole
REPAB	Réseau des producteurs d'ananas du Bénin
S	Superficie
SIE-Togo	Système d'information énergétique du Togo
SLE	Schéma de libéralisation de la CEDEAO
TIF	Traitement d'induction florale
UEBT	Union for ethical bio trade
UEMOA	Union économique et monétaire Ouest-Africaine

INTRODUCTION

1 Contexte et problématique

La filière de l'ananas (*Ananas comosus*) a été propulsée au rang des cultures prioritaires dans le sud du Bénin lors de la territorialisation des filières agricoles en 2016. Avec un rendement en constante augmentation, 222 223 tonnes en 2009 (Cosinus conseils, 2016) et une estimation à 345 000 tonnes en 2017 (Desclee et *al.*, 2019), cette culture de rente attire de nombreux projets visant à l'amélioration de l'ensemble de sa chaîne de valeur. L'un des programmes, mené par l'agence belge de développement, Enabel, contribue à l'attribution de subventions, ainsi qu'à la formation et à l'accompagnement des acteurs de la filière. Ce programme de développement de l'entrepreneuriat dans la filière ananas (DEFIA) a pour objectif la sécurisation des revenus agricoles au sein de la filière permettant de contribuer au plan national des investissements agricoles de sécurité alimentaire et nutritionnelle (PNIASAN) (Enabel, 2020¹). Ce programme promulgue également l'innovation agricole dont fait partie intégrante la recherche sur la valorisation des résidus de post-récolte de l'ananas. Ces recherches visent à octroyer un revenu supplémentaire pour des résidus qui aujourd'hui, posent un réel problème aux producteurs tout en les valorisant au sein de la chaîne de valeur de la filière. Les résidus de récoltes, qui représenteraient entre 90 t/ha et 150 t/ha (Liu et *al.*, 2013), sont entassés et accaparent ainsi une partie des terres, vouée à être emblavées, constituant une perte de rendement pour le producteur. Outre l'aspect économique, les résidus de récoltes constituent un enjeu environnemental. En effet, les résidus de récolte brûlés ont un impact sur les sols, la biodiversité et l'air (FAO, 2020). Les producteurs, les techniciens et les populations de proximité peuvent être impactés par l'émanation de substances chimiques telles que le dioxyde de carbone, le monoxyde de carbone ou l'oxyde d'azote (ANSES, 2012). L'utilisation de produits phytosanitaires peut également être à l'origine de dégagement de dioxine dans l'air et le sol (ANSES, 2012). Une dégradation du sol peut donc être observée lors du brûlage fréquent des résidus sur une parcelle. L'une des valorisations des résidus post-récolte de l'ananas, à l'étude, est celle de la production d'énergie. Elle vise principalement les unités de transformation du jus d'ananas, dont l'activité est majoritairement conduite à base de combustible fossile, telles que le bois de chauffe et le charbon de bois. Le projet vise à améliorer la chaîne de valeur de la filière, mais également de limiter les impacts environnementaux. L'optique de ce travail est d'évaluer les impacts socio-économiques de la valorisation des résidus de culture au sein des acteurs de la filière Ananas, principalement des producteurs et transformateurs.

1.1 Importance de la filière Ananas au Bénin

L'ananas (*Ananas comosus*) est la troisième culture à potentiel d'exportation du Bénin, après le coton et l'anacarde (Desclee et *al.*, 2019). La filière de l'ananas représente 0,42 % du PIB national et 1,95 % du PIB agricole (Desclee et *al.*, 2019). La part que représente la filière de l'ananas au sein du PIB est plus faible que par le passé, à cause de la fermeture des frontières lors de la crise de l'Ethéphon en 2016 et 2017. La filière ananas représente également un enjeu socio-économique important au sein du pays. En effet, en 2014, le pôle production de la filière Ananas au Bénin représentait l'emploi de plus de 13 000 personnes, producteurs et main-d'œuvre confondus (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014). Selon le programme de développement de l'entrepreneuriat dans la filière ananas (DEFIA), implanté dans le Sud du Bénin, 5 200 producteurs seraient recensés en 2020, dont 92 % seraient réparties au sein de 5 communes du département de l'Atlantique : Abomey-Calavi, Allada, Toffo, Tori-Bossito et Zé. En plus des emplois du pôle de production de la filière, viennent s'ajouter 245 unités de transformation principalement implantées dans les communes d'Allada, d'Abomey-Calavi et de Cotonou, et représentant 3 185 employés (Enabel, 2020³). D'autres emplois sont pourvus au sein du pôle de commercialisation (détaillants et grossistes). En 2019, l'emploi formel et informel de l'ensemble de la chaîne de valeur serait estimé à plus de 100 000 personnes (Desclee et *al.*, 2019).

La production de l'ananas au Bénin se situe loin des premiers rangs mondiaux tels que le Costa Rica, elle se concentre alors sur la commercialisation au niveau du marché local et sous-régional. Le marché sous régional correspond à l'exportation vers le Nigéria, le Burkina-Faso, le Togo et le Sénégal. La commercialisation sur le marché nigérian de l'ananas frais et en jus correspond à la grande majorité des revenus de la filière (Desclee et *al.*, 2019), cela crée une dépendance envers les politiques du pays de la sous-région.

1.2 Importance de la diversification des activités agricoles

La diversification des activités agricoles vise à limiter la dépendance des acteurs aux phénomènes tant socio-économiques que climatiques. Elle permet donc d'améliorer le phénomène de résilience des acteurs. C'est une stratégie promulguée par de multiples organismes dans des projets de développement agricole. Lors de pertes de revenus sur l'activité primaire, le producteur peut s'appuyer sur les revenus de la diversification et ainsi éviter la vulnérabilité alimentaire de son ménage. C'est également un appui lors des dépenses éducatives et sanitaires.

La diversification des activités agricole peut s'exprimer par exemple par la production en association (plusieurs cultures au sein d'une parcelle), la vente de résidus de culture pour la transformation ou encore la vente de semences. Chacune de ces activités permet aux producteurs de générer des revenus soit tout au long de l'année soit ponctuellement, lorsqu'il le décide. Cela permet d'être moins dépendant des rendements et du marché. Aujourd'hui, plus qu'avant, cette diversification est nécessaire à la survie des producteurs. En effet, les phénomènes sont de plus en plus accentués et récurrents. La dégradation des sols, la sécheresse, les maladies et ravageurs et les semences de moindre qualité sont les principales causes des pertes de rendement. Les crises géopolitiques et sanitaires influent sur la fluctuation du prix du marché dont sont dépendants les producteurs. La diversification aide également les producteurs qui contractent des crédits à assurer le remboursement, faute de quoi ils ne pourront pas continuer leurs activités agricoles. De nos jours, les risques de perturbation sont difficilement prévisibles ce qui amène les producteurs à augmenter leur superficie et à exploiter plus de produits phytosanitaires, augmentant la pression sur l'écosystème. De nombreux producteurs trouvent aujourd'hui une activité non agricole afin de fournir les ressources financières nécessaires à l'augmentation de leur production. Cette pratique peut être mise à mal lorsque le rendement escompté n'est pas obtenu. Face à ces contraintes, les producteurs d'ananas ont adopté plusieurs techniques, notamment dans le processus de culture.

2 Objectifs et hypothèses

2.1 Objectifs général et spécifiques

L'étude présentement réalisée a pour objectif général d'évaluer les enjeux et contraintes socio-économiques liés à la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas (*Ananas comosus*) au niveau des producteurs et transformateurs de la filière au Sud-Bénin. A cette fin, des objectifs spécifiques sont définis :

- Proposer un processus de valorisation des résidus post-récolte de l'ananas
- Évaluer la faisabilité technique de la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas
- Identifier les contraintes et enjeux des producteurs et transformateurs à la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas

2.2 Hypothèses

Ce projet est articulé autour de plusieurs hypothèses dont la principale est : la valorisation des résidus post-récolte de l'ananas engendre des enjeux et contraintes sur les acteurs majeurs de la

filière au Bénin. Cette hypothèse sera appuyée par les suivantes :

- Les résidus d'ananas permettent de produire un sous-produit facilement exploitable
- Le processus de valorisation des résidus post-récolte de l'ananas est fonctionnel et exploitable à échelle
- Le processus de valorisation des résidus post-récolte de l'ananas impacte les producteurs et transformateurs

ETAT DE L'ART

1 Présentation de l'ananas (*Ananas comosus*)

1.1 Systématique et généralités

L'ananas originaire d'Amérique du Sud appartient au règne des *Plantae*, à la division des *Magnolophyta*, à la classe des *Liliopsida*, à la famille des *Bromeliceae* et au genre *Ananas* (Randriamahefa, 2017). L'ananas de son nom scientifique *Ananas comosus* (L.) Merrill est représenté par deux variétés au Bénin, le Pain de sucre (*Ananas abacaxi*) et la Cayenne lisse. La variété Pain de sucre représente 83 % de la superficie (Enabel, 2020²) dédiée à la culture d'ananas dans le pays. Cela représente 4 150 hectares sur les 5 000 hectares emblavés au Bénin. La variété Cayenne lisse représente alors qu'une petite partie de la production puisqu'elle n'est cultivée que sur 850 hectares sur l'ensemble du pays.

1.2 Morphologie

L'*Ananas comosus*, est une herbacée pérenne pouvant atteindre une taille et une circonférence de 1 à 1,5 mètre (CNUCED, 2016). Ses longues feuilles lancéolées sont disposées en rosette et peuvent mesurer entre 50 et 100 cm, elles sont généralement épineuses et dégradées de blanc ou de rose. Les feuilles sont positionnées au tour de l'axe de la plante : la tige (CNUCED, 2016). Les feuilles les plus anciennes se situent à la base de la tige et facilitent l'apport en eau au niveau de la racine grâce à leur forme légèrement incurvée (CNUCED, 2016). Le prolongement de la tige donne naissance à la hampe, qui portera le fruit, lui-même surmonté d'une couronne. Le fruit ananas est particulier, en effet en apparence on ne distingue qu'un seul et même fruit alors que son inflorescence est en réalité une grappe donnant plusieurs fleurs et par conséquent de multiples fruits



Figure 1: Inflorescence en grappe (Marignol, 2020)

(figure 1). Chaque fleur donne naissance à un fruit, lors de la fructification l'ensemble des fruits fusionnent pour donner une seule entité : l'ananas. La fusion des fruits forme alors l'apparence écailleuse de l'ananas, les écailles sont appelées « les yeux ». Le plant d'ananas est également constitué d'une partie que l'on surnomme « la carotte » (figure 2), elle comprend les racines superficielles et monte jusqu'à la naissance de la tige. La partie végétative de l'ananas est particulièrement fibreuse, l'étude de Zawawi et *al.* publiée en 2014 a permis de définir que les feuilles sont fortement composées d'holocellulose (85,7%), de cellulose (66,2%) et plus faiblement en hémicellulose (19,5%) et en lignine (4,2%).



Figure 2: "Carotte" du plant d'ananas (Marignol, 2020)

La multiplication végétative est principalement effectuée à base des rejets des plants d'ananas. Il existe cinq rejets sur la plante mère : le cayeu souterrain (cs), le cayeu aérien (ca), le hapa (h), la bulbille (b) et la couronne (c) (figure 3). Le cayeu souterrain prend naissance, sur la tige, sous le niveau du sol, tandis que le cayeu aérien se positionne sur l'axe principal au-dessus de la surface du sol. Le hapa a une insertion plus haute dans la zone de transition entre la tige et le pédoncule. La bulbille se situe à la base du fruit et la couronne, elle, au-dessus du fruit (Edoh Adabe et *al.*, 2016).

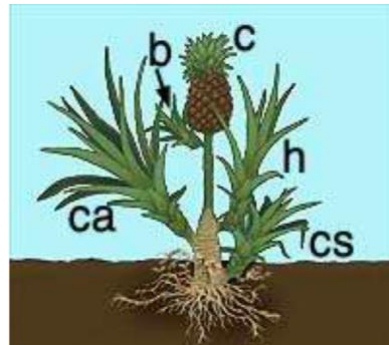


Figure 3: Rejets du plant d'ananas (Arbofruits, n.d.)

1.3 Physiologie

L'ananas est une plante asexuée au fruit non climatérique, cela s'exprime par un arrêt de la maturation après la récolte. La présence d'éthylène, hormone de maturation, n'aura alors pas d'impact sur le fruit après récolte.

C'est également une plante adaptée à la sécheresse que l'on appelle « xérophyte » (Malézieux et *al.*, 1991). A cet égard, la plante a développé un mécanisme que l'on nomme « CAM » ou « Crassulean Acid Metabolism ». Ce mécanisme est le processus de photosynthèse adopté par les plantes dans les milieux de sécheresse (Champigny et *al.*, 2014). Il permet également de

subvenir au besoin de la respiration cellulaire. Le principe des plantes « CAM » est d'optimiser la fixation du carbone en limitant les pertes en eau liées à leur environnement (Champigny et *al.*, 2014). La fixation du carbone est nécessaire au cycle de Calvin et donc à la formation de sucres (amidon et saccharose). Les plantes « CAM » fonctionnent en deux phases, nocturne et diurne. Dans la phase nocturne, elles ouvrent leurs stomates afin de fixer le CO₂ tout en se protégeant de la dessiccation (Champigny et *al.*, 2014). En effet, la

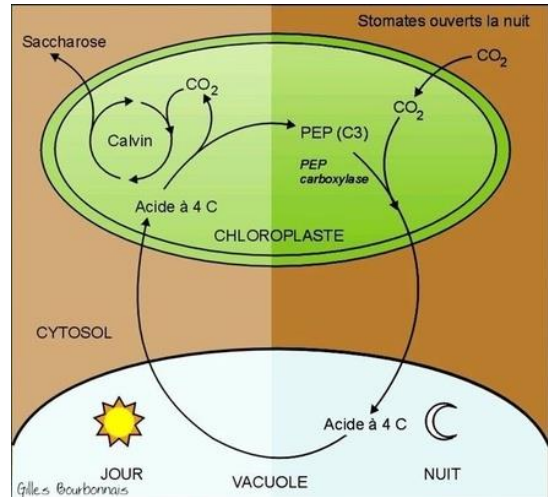


Figure 4: Mécanisme des plantes CAM (Bourbonnais, n.d.)

nuit les températures sont plus basses et l'humidité de l'air plus élevée. Le CO₂ est fixé par les enzymes PEP carboxylases présentes dans les chloroplastes puis transformées en malate, acide à 4 carbones, avant d'être stocké dans les vacuoles sous forme d'acide malique. Dans la phase diurne, l'acide malique est dégradé en malate puis en CO₂ et en pyruvate dans le cytosol (Champigny et *al.*, 2014). Le CO₂ est alors fixé à la rubisco puis exploité dans le cycle de Calvin au sein des chloroplastes (Champigny et *al.*, 2014). Le cycle de Calvin permet, comme dit précédemment, la formation de sucre, pour cela il doit être effectué dans la phase diurne. En effet, l'énergie lumineuse est nécessaire à la photosynthèse, celle-ci se présente sous forme de NADPH et d'ATP. Le cycle de Calvin s'effectuant le jour lorsque les stomates sont fermés, l'évapotranspiration est négligeable (figure 4) (Champigny et *al.*, 2014).

1.4 Écologie

L'ananas est une culture adaptée à la sécheresse, mais lorsqu'elle y fait face ses rendements peuvent s'en trouver réduits. Un apport en eau régulier est donc recommandé même si ses besoins sont modérés. Les besoins en eau de l'ananas correspondent à une pluviométrie de 1 200 à 1 500 mm/an (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Certains producteurs expérimentés appliquent l'irrigation par système de goutte-à-goutte. La température moyenne idéale pour cette culture est de 25°C, avec un écart nocturne/diurne réduit (CNUCED, 2016). L'ananas a également besoin d'une insolation minimum de 1 500 heures (Edoh Adabe et *al.*, 2016). La culture de l'ananas est exigeante, sa plantation se fait sur un terrain bien préparé, la parcelle doit être labourée puisque les racines superficielles se développent dans les 40 premiers centimètres du sol (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Les sols pour cette culture doivent répondre aux caractéristiques drainantes, homogènes et bien aérées, pour éviter l'asphyxie. La plante est

également sensible à la compacité du milieu (semelle de labour, présence de cailloux, etc.). Selon l'étude du COLEACP menée en 2009, le sol doit contenir des teneurs moyennes de 60 à 70% de sables, 10 à 20% de limons et de même proportion pour l'argile. Le sol doit également correspondre au critère de pH compris entre 4.5 et 5.5 (CNUCED, 2016). Les éléments minéraux ne rentrent pas en considération dans le choix du sol pour peu que l'on pratique un ajout d'engrais. Les racines superficielles et le risque d'asphyxie définissent la culture comme très sensible à l'érosion, les sols en pentes sont donc à proscrire. On retrouve dans la région du Sud-Bénin des sols ferrallitiques, dont les caractéristiques physiques : profondeur, drainage, perméabilité conviennent à cette culture.

1.5 La culture de l'ananas (*Ananas comosus*)

1.5.1 Cycle de culture de l'ananas (*Ananas comosus*)

La culture de l'ananas (*Ananas comosus*) au Bénin représente un cycle de 12 à 24 mois (CNUCED, 2016). Ce cycle débute par la plantation, à la main, de rejets. Pour cette étape, le choix du matériel végétal (le cayeu souterrain, le cayeu aérien, le hapa, la bulbille et la couronne) sur des plans sains est donc nécessaire pour favoriser le meilleur rendement. Le choix du type et du poids du rejet va influencer la durée du cycle. Le poids de chaque rejet doit être équivalent afin d'avoir un développement homogène de la culture et notamment lors de la période d'induction florale. Le développement homogène permet de planifier la récolte et d'obtenir des fruits de calibre équivalent. Les rejets sont donc répartis dans les trois catégories 100 à 200 g, 200 à 300 g et plus de 300g. La dernière catégorie permet de limiter la durée du cycle, mais si les rejets sont supérieurs à 500 g les floraisons peuvent être incontrôlées et donner des fruits de petit calibre (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Les producteurs expérimentés choisissent, pour un cycle plus court, des rejets de cayeu aérien allant de 300 à 400 g (Edoh Adabe et *al.*, 2016). La plantation des rejets se fait en bandes avec un espacement dépendant de la méthode de culture. En culture en ligne simple, l'espacement est de 60 cm entre bandes et 30 cm entre plants. Pour les cultures en ligne jumelées, l'espacement est de 40 cm entre bandes, 30 cm entre plants et 80 cm entre deux bandes jumelées (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Les plantations en bandes jumelées sont souvent associées à une autre culture telles que le papayer. La plantation des rejets se fait en quinconce entre chaque bande. Il est considéré que 55 000 rejets sont nécessaires pour la culture d'un hectare (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Après la plantation, le développement s'effectue en plusieurs phases : i) végétative, ii) de fructification et iii) de production de rejets.

- i) La phase végétative correspond au temps entre la plantation des rejets et la floraison et peut durer de 6 à 10 mois (CNUCED, 2016). Pour rendre plus rentable la culture, un traitement d'induction florale (TIF) est souvent utilisé 5 mois après la plantation, afin d'induire précocement la floraison.
- ii) L'application du TIF est l'amorce de la phase de fructification. L'utilisation du TIF permet de limiter la durée de la phase de végétation, il est effectif lors de la manifestation d'une coloration rouge orangé au centre du plant. La floraison est planifiée 45 jours après sa réalisation (Edoh Adabe et *al.*, 2016). En conditions naturelles, la floraison est généralement plus tardive et beaucoup moins homogène. La floraison naturelle est généralement induite par des jours plus courts et des températures plus fraîches (Cirad, 2013). S'en suit ensuite la fructification, d'une durée de 5 à 6 mois, elle dure de l'apparition florale à la récolte du fruit (CNUCED, 2016). Le traitement d'induction florale permet aux producteurs de contrôler leur récolte, en effet, la récolte se fait 5 mois jour pour jour après le traitement (peut être avancé pour des fruits voués à l'exportation) (Edoh Adabe et *al.*, 2016). La récolte pour une floraison naturelle est d'environ 5 mois et 2 semaines après floraison. Un traitement avant récolte peut être effectué, il s'agit du déverdissage à l'éthrel. Ce traitement permet d'obtenir une couleur jaune uniforme sur l'ensemble du fruit, cela est utilisé principalement pour les fruits destinés à l'exportation notamment vers l'Europe. Le traitement est prodigué 7 à 10 jours avant la récolte (COLEACP, 2009).
- iii) La dernière phase est celle de la production de rejets, elle dure du commencement de la récolte à la destruction des plants, de 3 à 12 mois selon la variété (CNUCED, 2016). Pour faciliter la croissance des rejets et non celle des feuilles, un rabattage (coupe des feuilles) sur les plants mères est effectué à l'aide d'une machette ou d'un sécateur. Cette pratique permet de fournir l'énergie nécessaire à la croissance des rejets. La multiplication des plants d'ananas est principalement effectuée à base de rejets. Il est donc important d'avoir des rejets de qualité puisqu'ils déterminent la qualité de la prochaine production et récolte. Après récolte des rejets, les plants sont généralement arrachés et détruits après séchage (environ 35 semaines) (Tam et *al.*, 1935).

1.5.2 Système cultural

1.5.2.1 Conduites d'exploitation

La conduite d'exploitation varie notamment en fonction de la pratique culturale, on

retrouve au Bénin des exploitations conventionnelles et biologiques. De manière générale, la préparation du sol consiste en l'évacuation des matières végétales non décomposées pouvant être enfouies et gêner l'enracinement. Un labour d'une profondeur de 35 à 40 cm est préconisé pour ameublir le sol (COLEACP, 2009). Il est principalement effectué à l'aide d'une houe, pour les plus grands producteurs l'emploi de machine agricole est possible. Il existe deux conduites d'exploitation pour la culture d'ananas soit sur i) un cycle ou ii) plusieurs cycles successifs.

- i) La conduite en un seul cycle correspond à la destruction du pied mère après récolte du fruit et des rejets. Les rejets collectés sont alors mis en terre pour un nouveau cycle. Cette conduite permet d'obtenir de meilleurs rendements, en effet le fruit obtenu à la première année de récolte est généralement plus lourd et de meilleure qualité gustative (teneur en sucre). Ces caractéristiques se dégradent au cours des ans. Cette technique est plus rentable sur les parcelles mécanisées, car les coûts de renouvellement sont élevés. Malgré un niveau de mécanisation très faible au Bénin, 8% soit 416 producteurs (Enabel, 2020²), une grande majorité des producteurs pratique cette conduite culturale.
- ii) La conduite sur plusieurs cycles successifs, moins pratiquée, est basée sur le développement des rejets laissés sur le pied mère. Un nombre de rejets est sélectionné pour chaque plant afin de produire des fruits de dimensions suffisantes à la commercialisation. Cette pratique évite les coûts de destruction des plants et le temps de production de rejet, mais affecte fortement les rendements.

1.5.2.2 Les intrants

L'apport d'intrants est tributaire de la conduite d'exploitation et des pratiques culturales. De manière générale, au sein d'une exploitation conventionnelle, la préparation du sol nécessite un apport en azote, phosphore et potasse (N, P, K) (COLEACP, 2009). Certains producteurs ajoutent également de la fiente de volaille afin de permettre un développement végétatif plus rapide. Du film polyéthylène peut aussi être appliqué comme paillage, limitant les adventices et permettant une augmentation de la température du sol, ce qui favorise le développement racinaire (CNUCED, 2016). En contrepartie, cette méthode favorise le développement parasitaire (CNUCED, 2016). L'apport de fertilisants est conseillé, mais le respect des doses est primordial. Dans le cas contraire, le développement végétatif prend le pas sur la fructification malgré un traitement d'induction florale.

Lors du cycle de culture, la fertilisation varie généralement entre 2 et 5 apports, cela dépend de l'expérience et des ressources des producteurs (Edoh Adabe et *al.*, 2016). Ces apports

sont constitués d'urée et de sulfate de potassium. L'urée permet d'influencer la vitesse de développement de la plante et le poids du fruit. Le sulfate de potassium permet le développement racinaire, mais également d'induire la teneur en sucre, couleur et acidité.

Le traitement de l'induction florale est effectué à l'aide d'un pulvérisateur à dos, il est composé au Bénin, d'eau et d'Éthéphon (à base d'Ethrel) et est régulièrement accompagné d'urée. L'Ethrel est un produit de synthèse permettant de dégager de l'éthylène et ainsi permettre le développement de l'inflorescence. Une pulvérisation de 2 000 à 3 000 l/ha de solution est recommandée, la contenance de l'Éthéphon doit être de 100 à 500 ppm et l'apport d'urée de 2,5 à 5% (COLEACP, 2009). La production de 10 litres de TIF est considérée comme suffisante pour le traitement de 200 plants. Le dépassement de la dose implique le non-respect des normes prévues pour l'exportation. L'ananas étant une plante CAM, l'application du TIF doit se faire la nuit lorsque les stomates sont ouverts. Il doit être appliqué au cœur du plant, au centre des feuilles où la tige va former la hampe.

Un traitement de déverdissement peut être utilisé en avant-récolte, particulièrement pour les produits d'exportation. Ce traitement est identique au traitement d'induction florale, à base d'Ethrel, il permet l'homogénéisation de la couleur jaune sur l'ensemble du fruit. Cette étape concerne plus particulièrement la variété de Cayenne lisse qui à maturité tarde à devenir jaune. Cette couleur jaune et celle qui est associée à la maturité et qui pousse à la consommation dans les pays du Nord.

1.5.3 Les variétés présentes au Bénin

1.5.3.1 Variété Pain de Sucre (*Ananas abacaxi*)

La variété Pain de sucre ou Ananas bouteille, est originaire d'Amérique du Sud, principalement du Brésil (CNUCED, 2016). C'est la variété la plus représentée au Bénin avec 83 % des superficies emblavées consacrées à la production d'ananas. Cette variété est celle que l'on retrouve dans les marchés locaux et sous régionaux, elle est préférée pour sa teneur en sucre. La production de celle-ci est également facilitée par sa production abondante de rejets sur une courte période. La variété Pain de sucre peut produire jusqu'à 12 rejets en même temps sur une période de 3 mois (Desclee et *al.*, 2019). L'avantage est également économique puisqu'à l'achat, les 55 000 rejets (Desclee et *al.*, 2019) nécessaires à la plantation d'un hectare reviennent à 300 000 FCA (460 euros). Cette variété est reconnaissable par ses feuilles entièrement épineuses au contraire de la variété de Cayenne lisse. Cette variété est la principale responsable des problèmes rencontrés sur les résidus de culture d'ananas au Bénin. En effet, sa

période de production de rejet étant courte, les plants mère restent de la matière fraîche, de grande densité que l'on doit sortir du champ pour pouvoir cultiver à nouveau. Cette matière fraîche est alors entassée au centre ou aux abords des champs pour être séchée et brûlée. Ces résidus sont également utilisés par certains producteurs comme paillage.

1.5.3.2 Variété Cayenne lisse

La variété Cayenne lisse est une variété exigeante qui demande un bon entretien pour obtenir, à terme, un fruit sucré. Cette variété n'est pas demandée sur le marché local et sous-régional pour cause : sa teneur en sucre qui varie fortement selon les productions. La Cayenne lisse est tout de même demandée sur le marché international et notamment dans celui de la transformation (salade de fruits, etc.), pour son potentiel de conservation (CNUCED, 2016). Cette variété est particulièrement demandeuse de temps, puisque la production des rejets se fait sur une période d'un an (Desclee et *al.*, 2019). La production de rejets sur une si longue période impose aux producteurs de détenir plusieurs parcelles. En effet, cette variété accapare des terres qui ne sont pas alors mises à la production des fruits. La variété Cayenne lisse produit au maximum 4 à 5 rejets en même temps, le producteur doit récolter les rejets tous les mois. En comparaison avec la variété indigène du Bénin, le Pain de Sucre, les rejets de Cayenne lisse coûtent aux producteurs 3 fois plus cher (Desclee et *al.*, 2019), à l'hectare cela revient à 900 000 FCA (1 373 euros). A l'inverse de l'autre variété présente au Bénin, la Cayenne lisse présente des feuilles légèrement épineuses sur la pointe des feuilles supérieures. Les résidus post-récolte de cette variété ne posent pas de réelles difficultés aux producteurs. En effet, la récolte des rejets se fait sur un an, au bout de ce laps de temps les plants mère sont asséchés et ont flétri. L'état des plans mère permet aux producteurs de travailler le sol sans les récolter.

2 Chaîne de valeur de la filière ananas

2.1 Gouvernance

Chaque acteur de la chaîne de valeur de la filière Ananas est représenté par des coopératives distinctes. Les producteurs sont représentés par quatre coopératives : la fédération nationale des coopératives de producteurs d'ananas du Bénin (FENACOPAB) (Desclee et *al.*, 2019), le réseau des producteurs d'ananas du Bénin (REPAB), la plateforme d'initiative pour la relance de l'ananas (plateforme IRA) et l'association des gros producteurs d'ananas au Bénin (AGPAB). Les coopératives de producteurs permettent leur représentation au sein des entités supérieures, mais également la prestation de services tels que l'accès aux intrants, la mise en

place de ventes groupées, etc. (Desclee et *al.*, 2019). Les transformateurs sont, eux, représentés par la fédération nationale des coopératives de transformateurs d'ananas du Bénin (FENACOTAB) et le « centre for training and integrated research in ASAL development » (CETRAD) (Desclee et *al.*, 2019). Enfin, les commerçants sont représentés par l'association nationale des exportateurs d'ananas du Bénin (ANEAB) et la coopérative des commerçants d'ananas du Bénin (CCAB). Ces coopératives ont les mêmes activités que pour celles des producteurs, si ce n'est que les prestations de services diffèrent et sont liées aux activités de leurs membres telles que l'accès à l'emballage. L'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur de la filière c'est-à-dire : producteurs, transformateurs, distributeurs d'intrants, instituts de recherche et le secteur financier sont rassemblé au sein de l'association interprofessionnelle de l'ananas du Bénin (AIAB). L'AIAB vise à coordonner les actions des différents acteurs à des fins de développement (Desclee et *al.*, 2019). L'AIAB a également le rôle de représentant de l'ensemble de la chaîne de valeur lors de plaidoyers (lois, etc.) avec l'état (Desclee et *al.*, 2019). Le plan national de développement de la filière ananas (PNDFa) permet l'apport en financement au sein de la filière (PNDFa, 2018). Le plan stratégique de développement du secteur agricole (PSDSA) et le plan national d'investissements agricoles et de sécurité alimentaire et nutritionnelle (PNIASAN) ciblent l'ensemble des filières prioritaires au sein des pôles de développement agricoles du pays en maintenant en place des subventions et moyens de développement nécessaires à l'augmentation des rendements (Desclee et *al.*, 2019).

2.2 Enjeux socio-économiques

La filière ananas représente un enjeu socio-économique important du Sud-Bénin, en effet, elle permet la création de plus de 100 000 emplois permanents et occasionnels (Desclee et *al.*, 2019). Au sein de celle-ci, la place du genre y est importante, selon le rapport sur l'analyse de la chaîne de valeur de l'ananas au Bénin en 2020, la femme serait représentée à hauteur de 15% au sein du pôle production, 54% au niveau de la transformation et 80% pour la commercialisation (Desclee et *al.*, 2019). La place des femmes au sein de métiers économiquement viables vise à enclencher leur indépendance économique. Certaines tâches restent encore difficilement accessibles aux femmes. L'accès aux terres est l'une des principales causes de la faible présence de femmes productrices. Cet accès est généralement attribué au chef de ménage ou demande un apport financier conséquent et l'obtention de surcroît d'un crédit difficilement accordé aux femmes.

L'ensemble des maillons de la chaîne de valeur de l'ananas a rapporté en 2018, 30 milliards de FCFA à l'économie du pays (Desclee et *al.*, 2019). Cette recette est majoritairement

associée à la vente de fruits frais et de jus d’ananas et donc au pôle de production et de transformation. Au sein de ces deux pôles sont définies des sous-catégories d’acteurs généralement associées à l’intensité de leur activité (tableau 1).

Tableau 1: Capacités d'activité par sous-catégorie d'acteur de la filière ananas (Desclee et al., 2019)

	Producteurs encadrés conventionnels	Producteurs isolés conventionnels	Producteurs encadrés biologiques	Producteurs - exportateurs UE et MO conventionnels
Part de la production nationale (%)	65	33	1	1
Rendement (t/ha)	50	25 - 35	50	60
Superficie moyenne (ha/producteur)	1.5	0.5	1.5	>10
Prix ananas frais au producteur en 2018 (FCFA/T)	45.000 – 60.000	45.000 – 60.000	95.000	80.000

	Transformateurs artisanaux	Transformateurs semi-industriels	Transformateur industriel
Part de la production nationale transformée (%)	8	11	9
Conversion ananas frais/jus (kg/litre)	2,5	2	1,9
Production moyenne annuelle de jus (litres)	44.000	750.000	16.342.000
Prix de vente du jus en 2018 (FCFA/l)	570	570	520 - 820

Le prix de vente des producteurs isolés conventionnels est plus enclin à être soumis aux variations du marché local dont ils sont dépendants, ce qui génère régulièrement une vulnérabilité de ces acteurs. Les producteurs encadrés biologiques sont eux généralement peu vulnérables au marché, leurs productions étant en grande majorité achetées par des unités de transformation semi-industrielles et industrielles.

La chaîne de valeur de l’ananas contribue également à l’amélioration des conditions de vie, l’accès à la nourriture, aux formations et au foncier. Le capital social de la filière est également en développement grâce aux coopératives des producteurs et aux organisations professionnelles. Ce capital n’est pas encore accessible, les organisations professionnelles fonctionnant par le biais de contribution des acteurs.

2.3 Enjeux environnementaux

La production de l’ananas est basée sur un système extensif, qui par conséquent dégrade l’environnement et participe à la déforestation, la monoculture, l’utilisation d’intrants chimiques et les films polyéthylène non biodégradables (Desclee et al., 2019).

L'analyse environnementale de la Commission européenne, dans le cadre de l'analyse de la chaîne de valeur de l'ananas au Bénin effectuée en 2020 a permis de mettre en lumière les étapes les plus impactantes sur la santé humaine, la qualité des écosystèmes et l'épuisement des ressources (figure 5). L'analyse est effectuée sur l'ensemble des étapes, de la production à la mise sur le marché. Les principaux résultats montrent que les impacts, liés à la production, sur la santé humaine sont majoritairement attribués aux

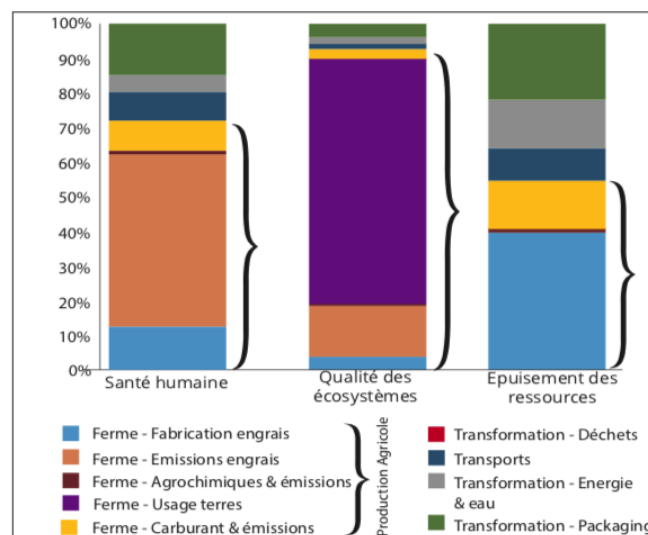


Figure 5: Contribution des étapes de la CV aux dommages environnementaux par kg d'ananas (Desclee et al., 2019)

émissions dues à l'utilisation d'engrais (45%), ceux sur les écosystèmes attribués à l'usage des terres (70%) et ceux sur les ressources, à la fabrication des engrais (40%) (Desclee et al., 2019). Pour la transformation en jus, les impacts sont principalement liés à l'énergie et à l'emballage et sont responsables de dommages sur la santé humaine et l'épuisement des ressources (Desclee et al., 2019). Les sources d'énergie pour la transformation du jus sont généralement constituées de bois de chauffe, de charbon ou de gaz. Le gasoil peut également être utilisé dans certaines étapes de transformation (Desclee et al., 2019).

Dans cette analyse, il n'est pas pris en compte le traitement des résidus de culture. Comme dit précédemment, les résidus de culture sont brûlés ce qui impacte également fortement l'environnement. Une étude expérimentale menée par l'ANSES en 2012 sur le brûlage de résidus de culture et plus précisément les pailles de riz et les cannes à sucre a déterminé les émissions dues à cette pratique. Parmi ces émissions dans l'air, certaines sont récurrentes comme les particules en suspension (PM), le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane et les composés organiques volatils (COVs) (ANSES, 2012). Les émissions peuvent être importantes et non seulement impacter l'environnement, mais également la santé des populations de proximité. Les émissions sont influencées par divers facteurs tels que le combustible utilisé, l'humidité de la matière, les conditions climatiques et la disposition des déchets (en piles, en rangées ou étalés) (Popovicheva et al., 2017). L'analyse de l'impact du brûlage des résidus de récolte sur le sol décrit un résultat qui n'est pas négatif. En effet, il s'agit d'un feu modéré qui permet alors la régénération de la végétation et la destruction des nuisibles, mais qui de manière récurrente peut affaiblir le sol et provoquer des pertes de rendement. Il subsiste des craintes quant à la présence de produits phytosanitaires qui pourraient polluer le sol et ainsi polluer les zones hydrologiques (ANSES, 2012).

2.4 Unités de transformation de la filière Ananas

La transformation de l'ananas est dominée par la production du jus ou sirop et ananas séché (Desclee et *al.*, 2019). D'autres transformations sont effectuées, mais elles ne sont pas représentatives du marché tant elles sont minimes. Il s'agit de la transformation en chips, purée, pépite ou alcool (vin et liqueur). Une enzyme appelée « la Broméline » est également extraite de l'ananas et utilisée dans des essais pharmaceutiques comme facilitateur de la digestion (CNUCED, 2016).

Les unités de transformation sont catégorisées en fonction de leurs équipements et par conséquent de leur performance. Trois catégories sont appliquées aux unités : artisanales, semi-industrielles et industrielles. Le marché visé par ces unités est majoritairement local (60%) et sous-régional (40%). Parmi les pays de la sous-région, le Niger est le premier importateur suivi par le Burkina Faso (figure 6) (Cosinus conseils, 2016).

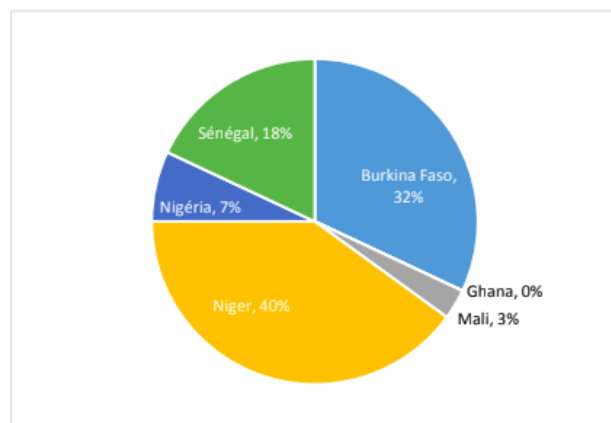


Figure 6: Répartition des exportations dans la sous-région du jus d'ananas en 2015 (Cosinus conseils, 2016)

2.4.1 Fonctionnement d'une fabrique artisanale de jus d'ananas

Le processus de production de jus d'ananas (*Ananas comosus*) débute par l'épluchage et la découpe, à la main, de la chair pour faciliter l'extraction. S'en suit l'extraction du jus, la chair est alors passée dans un extracteur pour séparer le jus et la pulpe, deux passages sont nécessaires à l'extraction d'environ 60% du jus (INRAE, 1995). La contenance en jus d'un ananas est de 30 à 50 cl selon sa taille et la période de reproduction (INRAE, 1995). La pulpe récupérée est placée dans un sac en polyéthylène afin d'être compressée par une presse manuelle, ce qui permet la récupération de 30% de jus supplémentaires (INRAE, 1995). Après cette étape, la pulpe déshydratée est soit évacuée soit réutilisée dans une autre chaîne de transformation. Le jus obtenu est placé dans des marmites sur un foyer (peut être divergent selon le combustible utilisé) afin d'être pré pasteurisé, cela revient à chauffer à 80°C durant 15 minutes (INRAE, 1995). Lors de l'ébullition, la mousse et les particules qui remontent en surface sont prélevées à l'aide d'un contenant en plastique. Une fois la pré pasteurisation effectuée, le jus est filtré à l'aide d'un tamis à maille très fine et disposé sur un grand récipient en inox. Le jus est alors séparé d'une grande partie des résidus et de l'amidon, cette étape permet de limiter l'épaisseur de jus et d'augmenter le temps de conservation. Le jus encore chaud est ensuite embouteillé à

l'aide d'un simple entonnoir, puis encapsulé avec une presse manuelle. Une fois les bouteilles encapsulées, le jus est pasteurisé. Les bouteilles sont placées au sein d'un sac baigné dans un récipient d'eau, lui-même placé sur un foyer. La pasteurisation s'effectue à ébullition sur une durée de 15 minutes (INRAE, 1995). Les jus pasteurisés sont ensuite laissés au refroidissement pendant 72 heures avant d'être étiquetés, le nom de la marque et la date de consommation doivent y être apposés (INRAE, 1995). Les unités de transformation n'ont pas toutes le même processus de fabrication, les étapes sont généralement toutes les mêmes, mais des variantes subsistent (INRAE, 1995).

2.4.2 Utilisation énergétique

Lors de la pré pasteurisation et la pasteurisation du jus par les unités de transformation, l'utilisation de combustible est nécessaire. Les combustibles utilisés dans les unités artisanales se composent généralement de bois de chauffe, de charbon de bois et quelquefois de gaz. Une étude de 2014 basée sur 99 unités de transformation a permis de définir les sources d'énergie utilisées par celles-ci au cours de leur processus (tableau 2). Une majorité utilisait le charbon et/ou le bois (36,4%) et l'association du « gaz + charbon/bois » (24,2%). L'électricité restait et reste encore très peu utilisée (2%) (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014). Ces combustibles jouent aujourd'hui un grand rôle socio-économique dans le pays, mais également au niveau de l'environnement dans le monde. L'enjeu socio-économique des deux principaux combustibles, le bois de chauffe et le charbon de bois, est la création d'emploi pour les femmes permettant l'apport de revenu. Les femmes assurent généralement la production, le transport et la commercialisation de ces combustibles.

Tableau 2: Sources d'énergie utilisées par les unités de transformation du jus d'ananas (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014)

SOURCE ENERGIE	EFFECTIF	POURCENTAGE
CHARBON/BOIS	36	36,4
CHARBON/BOIS + ELECTRICITE	1	1,0
ELECTRICITÉ	2	2,0
GAZ	15	15,2
GAZ + CHARBON/BOIS	24	24,2
GAZ + CHARBON/BOIS + ELECTRICITE	11	11,1
GAZ + ELECTRICITE	10	10,1
TOTAL	99	100

2.4.2.1 Biomasse énergie

La notion de biomasse est définie par la directive 2009/28/CE du parlement européen et du conseil de l'Union européenne comme « *la fraction biodégradable des produits, des déchets*

et des résidus d'origine biologique provenant de l'agriculture (y compris les substances végétales et animales), de la sylviculture et des industries connexes, y compris la pêche et l'aquaculture, ainsi que la fraction biodégradable des déchets industriels et municipaux ».

Le bois de chauffe ou bois-énergie et le charbon de bois représentent les principaux moyens de subsistance de la population béninoise (nourriture, mesures d'hygiène, commerce, etc.). La consommation de biomasse énergie représentait en 2015, 50,6% de la consommation énergétique totale du pays, s'élevant à 3 516,5 ktep¹ (147.10⁶ GJ) (ARE, n.d.). La biomasse énergétique est aujourd'hui peu à peu remplacée par le gaz domestique dans les milieux urbains grâce à la promotion des politiques (DGAE, 2015). La consommation de biomasse reste fortement présente dans les milieux ruraux (tableau 3). En 2015, la production énergétique par charbon de bois était estimée à 330,6 ktep (138.10⁵ GJ), cela a nécessité l'utilisation de 1 117,9 ktep (468.10⁵ GJ) de bois-énergie (ARE, n.d.). Le taux de croissance de l'utilisation de ces deux combustibles était pour les chiffres les plus récents en augmentation, plus de 4 % entre 2010 et 2015 (ARE, n.d.).

Tableau 3: Consommation en combustible en fonction des milieux (SIEP, 2012)

		Bois de feu (kg)	Charbon de bois (kg)	Résidus agricole (kg)	Pétrole lampant (litres)
Consommation Spécifique (par ménage et par jour)	Milieu rural	6,0174	0,3463	0,2489	0,4172
	Milieu urbain	3,3641	0,8068	0,2665	0,3269

Parmi les utilisateurs du bois énergie et du charbon de bois, on retrouve les unités de transformation. En-deçà de la consommation moyenne d'un foyer familial, les unités utilisent la biomasse énergie au cours de deux étapes de production. Certaines unités artisanales peuvent produire jusqu'à 2 tonnes de jus par jour, ceci étant relatif à la quantité de combustible utilisée. Aucun rapport ne relate actuellement la quantité de combustible utilisée au cours de la chaîne de transformation.

L'exploitation énergétique du bois est aujourd'hui l'une des principales causes de déforestation avec l'agriculture et l'élevage. Responsable d'émission de gaz à effet de serre, le bois utilisé ne provient généralement pas d'exploitation durable, signifiant qu'aucune régénération n'est prévue (Leturcq, 2011). Le bilan carbone de cette pratique au Bénin est une des principales causes de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre chaque année.

¹ Ktep : Kilotonnes d'équivalent pétrole (1 000 tep = 41 868 GJ)

Plusieurs projets ont vu le jour pour le développement d'exploitation durable de bois de chauffe (AFDB, 2001).

2.4.2.2 Gaz

L'utilisation du gaz (Butane) est encore peu démocratisée et accessible. Son utilisation représentait en 2017, 1% de la consommation énergétique du Bénin (Ministère du cadre de vie et du développement durable, 2019). Grâce à la mise en place de campagnes pour promouvoir l'utilisation de gaz, une évolution sur la consommation semble être observée. La démocratisation du gaz est majoritairement observée au sein des milieux urbains. En effet, l'utilisation de gaz demande un foyer amélioré (MERPMDER, 2015), dont le coût n'est pas accessible pour tous. L'un des problèmes récurrents est également l'approvisionnement fréquent en « bonbonnes de gaz » généralement peu ou pas disponibles au sein de village (SIE-Togo, 2007). L'objectif commun des pays de la CEDEAO est d'améliorer l'accessibilité au gaz domestique afin de limiter l'utilisation de combustible fossile (ECREEE, 2013). Le gaz a une meilleure efficacité énergétique que le bois, mais son coût est élevé du fait que ce soit un produit pétrolier (ECREEE, 2013). Les ménages et unités artisanales utilisent principalement le gaz comme « combustible d'appoint » en complément du charbon de bois (SIE-Togo, 2007).

2.5 Normes et labélisation

Les normes d'exportation vers la sous-région de l'ananas frais et transformé sont régies par les accords économiques régionaux visant à la libéralisation des échanges : l'Union économique et monétaire Ouest Africaine (UEMOA) et la communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) (Cosinus Conseils, 2016). Des exigences sont jointes aux accords de libre-échange. En effet, les produits dédiés à l'exportation doivent être accompagnés de documents tels que (Cosinus Conseils, 2016) :

- (i) La carte de commerçant ou d'exportateur
- (ii) La facture commerciale établie par l'exportateur
- (iii) Le Certificat d'origine (CO)
- (iv) Le Certificat sanitaire et phytosanitaire
- (v) Les agréments de l'UEMOA et de la CEDEAO qui passe notamment par l'obtention du schéma de libéralisation de la CEDEAO (SLE), le certificat National agency for food and drug administration and control (NAFDAC)

Malgré la présence de ces exigences, peu d'acteurs de la filière en suivent l'intégralité. D'autres

normes de labélisation privée sont utilisées par certains acteurs au Bénin, telles que « Ethical trading initiative » (ETI), « Commerce équitable – Fair trade » (FLO), « Union for ethical bio trade » (UEBT), « Food safety system certification 22000 » et « GLOBAL G.A.P » (PCCC) (Desclee *et al.*, 2019). Les exigences demandées aux producteurs pour l'obtention de ces labels peuvent être fastidieuses notamment pour les petits producteurs qui se rabattent sur le marché local.

Pour la production de jus, le suivi des normes HACCPs (Hazard Analysis of Critical Control Point) est également indispensable à la mise sur le marché, 70% des entreprises se plient aux exigences strictes de ces normes (Cosinus conseils, 2016). Les exigences sont souvent difficiles à mettre en œuvre et à maintenir, ayant pour cause le coût des procédures. Seules 2 unités de transformation de jus au Bénin ont reçu la certification de la norme ISO9001, normes internationales certifiant un système de management de bonne qualité. L'une des exigences de cette norme est notamment de pouvoir démontrer son « aptitude à fournir en permanence des produits et des services conformes aux exigences du client et aux exigences légales et réglementaires applicables » (Online Browsing Platform, 2015). La norme Codex 247-2005 pour les jus et nectars de fruits définit chaque produit et impose qu'une seule réglementation, celle du degré Brix (matière sèche soluble). Le « degré Brix minimal recommandé est de 12,8 pour les jus d'ananas reconstitués et purées d'ananas reconstitué » (Cosinus conseils, 2016). Si les conditions de culture d'un pays de production ne permettent pas d'atteindre cette recommandation telle qu'il est le cas en Afrique de l'Ouest, la valeur est abaissée à 10 (Cosinus conseils, 2016). Cette norme est transcrite dans la directive européenne (CE) 2001-112 (Cosinus conseils, 2016). Le Codex Alimentarius notifie également une limite maximale de résidu (LMR) permettant de garantir que le produit voué à la consommation ne comporte pas une dose nocive de produit phytosanitaire. Elle est fixée à 2mg/Kg d'ananas (COLEACP, 2016) pour l'Ethéphon, produit utilisé pour le traitement de l'induction florale et du déverdissement. Le non-respect de cette dose limite a provoqué en 2016, la fermeture des frontières vers l'Union européenne (Cosinus conseils, 2016).

3 Valorisation de la biomasse

La valorisation de la biomasse est depuis plusieurs années au cœur de plusieurs projets de recherche. Les résidus de culture considérés comme déchets et régulièrement encombrants pour les agriculteurs sont les principales cibles des projets de valorisation. Les innovations visent à mettre en place un complément de revenu aux producteurs tout en les soulageant du traitement des déchets agricoles.

3.1 Substituts énergétiques

La formation de briquettes à base de résidus de culture est pour certains pays d'Europe et d'Amérique, un acquis (Dusabe, 2014). Nombreux sont les pays d'Asie et d'Afrique qui s'y forment aujourd'hui, mais des difficultés subsistent notamment au niveau de la vente, du prix de la transformation et de l'adoption d'un nouveau foyer (Dusabe, 2014). La formation de briquettes consiste en la compression de biomasse afin d'obtenir un bloc compact. Cette pratique nécessite l'intervention de mécanisme de broyage, de pression et régulièrement l'ajout de liant et d'accélérateur (Pratical Action, n.d.). Deux types de briquettes peuvent être produites : les carbonées et non carbonées (Pratical Action, n.d.).



Figure 7: Foyer traditionnel (gauche) et écologique (droite) (Marignol, 2020)

3.1.1 Briquettes non carbonées

Les briquettes non carbonées sont produites à base de résidu de biomasse n'ayant subi aucune carbonisation (Pratical Action, n.d.). La production de briquelette peut se faire à base de déchets industriels (bois, sciure, pâte à papier, etc.) mais également à partir de déchets agricoles au niveau de la production ou transformation (coques de noix, feuilles d'ananas, cannes à sucre, etc.). La fabrication de briquettes non carbonées consiste, dans un premier temps, au broyage de la biomasse afin d'obtenir des fragments compressibles. La compaction des résidus broyés s'effectue au moyen d'une presse. Il existe plusieurs presses, à haute ou faible pression, manuelle, mécanique ou électrique. Pour les presses qui ne fonctionnent pas à haute pression, la biomasse doit être accompagnée d'un liant. On utilise un liant afin d'agglomérer les particules de biomasse entre elles (Pratical Action, n.d.). Il peut également être ajouté, si nécessaire, un accélérateur de combustion (cela dépend de la biomasse utilisée) et un agent de remplissage permettant d'augmenter le poids, le volume et la densité de la briquelette, ce dernier peut être identique au liant utilisé (Pratical Action, n.d.). La production de briquettes non carbonée passe uniquement par un traitement mécanique.

3.1.2 Briquettes carbonées (biochar)

Les briquettes carbonées ou biochar, sont produites à base de matériaux préalablement carbonisés. Le procédé de fabrication de biocharbon passe par le principe de pyrolyse ou de carbonisation de la biomasse. Le processus de pyrolyse permet de décomposer thermochimiquement la matière organique de manière irréversible (Dusabe, 2014 et Naisse, 2015). Celle-ci se produit dans des conditions appauvries en oxygène et à haute température (Naisse, 2015). Au cours de ce procédé, des modifications s'opèrent au niveau des composés de la biomasse tels que la lignine, cellulose et hémicellulose. Cette dégradation des composés de la biomasse permet la formation de structure stable de carbone aromatique que l'on nomme le « char » (Naisse, 2015), il est alors constitué de 80% de carbone fixe (Naisse, 2015). Lors du processus, il se produit la formation de gaz tels que du dihydrogène (H₂), du monoxyde de carbone (CO), du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et de l'eau (H₂O) (Naisse, 2015). Le « char » obtenue est friable, il doit subir un procédé de densification pour l'utilisation en tant que combustible (Dusabe, 2014). Le compactage du « char » à l'aide d'une presse permet d'obtenir un produit solide et résistant : la briquette carbonée.

3.2 Amendements du sol

Le « char » obtenu par le procédé de pyrolyse de la biomasse est principalement utilisé en tant qu'amendement du sol. Cette technique vise à remplacer les engrais minéraux, en apportant les éléments nutritifs nécessaires au sol et à la culture. Ce produit est en proie à de plus en plus d'engouement dû à ses caractéristiques prometteuses au niveau agricole et environnemental (Allaire et *al.*, 2015). Les caractéristiques physique et chimique du « biochar » et les enjeux liés à son utilisation font l'objet de nombreuses recherches (Rees, 2014 et Pepin et *al.*, 2015). D'après ces études, les propriétés du « biochar » sont dépendantes de la biomasse utilisée et du processus de pyrolyse, notamment de la température. Les caractéristiques principales qui lui sont associées sont la persistance, la séquestration du carbone et l'augmentation de la fertilité du sol. Il aurait également des propriétés de restauration des fonctions des sols dégradés et la réduction de la mobilité des polluants (Allaire et *al.*, 2015). L'augmentation de la fertilité du sol serait caractérisée par l'amélioration de la disponibilité de certains nutriments, de la capacité de rétention en eau et du fonctionnement biologique (Rees, 2014). Le « biochar », généralement de pH neutre, permet d'augmenter la disponibilité des éléments des sols acides. Composé essentiellement de carbone et d'une fraction organique, l'application du « biochar » doit être accompagnée d'un complément azoté (Allaire et *al.*,

2015).

METHODOLOGIE

1 Présentation de la zone d'étude

1.1 Le Bénin

La République du Bénin est un pays d'Afrique de l'Ouest, plus précisément entre les parallèles 6°30' et 12°30' de latitude nord et les méridiens 1° et 30°40' de longitude est (FAO, 2011). Ses frontières sont communes au Togo à l'Ouest, Burkina Faso au Nord-Ouest, Nigéria au Nord-Est, Niger à l'Est et sont délimitées au Sud par le Golfe de Guinée (FAO, 2011) (figure 8). Le pays représente une superficie de 114 763 km² (FAO, 2011), il est départagé en 12 départements et 77 communes. La langue nationale officielle est le français, mais plusieurs dialectes sont couramment parlés, tels que le Fon, principalement utilisé au Sud et le Dendi au Nord.

En 2020, la population du pays est estimée à environ 12,11 millions d'habitants avec un taux de croissance de 2,69% (INSAE, 2020). La densité au niveau national est de 100,17 hab/km². La densité de population la plus élevée se situe au Sud, à Porto-Novo capitale du pays et à Cotonou, la capitale administrative (INSAE, 2020). Ce phénomène d'urbanisation a débuté dans les années 60. En 2019, le taux d'urbanisation était évalué à 3,87% (Banque mondiale, 2020). Ce taux décroît d'année en année, pour cause, le manque d'espace au sein des villes. De nombreuses externalités négatives telles que la pollution et les congestions sont également responsables du déplacement des populations plus aisées vers des périphéries moins encombrées. Le gouvernement béninois a lancé plusieurs plans d'aménagement du territoire afin de désengorger les villes telles que Cotonou par la construction d'axes routiers permettant de relier les périphéries et ruralités environnantes.

La situation économique du pays est principalement dominée par la revente ou le réexport de produits du Nigéria (20% du PIB) et l'agriculture en particulier l'exportation du coton et de la noix de cajou (Banque mondiale, 2020).



Figure 8: Carte du Bénin (Atlas, n.d.)

1.1.1 Sécurité alimentaire

En 2017, a été publié le rapport de l'Analyse globale de la vulnérabilité et de la sécurité alimentaire (AGVSA) effectuée au Bénin (Paridaens, 2017). Ce rapport est basé sur la méthode CARI qui permet de définir l'indice de sécurité alimentaire en fonction de plusieurs indicateurs : le score de consommation alimentaire, la vulnérabilité économique ou la part dépensée dans les besoins alimentaires et les stratégies de survie. Ces indicateurs permettent de classer la sécurité alimentaire au sein de quatre catégories : sécurité alimentaire, insécurité alimentaire limite, insécurité alimentaire modérée, sécurité alimentaire sévère (tableau 4).

Tableau 4: Critères de sécurité alimentaire de la méthode CARI (Paridaens, 2017)

Indice de sécurité alimentaire	Description	Sécurité / Insécurité alimentaire
Sécurité alimentaire	Capable de satisfaire ses besoins alimentaires et non alimentaires essentiels sans recourir à des stratégies d'adaptation atypiques.	Sécurité alimentaire
Sécurité alimentaire limite	A une consommation alimentaire tout juste adéquate sans recourir à des stratégies d'adaptation irréversibles. Ne peut pas se permettre certaines dépenses non alimentaires essentielles.	
Insécurité alimentaire modérée	A une consommation alimentaire déficiente OU ne peut satisfaire ses besoins alimentaires minimaux sans recourir à des stratégies d'adaptation irréversibles.	Insécurité alimentaire
Insécurité alimentaire sévère	A une consommation alimentaire très déficiente OU connaît une perte très importante de ses moyens de subsistance qui vont conduire à des déficits importants de la consommation alimentaire OU pire.	

D'après les résultats de l'analyse publiés en 2017, une majorité de la population était répartie au sein des deux premières catégories. En effet, le taux de sécurité alimentaire du pays était de 47,5% et celui de sécurité alimentaire limite s'élevait à 42,9% (Paridaens, 2017). Un pourcentage important de la population se retrouve en sécurité alimentaire limite, ils peuvent rapidement basculer dans l'insécurité alimentaire lors d'un changement tel qu'une inondation, une sécheresse ou un décès. Les taux d'insécurité alimentaire modérée et sévère étaient eux respectivement de 8,9% et 0,7% (Paridaens, 2017), représentant 1,9 million d'habitants (Nation Unis Bénin, 2018). Cette insécurité est majoritairement présente dans les départements de l'Atacora, le Couffo et les Collines (figure 9), où une part de la population peine à vivre de la culture vivrière et est exposée à des dépenses courantes pour des soins de santé et des décès.

1.1.2 La politique agricole

La politique agricole actuelle est celle adoptée par de multiples décrets établis entre 2016 et 2017. C'est le Décret N° 2016-681, établi en novembre 2016, qui définit la territorialisation de l'agriculture par la mise en place de pôles agricoles et d'une approche filière. Anciennement, le territoire était découpé en zonage agroécologique, jugé peu productif, le changement de politique agricole est mis en place après l'élection présidentielle de 2015. La concrétisation de cette réforme agricole a été l'instauration de sept pôles de développement agricole et l'identification de dix filières dominantes, telles que l'anacarde, le manioc, le riz, le maïs ou encore l'ananas. Le pays est subdivisé en sept pôles, en fonction « de la vocation des terres et des opportunités de marchés » (Art.9., Décret N° 2016-681, 2016) (figure 10). A chaque pôle sont associées les filières prioritaires.

L'approche territoriale est non seulement un moyen d'atteindre le niveau de développement économique attendu par les autorités, mais pourrait également permettre d'accroître la sécurité alimentaire (Aguemon, 2016). La politique précédente de zonage agroécologique ne prenait pas en compte la consommation alimentaire de la population, mais uniquement la capacité du sol à produire, seule une culture était alors majoritairement développée : le coton (Aguemon, 2016). La création d'institutions agricole au sein de la politique actuelle a pour objectifs de (Aguemon, 2016) :

- (i) « Assurer la recherche agricole dépendamment des besoins des acteurs des filières et des consommateurs
- (ii) Assurer l'accès des acteurs des filières à des facteurs de production de qualité (intrants, terres)
- (iii) Définir les normes de production, de stockage et de conservation
- (iv) Assurer le contrôle de qualité des productions et des produits »

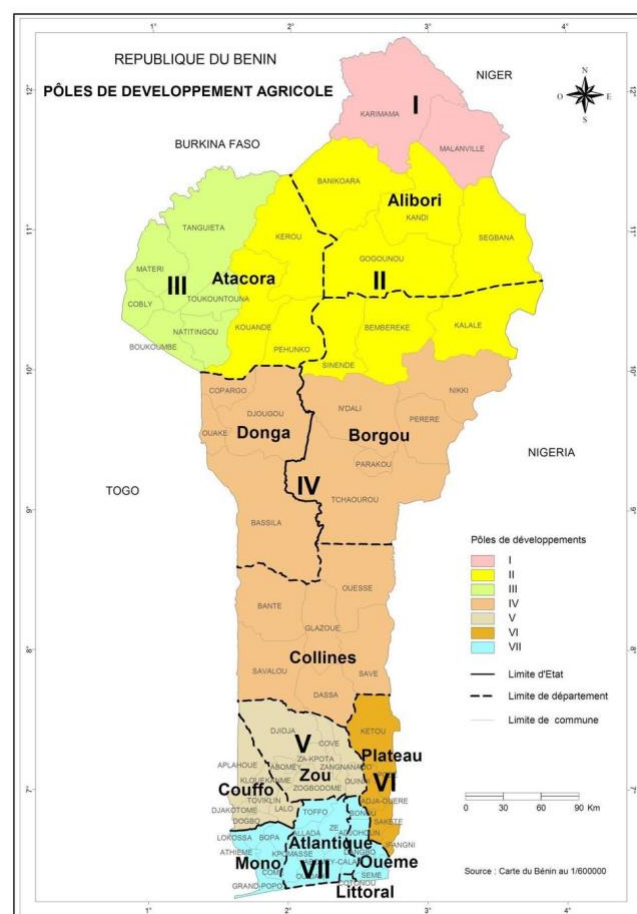


Figure 10: Carte de division des pôles de développement agricole (MAEP, 2017)

La politique agricole est un enjeu non seulement économique, mais également de sécurité alimentaire. Elle vise à « répondre à l'augmentation des besoins alimentaires de la population et de l'accès aux marchés » (Présidence de la République du Bénin, 2015).

1.1.3 Pôles de développement agricole dédié à la filière ananas

La filière de l'ananas est déterminée comme culture phare au sein du pôle 7. Celui-ci représente les départements du sud du Bénin, le Mono, l'Atlantique, le Littoral et l'Ouémé. Identifiées comme zones de pêche et maraîchage, les filières identifiées pour le développement de ce territoire sont dans un premier temps l'aquaculture, l'ananas, la riziculture et le maraîchage. Ce sont les cultures dominantes, viennent ensuite les cultures de maïs, manioc, palmier à huile et les petits élevages (Présidence de la République du Bénin, 2015). La zone de répartition du pôle 7 comprend l'ensemble de l'espace côtier du pays, l'activité de pêche y est donc dominante. Les producteurs d'ananas sont majoritaires dans le département de l'Atlantique, en 2014, ils étaient au nombre de 3 138 (82,7%), dans les départements de l'Ouémé et du Mono respectivement 126 (3,3%) et 128 (3,4%) et dans

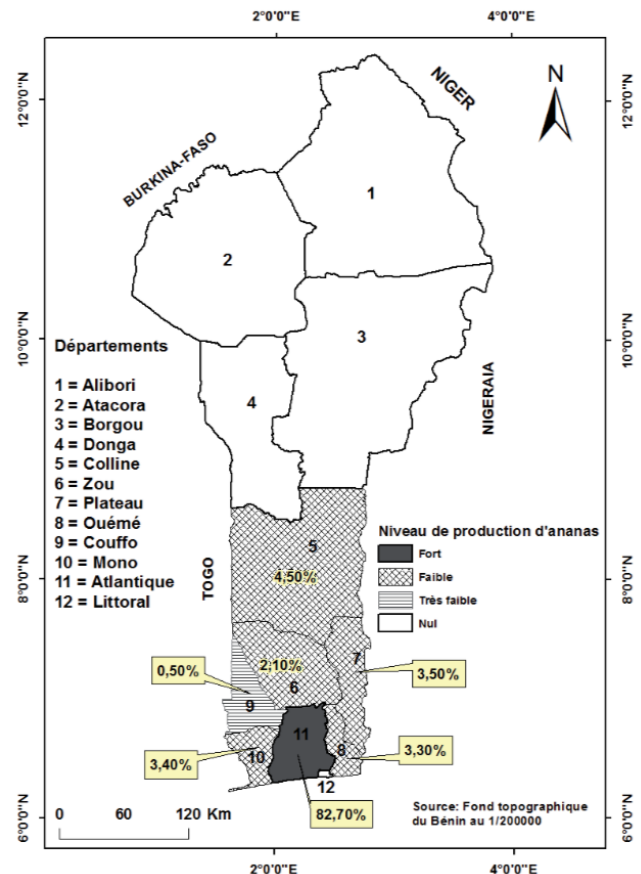


Figure 11: Carte des zones de développement de la production d'ananas (PRB, 2014)

celui du Littoral, aucun producteur n'avait été recensé (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014). En dehors du pôle 7, on retrouve des zones d'extension de l'ananas (figure 11). Ces zones ne présentent pas la filière d'ananas comme l'une des filières phares à développer. Les zones de l'extension de la culture de l'ananas sont présentes au sein du pôle 5 et 6. Le pôle 5 reprend le département du Plateau et le pôle 6, celui du Couffo et de Zou. Au sein du département du plateau, 131 producteurs (3,5%) étaient répertoriés en 2014, pour ceux du Couffo et de Zou respectivement 19 (0,5%) et 81 (2,1%) (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014). Malgré que la culture de l'ananas ne soit pas une filière prioritaire au sein de ces deux pôles, les producteurs peuvent bénéficier de certaines aides d'organismes de la filière ananas installée au pôle 7, tel que DEFIA. Le département des collines recense également des producteurs d'ananas au nombre de 171 (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014).

1.2 Le département de l'Atlantique

Le département de l'Atlantique se situe au sud du Bénin, il s'étend sur environ 100 km, et a une superficie de 3 233 km² (INSAE, 2016). Il est délimité par l'Océan Atlantique au Sud, le département du Littoral au Sud-Est, le département de Ouémé à l'Est, le département du Mono à l'Ouest, le département du Coufo au Nord-Ouest et le département de Zou au Nord. Le département est divisé en huit communes : Abomey-Calavi, Allada, Kpomassè, Ouidah, So-Ava, Toffo, Torri-Bossito et Zè. Le dernier recensement départemental date de 2013, la population du département de l'Atlantique était alors estimée à 1 398 229 habitants pour une densité de 432 hab./km² (INSAE, 2016). Le département de l'Atlantique renferme un réseau hydrographique important avec 22 500 ha de lacs et lagunes (INSAE, 2016) dont une partie du lac Ahémé et du lac Nokoué.

1.2.1 Agriculture

Le département de l'Atlantique constitue avec le département de l'Ouémé et Mono, le pôle de développement agricole numéro 7. Pour le département de l'Atlantique, la pêche ainsi que l'élevage représentent une infime partie de la production agricole, en grande majorité dédiée à la culture de végétaux, à plus de 97% en 2013. La culture dominante est le maïs (51,7%) suivi du manioc (35,3%), se retrouvent ensuite les cultures de rente, l'ananas (5,7%) puis le palmier à l'huile (4,5%) (INSAE, 2013). Les exploitations sont presque exclusivement pratiquées de manière traditionnelle, ce qui se traduit par un travail manuel. La proportion de ménages agricole au sein du département varie selon les communes. Dans les communes d'Abomey-Calavi et de Ouidah, les ménages qui vivent de l'agriculture, la pêche et la chasse sont moindres avec respectivement 4,8% et 12,7% des ménages (INSAE, 2013). Pour les autres communes, les proportions dépassent les 40%, et même 50% pour les communes de Zé, Torri-Bossito et Toffo (INSAE, 2013). La production d'ananas du pays est en grande majorité répartie au sein des communes du département de l'Atlantique. On y retrouve les plus grandes superficies emblavées avec en moyenne 1,4 hectare, inférieures à 0,5 hectare au sein des autres départements (Kpenavoun Chogou et *al.*, 2014).

1.2.2 Sols

Le département de l'Atlantique est dominé par la présence d'un sol ferrallitique, de couleur rouge, à pH acide et d'une profondeur de 2 à 8 m, il est préconisé pour la mise en culture de maïs, d'ananas, de niébé, d'arachide et dans le maraîchage (Youssof et *al.*, n.d.). Ce

sol est composé de matière argileuse, la kaolinite avec une forte teneur en oxydes de fer souvent associée à la présence d'oxydes d'alumine (Ménard, 2018). Les caractéristiques de ce sol sont une bonne capacité de drainage, profondeur, perméabilité et une faible capacité hydrique et chimique. La faible capacité hydrique et chimique favorise l'utilisation d'engrais et la production de culture adaptée à un milieu pauvre. D'autres sols sont présents au sein du département sur de plus infimes superficies. Il s'agit des sols peu évolués qui sont présents au niveau de la ceinture du littoral, des vertisols sont localisés au nord du département, au niveau de la dépression de la Lama et des sols hydromorphes (Youssef et *al.*, n.d.).

1.2.3 Climat

Le département de l'Atlantique est défini par la classification de Koppen comme étant dans un climat de savane à hivers sec (Aw). Les caractéristiques de ce climat correspondent à des températures moyennes par mois supérieures à 18 °C et de fortes précipitations annuelles, supérieures à l'évaporation annuelle. Lors du mois le plus sec, les précipitations sont inférieures à 60 mm et également à $[100 - (\text{précipitations annuelles moyennes}) / 25]$ (Veltz, 2014). De plus, il ne subsiste pas de saison hivernale, qui correspond en réalité à la période sèche. C'est un climat subéquatorial agrémenté de deux saisons sèches et deux saisons des pluies (INSAE, 2016). Les saisons des pluies ont lieu entre les mois de mars et de juillet et de mi-septembre à début décembre. Les saisons sèches sont quant à elle établies dans les périodes d'août à mi-septembre et de début décembre jusqu'au mois de mars (INSAE, 2016). Les périodes de saisons sèches sont accompagnées de ce que l'on nomme l'harmattan, un vent chaud et sec en provenance du Sahara.

Le diagramme ombrothermique d'Abomey Calavi, l'une des 8 communes du département, présente deux périodes de mois plus pluvieux (figure 12). Une saison des pluies se caractérisant par une pluviométrie plus élevée que la température (Hufty, 2001), celle-ci ne concerne alors qu'un mois, celui de Juin où la pluviométrie atteint 315 mm. La pluviométrie annuelle est de 1179 mm. La température moyenne annuelle est de 27,2°C avec un maximum de 28,8°C au mois de mars et un minimum de 25,5°C au mois d'août. L'ensemble des communes du département ont des diagrammes similaires.

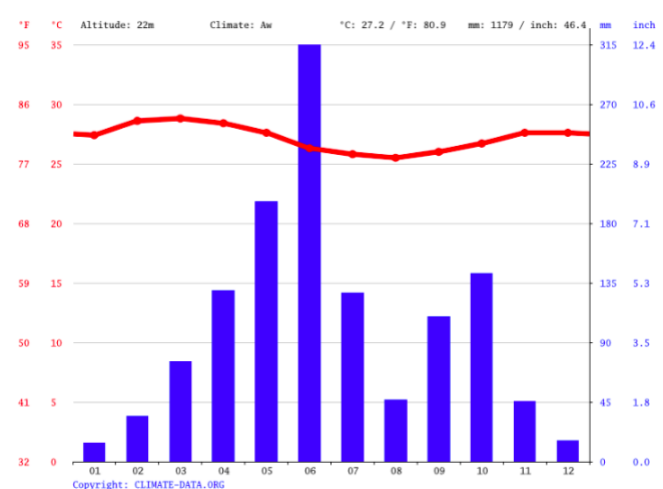


Figure 12: Diagramme ombrothermique d'Abomey Calavi (Climate-Data, n.d.)

2 Matériels et méthodes

2.1 Faisabilité technique de la valorisation des résidus post-récolte

2.1.1 Estimation des rendements

La méthodologie appliquée pour l'estimation du rendement des résidus de culture d'ananas est basée sur une approche statistique, permettant alors l'extrapolation des données récoltées pour l'objectif visé. Cette méthode correspond à la répétition de collecte de résidus sur un espace défini. Ce sont six parcelles qui ont été échantillonnées à raison de trois parcelles pour la variété Pain de sucre et trois pour celle de la Cayenne lisse. Les parcelles sélectionnées pour l'échantillonnage se situent au niveau du département de l'Atlantique dans les cinq localités d'opulence de l'ananas : Tori-Bossito, Toffo, Allada, Zé et Zinvié. Ces parcelles ont été choisies en fonction de la disponibilité et de l'état des résidus post-récolte présents sur celles-ci. La mise en rejets étant pratiquée entre 3 mois et 1 an après la récolte des fruits, l'accord des producteurs est nécessaire à l'échantillonnage.

Dans la pratique, la méthode adoptée pour l'échantillonnage est le recensement en quadra, correspondant au placement d'un carré, d'une superficie définie au sein de chaque parcelle. Cette méthode est celle préconisée dans la mise en place du protocole de recensement des végétaux. Dans l'objectif d'homogénéisation des données, la superficie définie par quadra de 25 m² suit les activités antérieures effectuées sur la plantation d'ananas. L'emplacement de ce quadra se situe au centre d'une parcelle dont la superficie est au préalable ajustée afin d'homogénéiser chaque zone d'échantillonnage. Cette superficie parcellaire est définie à 1 015 m² (0,1 ha) soit une longueur 35 m et une largeur de 29 m. Les mesures pour la délimitation parcellaire sont effectuées à l'aide d'un décamètre et des piquets sont installés à chaque extrémité. Par la suite, deux cordages sont placés en diagonale de la parcelle afin d'obtenir le centre, en leur croisement. Une fois l'emplacement fixé, l'ensemble des résidus est collecté et placé dans des sacs dont la contenance est de 500 kg. Entre quatre et huit sacs sont nécessaires à la collecte de résidus sur l'entièreté d'un quadra selon la variété. Les sacs sont par la suite cousus pour faciliter le transport et marqués par codage, définissant le site et la variété récoltée. Les sacs de résidus seront alors transportés du site de collecte sur le site de DEFIA à Abomey-Calavi afin d'y être pesés, un tricycle peut être utilisé dans des sites difficiles d'accès. Les données recueillies seront ensuite analysées afin d'estimer en moyenne la quantité de résidus post-récolte d'ananas obtenue à l'hectare pour les deux variétés.

2.1.2 Etablissement du processus de valorisation énergétique

La valorisation des déchets post-récolte par la production de combustible est aujourd'hui l'une des principales innovations du programme DEFIA, la recherche s'est donc axée en ce sens.

2.1.2.1 Processus de production de briquettes

2.1.2.1.1 Collecte de la matière première

La matière première est constituée des résidus post-récolte de l'ananas, ce qui comprend les feuilles, la tige et les racines. Ces résidus sont collectés lors de la phase de détermination du rendement. La récolte est effectuée sur 25m² au sein de six sites. Une collecte supplémentaire est menée sur un site afin d'y récolter uniquement des feuilles séchées. Les feuilles séchées se retrouvent au sol, au pied des plants d'ananas. Deux types de résidus sont alors exploités dans la suite du processus. La matière première est convoyée par véhicule sur les sites de transformation.

2.1.2.1.2 Test de broyage de la matière première

Lors de cette étape de test de broyage, l'objectif est d'identifier le mécanisme le plus performant pour l'obtention d'un résultat exploitable lors de la suite du processus. Les mécanismes de broyeurs, électriques ou thermiques, utilisés lors de cette phase sont divers : broyeurs à marteaux, à maillets, à dent et à lame. Ces mécanismes ne sont exploités que sur l'ensemble des résidus post-récolte frais de l'ananas. Le broyage des feuilles séchées est effectué par un broyeur à marteaux au niveau de l'unité de production de briquettes à base de balle de riz gérée par l'organisme GERME ONG et établie à Natitingou (Nord-Ouest du Bénin). Ce broyage sert d'expérimentation sur la durée de broyage, l'utilisation en énergie et la quantité de perte sur 10 kg de résidu. Cette expérimentation est basée sur 10 répétitions et nécessite l'utilisation d'une balance, d'un chronomètre et d'un relevé de compteur électrique. Le principe de broyage reste le même pour tous les mécanismes, à savoir, l'introduction des résidus dans le trémis d'alimentation, le passage au sein du système broyeur et l'expulsion des particules par la cheminée d'éjection (figure 13). La récupération des résidus broyés ce fait soit sur une bâche disposée au-devant du dispositif, alimenté de barrières visant à limiter la propagation des particules et ainsi les déperditions, soit par le placement d'un sac de jute au niveau de la sortie. Les résidus frais broyés sont séchés sur bâche au soleil avant d'être stockés dans des sacs de jutes à l'abri de l'humidité.

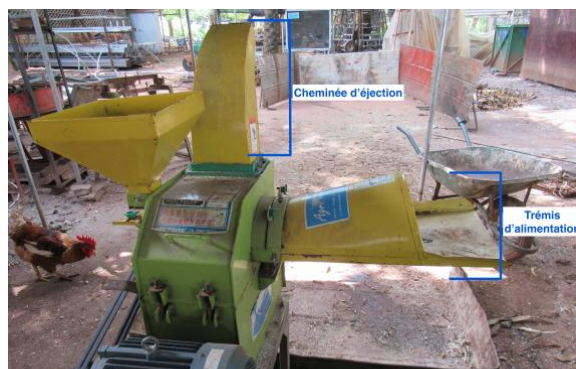


Figure 13: Broyeur à maillets (Marignol, 2020)

2.1.2.1.3 Procédé de carbonisation

Le procédé de carbonisation est effectué en vue de produire des briquettes carbonées ou Biochar. Ces briquettes subissent le processus de pyrolyse à l'aide d'un système artisanal composé d'un foyer et d'une cheminée (figure 14). Positionnés à l'abri du vent, les résidus sont placés au centre du foyer avant d'y être enflammés, puis en dôme tout autour jusqu'à couverture complète (figure 14). Une surveillance accrue est nécessaire pour éviter la combustion complète des résidus donnant lieu à la dégradation en cendre. L'apparition de flamme doit être apaisée par une légère humidification. Une fois le processus accompli, le système est retiré et les résidus carbonés sont étalés et humidifiés afin de mettre entièrement fin au processus.



Figure 14: Système artisanal de pyrolyse (gauche), accélération de la combustion (centre) et refroidissement du "char" (droite) (Marignol, 2020)

Le calcul du rendement d'une transformation permet de définir son efficacité en comparant la matière de départ et celle obtenue. Le rendement de production de Biochar s'évalue alors par la formule (Koala, 2012) :

$$\text{Rdt} = \frac{m_{\text{biochar}}}{m_{\text{résidus}}} \times 100$$

Avec m_{biochar} : masse de Biochar obtenu après pyrolyse (kg)

$m_{\text{résidus}}$: masse de résidus broyé avant pyrolyse (kg)

2.1.2.1.4 Elaboration des formules de production

La production de briquettes passe dans un premier temps par l'élaboration des formules. Pour l'édification de ces formules, sont établis le panel de résidu disponible en fonction des types de broyage et la liste des liants disponibles validée pour le projet. La proportion du mélange résidus/liant est alors effectuée. Cette étape est influencée par la littérature et par les expérimentations antérieures exécutées dans le cadre de la valorisation de résidus d'autres cultures.

2.1.2.1.5 Compactage des mélanges

Après l'étape de formulation vient celle de la production de briquettes par le compactage à l'aide d'une presse thermique. En amont du compactage, chaque composant est pesé, puis associé et mélangé de façon homogène dans une grande bassine. La presse est préalablement allumée afin d'en augmenter la température, différentes températures sont testées afin d'obtenir une production optimale. Le mélange est inséré dans la presse, où il est compacté thermiquement au niveau d'un système de mèche (figure 15). Les briquettes obtenues sont laissées à refroidir ou séchées si l'ajout d'eau est nécessaire au mélange.



Figure 15: Presse thermique (Marignol, 2020)

2.1.2.2 Caractéristiques énergétiques

2.1.2.2.1 Test de combustion

Le test de combustion permet d'obtenir un profil des performances énergétiques des briquettes à base de résidus post-récolte de l'ananas. Ce test consiste à mettre en ébullition un volume d'eau prédéterminé, 2 litres, à l'aide d'un combustible. Les combustibles utilisés pour ce test correspondent aux différentes briquettes produites lors du processus de production, mais également aux combustibles voués à être remplacés : le charbon de bois et le bois de chauffe. L'ensemble de ces combustibles sont utilisés à poids équivalent de 2 kg. Ce test nécessite l'emploi d'un foyer et d'un récipient en aluminium de poids connu. Un foyer amélioré est utilisé pour les tests relatifs aux briquettes tandis que ceux effectués sur le bois de chauffe et charbon de bois s'opèrent sur un foyer traditionnel. Le foyer amélioré est constitué d'une ventilation permettant d'alimenter l'inflammabilité du combustible, ce système est agrémenté d'une batterie alimentée par un panneau solaire. En contrepartie le foyer traditionnel, nécessite une ventilation manuelle.

Le test démarre par le positionnement du combustible au sein du foyer et la mise au feu par l'ajout d'un comburant (tourteau de palmiste) et d'une source de flamme, la durée d'inflammation est collectée. Cette donnée est relative au temps que met le combustible pour s'enflammer. La marmite est alors précautionneusement déposée au sein du foyer, elle est préalablement pesée et remplie de 2l d'eau, dont la température est mesurée. La température est alors mesurée toutes les dix minutes jusqu'à ébullition, moment où la marmite est retirée du feu avant d'être à nouveau pesée. Les résidus de combustible (cendre) seront également récupérés et pesés.

2.1.2.2.2 Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique est relatif à l'énergie libérée au cours de la combustion, il exprime la quantité d'énergie associée à une unité de masse d'un combustible (Dusabe, 2014). Il s'exprime pour un combustible solide en KJ/kg ou Kcal/kg. Deux pouvoirs calorifiques sont différenciés, le supérieur et l'inférieur. Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) correspond l'énergie libérée lors de la combustion, après avoir rétabli la température initiale du combustible. Il est ainsi pris en compte l'ensemble des dépenses énergétiques associées à la combustion y compris celle de la vapeur d'eau. Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) ne prend pas en compte l'énergie associée à la vapeur d'eau. Cette mesure est généralement effectuée au moyen d'un calorimètre, mais peut être estimée par une suite de quatre formules relatives à la quantité de chaleur captée par l'eau, la quantité de chaleur captée par l'aluminium, la quantité de chaleur captée totale et la capacité calorifique massique (Leluc, n.d.).

I) Transferts thermiques

- Calcul de la quantité de chaleur captée par l'eau

$$Q_{eau} = m_{eau} \times C m_{eau} \times (\theta_f - \theta_i)$$

Avec Q_{eau} : quantité de chaleur captée par l'eau (J)
 m_{eau} : masse de l'eau (g)
 $C m_{eau}$: Capacité thermique massique de l'eau (4,18 J.g⁻¹.°C⁻¹)
 θ_f : Température finale de l'eau (°C)
 θ_i : Température initiale de l'eau (°C)

- Calcul de la quantité de chaleur captée par l'aluminium (marmite)

$$Q_{al} = m_{al} \times C m_{al} \times (\theta_f - \theta_i)$$

Avec Q_{al} : quantité de chaleur captée par l'aluminium (J)
 m_{al} : masse de l'aluminium (g)

$C_{m_{al}}$: Capacité thermique massique de l'aluminium ($0,92 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$)

- Calcul de la quantité de chaleur captée totale

$$Q_{tot} = Q_{eau} + Q_{al}$$

II) Capacité calorifique massique

$$CCm = \frac{Q_{tot}}{(m_{ci} - m_{cf})}$$

Avec CCm ou PC : Capacité calorifique massique (J/g puis KJ/kg)
 m_{ci} : masse de combustible avant combustion (g)
 m_{cf} : masse de combustible après combustion (g)

2.2 Collecte de données des maillons cibles de la filière

La collecte de données permet d'acquérir ou d'approfondir les connaissances sur un sujet ou un milieu. Dans ce cadre, la première étape est l'établissement d'un questionnaire, établi sur base de réflexions sur les données manquantes ou incomplètes que l'on détient. Ce questionnement vise l'atteinte de l'objectif de l'identification des impacts socio-économiques de la valorisation des résidus post-récolte au niveau des producteurs et unités de transformation de la filière Ananas. La formulation doit être adaptée au milieu d'enquête, pour être clairement comprise. Une fois le questionnaire rédigé, une phase de digitalisation est nécessaire à la facilitation du traitement des données. La digitalisation est effectuée sur base du logiciel open source ODK. Un serveur est alors généré en ligne pour l'enregistrement régulier des questionnaires.

Dans un deuxième temps, la collecte de données passe par l'identification des personnes à enquêter. Le protocole est établi par une sélection aléatoire sur la base de données du programme DEFIA répertoriant une grande partie des producteurs et des responsables d'unité de transformation du Bénin. Au sein de cette base, 247 transformateurs et 5 187 producteurs sont recensés. Une sélection est effectuée afin d'obtenir les producteurs de la zone d'étude, à savoir ceux des communes de Toffo, Tori-Bossito, Allada, Abomey-Calavi et Zé. Sont également sélectionnés les transformateurs des communes d'Allada, Abomey-Calavi et Cotonou. Deux protocoles sont établis en raison de l'importance des bases de données. Le protocole établi pour les producteurs consiste au préalable, à la sélection aléatoire d'un arrondissement au sein de chacune des cinq communes. Cette sélection est effectuée par la

fonction « ALEA.ENTRE.BORNES » du logiciel tableur Excel. Les producteurs des cinq arrondissements sélectionnés sont alors dénombrés et un pourcentage est appliqué afin d'obtenir un nombre de prospections raisonnable pour le temps imparti et permettant l'exploitation statistique. Cette proportion est de 5% pour les producteurs. L'étape suivante est l'identification des proportions réelle en fonction du genre et des catégories préétablies par l'exploitation des données au sein du programme DEFIA, correspondant à la superficie emblavée. Pour chaque arrondissement est dénombré le genre (homme ou femme) qui est ramené au nombre d'enquête. Pour plus d'éclaircissement, un arrondissement qui comporte 627 producteurs, dont 97 femmes et 577 hommes, représentera un échantillon de 34 personnes soit 5 %, avec proportionnellement 5 femmes et 29 hommes à enquêter. La proportion de genre établie de manière générale au niveau de l'échantillon doit également être identifiée au sein de chaque catégorie de superficie : $S < 0,5$ ha, $0,5 \text{ ha} < S < 2$ ha et $S > 2$ ha. Le nombre de producteurs de chaque catégorie et genre est transformé en pourcentage permettant d'effectuer la proportionnalité au niveau de l'échantillon. En exemple, la catégorie $S < 0,5$ ha représente 314 producteurs dont 68 femmes et 246 hommes représentant respectivement 72 % et 43 % de chaque genre au niveau de l'arrondissement. La proportionnalité est effectuée comme suit : 72 % des 5 femmes de l'échantillon donc 3, seront sélectionnées aléatoirement au sein de la catégorie $S < 0,5$ ha pour être enquêtées. L'obtention du nombre de femmes et d'hommes au niveau de chaque catégorie permet la sélection aléatoire dans la base de données avec la fonction « ALEA.ENTRE.BORNES » et donne lieu à une liste de producteurs à enquêter. Le protocole exploité pour la détermination de l'échantillonnage des transformateurs est en grande partie similaire à celui des producteurs. Le nombre de transformateurs étant bien plus faible, un échantillon est défini au niveau de chaque commune. Ce sont trois échantillons qui seront définis sur une proportion de 20 %. La suite du processus reste le même, seules les catégories diffèrent. Au nombre de quatre, les catégories d'unité de transformation, fixées par le programme DEFIA sont : artisanale, semi industrielle type 1, semi industrielle type 2 et industrielle. Seules les deux premières catégories sont prises en compte dans la sélection. La sélection aléatoire d'une réserve de deux personnes est mise en place pour chaque catégorie et genre, celle-ci permet le remplacement de personnes non disponibles.

La dernière étape est la sélection de quatre prestataires de collecte des données de terrain, certifiés par Enabel, afin d'effectuer les enquêtes sur le temps imparti de six jours. Une séance de cadrage est organisée en amont afin de familiariser les prestataires aux questionnaires et d'effectuer d'éventuelles modifications. Un suivi régulier permet d'appréhender les difficultés rencontrées sur le terrain et de vérifier la concordance des données collectées.

2.3 Traitement de données

2.3.1 Analyse factorielle de données mixtes (A.F.D.M.)

L'analyse factorielle de données mixtes est un outil d'étude de statistique multidimensionnelle couplant les variables qualitatives et quantitatives. Générée à l'aide du logiciel R studio, l'A.F.D.M. permet d'obtenir des résultats sous forme de quatre graphiques : un cercle des corrélations pour les variables quantitatives, un nuage de points pour les variables quantitatives et qualitatives, un nuage de point pour les modalités des variables qualitatives et les individus et un nuage de point de modalité des variables qualitatives. Ces quatre graphiques peuvent être représentés sur plusieurs dimensions (généralement deux) et sont accompagnés de tableaux de données permettant l'analyse. Les variables quantitatives sont soumises au calcul du coefficient de détermination (R^2) pour permettre la comparaison avec les données qualitatives, alors mises sur le même plan. L'interprétation des deux graphiques essentiels, le cercle de corrélation et le nuage de point des variables qualitatives en fonction des individus se font conjointement. L'A.F.D.M à deux dimensions est composée de deux axes, le premier représente la dimension 1, contenant le plus d'information et le deuxième, la dimension 2 exprimant les informations complémentaires en relation au premier axe. On peut retrouver d'autres dimensions selon le pourcentage de variance que l'on souhaite obtenir (Husson François et al., 2016).

2.3.2 Box plot

L'outil Box plot, aussi appelés « boîtes à moustaches », permet une analyse statistique visuelle permettant la comparaison de variables. Généré par le logiciel R studio, le graphique présente différentes données telles que la médiane (au centre du rectangle), les quartiles qui délimitent le rectangle et enfin l'étendue ou « moustache », qui sont mesurées par la valeur de 1,5 multipliée par l'espace interquartile ($Q3-Q1$), valeur de référence préconisée par Tukey (1977). Les valeurs extérieures à l'étendue ne doivent pas être considérées comme aberrantes, mais être étudiées pour en connaître la signification.

2.3.3 Diagramme de Kiviat

Le diagramme de Kiviat ou en radar est un outil graphique à deux dimensions. Généré sur le logiciel R, il permet de visualiser plus de trois ensembles de données multivariées sur un même plan.

2.3.4 Analyse factorielle des correspondances (A.F.C.)

L'analyse factorielle des correspondances est comme l'A.C.P., un outil statistique multidimensionnel. L'A.F.C. permet d'analyser l'association de deux variables qualitatives, par la formation d'un tableau de contingence et d'un graphique en nuage de points à deux dimensions relatives aux correspondances entre modalités des lignes et colonnes. La position de chaque point correspond à l'association entre les modalités des deux variables au sein du tableau de contingence, permettant ainsi de mettre en lumière les liaisons, ressemblances et dissemblances des individus (Salles, 2009). Les données sont soumises au test de Khi^2 afin d'évaluer l'existence d'une dépendance significative entre les modalités des lignes et des colonnes. Ce test est essentiel à l'exploitation des données obtenues par l'analyse (Husson François et al., 2016).

RESULTATS

1 Evaluation de la faisabilité technique

1.1 Production de briquettes à base de résidus post-récolte de l'ananas

La valorisation des résidus post-récolte de l'ananas pour la production de combustible passe par l'évaluation des critères de faisabilité de l'innovation, de la disponibilité de la matière première à l'identification d'un processus performant. Les résultats obtenus dans la phase préliminaire du projet sont un point de vue global sur la technologie et visent l'amélioration du processus à échelle.

1.1.1 Détermination du rendement

L'évaluation du rendement permet d'évaluer la disponibilité en matière première du processus de transformation en combustible selon la superficie des producteurs.

Tableau 5: Rendements de résidus post-récolte par variété d'ananas

Variété d'ananas	Poids résidus prélevés sur 25 m ² (kg)	Rendement (Kg/ha)
Cayenne lisse	76	44 680
	105	
	154	
Pain de sucre	277	108 800
	333	
	206	

Les données obtenues pour 25 m² (tableau 5) ont subi un calcul de moyenne permettant d'obtenir 111,7 kg pour la variété Cayenne lisse et 272 kg pour Pain de sucre. Une conversion a été effectuée afin d'obtenir une donnée extrapolée par hectare, représentant alors 44 680 kg/ha pour la variété Cayenne lisse et 108 800 kg/ha pour Pain de sucre. Le rendement varie entre environ 44,7 t/ha et 108,8 t/ha selon la variété.

1.1.2 Evaluation du processus de production

1.1.2.1 Broyage

Le broyage des feuilles séchées a permis d'évaluer la durée de broyage et les pertes attendues. Pour cela, dix répétitions de broyage sur un poids de 10 kg ont été effectuées. En

moyenne, pour 10 kg de feuilles séchées, il est obtenu 9,57 kg de sciure (annexe 1) pour une durée de 27 minutes et 18 secondes.

L'ensemble des résidus post récolte de l'ananas (feuilles, tige et racine) ont fait l'objet d'expérimentations au niveau des mécanismes broyeurs. Le résultat est l'obtention de diverses formes de résidus broyés : copeaux, fibres et sciures (annexe 1). Lors de ces tests, le broyage à l'état humide de 339,4 kg de résidus a permis d'acquérir 241,3 kg de matière broyées. Après séchage, la masse obtenue est de 56 kg soit une perte de 77% due à l'humidité.

1.1.2.2 Processus de carbonisation

La production de biochar à base de résidus post-récolte de l'ananas, est un processus expérimental testé sur 15,7 kg de résidus fibreux, obtenus en majorité lors des tests de broyage, qui a permis d'acquérir 13,5 kg de matière carbonisée sur un temps de 120 minutes. Le rendement de production de biochar est estimé à 86%.

1.1.2.3 Test de formulation et production de briquettes

Chaque formule établie est passée à l'étape de production afin d'en identifier les caractéristiques. De manière globale ce sont douze formules qui ont été proposées à la production, dont quatre ont donné des résultats (tableau 6). Les liants ont été choisis en fonction des expériences passées sur la valorisation d'autres cultures et par l'accessibilité à proximité. Ce sont donc l'amidon de manioc, le tapioca et l'argile qui ont été sélectionnés.

Tableau 6: Formulations produites lors de la phase expérimentale

Type de résidu	Quantité de résidus (kg)	Type de liant	Quantité de liant (kg)	Quantité de briquettes (kg)
Biochar	5,00	Sans	-	3,40
	13,00	Amidon de manioc	1,30	9,60
Sciure (fa)	3,90	Tapioca	0,78	N.D.
	11,40	Argile	0,57	N.D.

La production de briquettes de formules différentes et à températures variantes ne nous ont pas permis de recueillir un résultat exploitable à grande échelle. En contrepartie, nous avons obtenu quatre types de briquettes exploitables dans le cadre des tests de performances énergétiques.

1.1.2.4 Bilan de production

Les résultats obtenus lors de la phase de production permettent d'évaluer pour deux types de briquettes, non carbonées issues de la sciure de feuilles d'ananas et d'amidon de manioc et carbonées produites à base de biochar, les besoins en résidus et en temps et énergie de transformation (tableau 7). D'après une estimation, pour l'obtention de 100 kg de briquettes non carbonées, 135 kg de résidus et 13,5 kg d'amidon de manioc sont nécessaires. Le temps imparti à la production, réparti entre le broyage et le briquetage est calculé à 8 heures et 30 minutes, avec le matériel à petite échelle utilisé. La puissance utilisée pour la transformation des résidus post-récolte en briquettes est estimée à 67,55 kWh. La production de 100 kg de briquettes carbonées nécessiterait 171 kg de résidus, des pertes ayant lieu au cours du processus de carbonisation et de compression. La durée de carbonisation n'est pas prise en compte, ne pouvant être estimée, car non proportionnelle à la quantité. La durée de broyage et de compression des résidus est estimée à 9 heures et 50 minutes avec une consommation en énergie évaluée à 53,55 kWh.

Tableau 7: Estimation des besoins à la production de 100 kg de combustibles

Type de briquettes	Quantité de briquettes (kg)	Quantité de résidus (kg)	Quantité de liant (kg)	Temps de production (h)	Energie consommée (kWh)
Carbonées	100,00	171,00	-	9h50	53,55
Non carbonées	100,00	135,00	13,50	8h30	67,55

1.1.3 Performances énergétiques

1.1.3.1 Analyse individuelle des combustibles

La performance énergétique des combustibles produits à base de résidus post-récolte de l'ananas est évaluée en comparaison avec les sources d'énergie utilisées par le public cible : le charbon de bois et bois de chauffe. Le test d'ébullition de l'eau permettant d'acquérir des connaissances sur les performances des combustibles nous a dans un premier temps permis d'exclure deux types de briquettes. Ces briquettes composées à base de liant de tapioca et d'argile ont été exclues suite à l'absence d'inflammabilité. Seules les briquettes carbonées (biochar) et non carbonées constituées d'amidon de manioc, présentant une inflammabilité, ont été évaluées au cours du test. Les caractéristiques de combustion varient pour chacun des quatre combustibles expérimentés. On retrouve pour le charbon de bois et les briquettes carbonées un

comportement incandescent tandis que celui du bois de chauffe et des briquettes non carbonées est caractérisé par la présence de flammes (annexe 2).

1.1.3.1.1 Test de combustion

Le test de combustion consistant en l'ébullition d'une quantité d'eau préalablement connue de 2 litres, par divers combustibles de poids équivalent (2 kg), a permis d'évaluer leurs performances individuelles et d'effectuer des comparaisons. Ce test a notamment permis d'obtenir le temps de combustion nécessaire à chaque combustible pour amener l'eau à ébullition (figure 16), permettant ainsi d'obtenir les informations nécessaires au calcul du pouvoir calorifique.

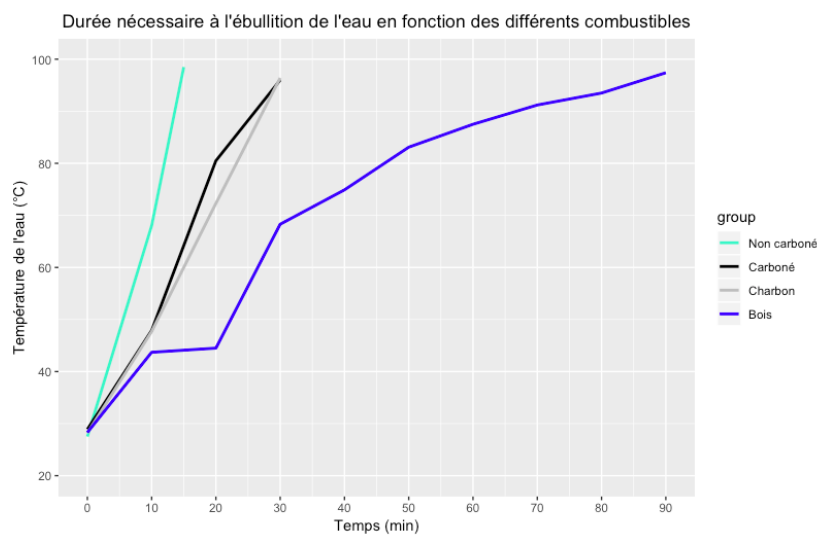


Figure 16: Durée nécessaire à l'ébullition de l'eau pour chaque combustible

La durée nécessaire de combustion des briquettes non carbonées pour atteindre l'ébullition de l'eau a été mesurée à 15 minutes. Notons également que ce combustible a été testé sur une même quantité en jus d'ananas, donnant une performance équivalente permettant d'appréhender les tests d'ébullition de l'eau comme significatifs à l'exploitation visée. Les briquettes carbonées et le charbon de bois ont présenté un temps identique de 30 minutes, pour une consommation en combustibles équivalente de 1,1 kg et 0,94 kg. Enfin, la durée nécessaire à l'ébullition de l'eau par la combustion du bois a été évaluée à 90 minutes, soit six fois le temps attribué aux briquettes non carbonées. Malgré un temps considérablement élevé pour atteindre l'ébullition, la quantité de bois de chauffe consommés, de 0,77 kg, est plus de deux fois moins élevée que celle des briquettes non carbonées (1,75 kg).

D'après ces résultats, une quantité de 100 kg de briquettes non carbonées permet de remplacer 44 kg de bois de chauffe ou 54 kg de charbon de bois. L'équivalent de 100 kg de

briquettes carbonées est nécessaire au remplacement de 85 kg de charbon de bois et 70 kg de bois de chauffe.

1.1.3.1.2 Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique à combustion incomplète (arrêt à l'ébullition de l'eau) des combustibles a pu être calculé sur base des données obtenues lors du test (annexe 3). Ce calcul nécessite la connaissance au préalable de la quantité de chaleur captée par l'eau (Q_{eau}) et par le récipient en aluminium (Q_{al}) (tableau 8).

Tableau 8: Données du pouvoir calorifique par combustible

Combustible	Q_{eau} (kJ)	Q_{al} (kJ)	Q_{tot} (kJ)	PC (kJ/kg)
Briquettes non carbonées (Fa+ 10% amidon de manioc)	593,54	41,54	635,08	362,9
Briquettes carbonées (Biochar)	560,97	39,25	600,22	545,7
Bois de chauffe	577,68	40,42	618,10	802,7
Charbon de bois	570,15	39,90	610,05	649,0

La quantité de chaleur captée par l'eau et par l'aluminium sont supérieures pour les briquettes non carbonées avec un total de 635,08 kJ. On retrouve ensuite le bois de chauffe avec 618,10 kJ puis le charbon de bois et les briquettes carbonées avec respectivement 610,05 kJ et 600,22 kJ. Le pouvoir calorifique représentant la quantité d'énergie associée à une unité de masse, la quantité de chaleur captée est alors divisée par la masse de combustible utilisée. Ce calcul place le bois de chauffe en première position avec une quantité d'énergie évaluée à 802,7 kJ/kg et en dernière les briquettes non carbonées avec 362,9 kJ/kg.

De par ces résultats, la quantité d'énergie dégagée sur une durée peut être estimée, permettant d'appréhender la performance d'un combustible en termes de temps (tableau 9).

Tableau 9: Quantités de chaleur captée par l'eau en fonction des combustibles

Combustible	Q_{eau} (kJ/min)	Q_{al} (kJ/min)	Q_{tot} (kJ/min)
Briquettes non carbonées (Fa+ 10% amidon de manioc)	39,57	2,77	42,34
Briquettes carbonées (Biochar)	18,70	1,31	20,01
Bois de chauffe	6,42	0,45	6,87
Charbon de bois	19,01	1,33	20,34

Les données obtenues permettent de mettre en avant la performance des briquettes non carbonées amplement supérieure aux autres combustibles. La quantité de chaleur captée, et

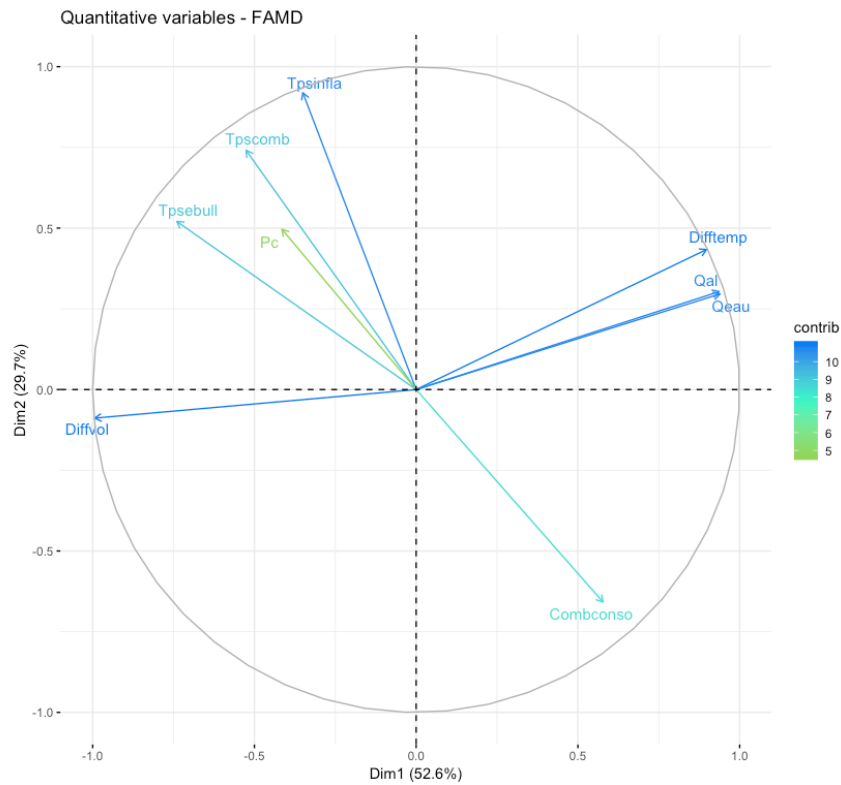
donc transmise par les briquettes non carbonées, est estimé à 42,34 kJ/min soit un résultat deux fois supérieur au charbon de bois et briquettes carbonées et sept fois supérieures à la performance du bois de chauffe. Ce résultat permet également d'apercevoir la similarité des performances du charbon de bois et des briquettes carbonées, ayant tous deux un comportement incandescent.

1.1.3.2 Analyse factorielle de données mixte (A.F.D.M.)

L'analyse factorielle de données mixtes permet d'émettre une comparaison des quatre combustibles selon onze variables actives. Un combustible témoin, de performance hypothétiquement idéale, a été inclus dans le jeu de donnée (annexe 3) afin d'évaluer les ressemblances et dissemblances aux autres sources d'énergie. Cette analyse reprend deux variables qualitatives relatives à l'inflammabilité et à l'obtention des données et neuf variables quantitatives indicatives de la performance énergétique, chacune ayant été au préalable centrée et réduite. L'A.F.D.M. généré en deux dimensions, sur base du jeu de données, permet d'exploiter 82,3 % de l'inertie :

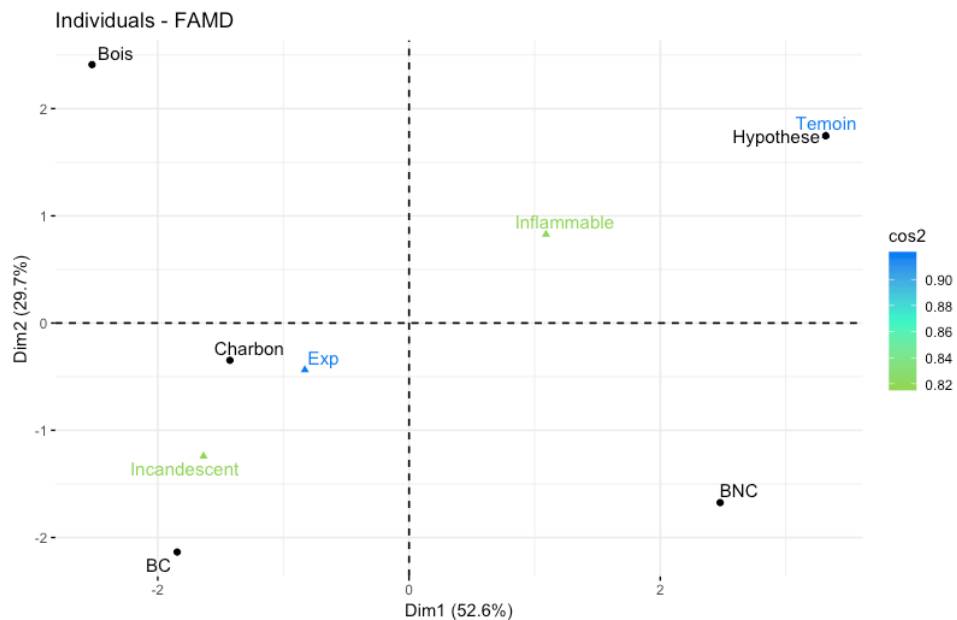
- La première dimension est composée de 52,6 % de l'information totale des variables. Celle-ci est composé pour les variables quantitatives de 17,1 % de la variable « évaporation de l'eau », 15,2 % des variables « quantité de chaleur captée par l'eau » et « quantité de chaleur captée par l'aluminium » et de 13,9 % de la variable « différence de température de l'eau lors de la combustion ». Les modalités des deux variables qualitatives, représentées en majorité sur cette dimension sont « témoin » à 6,6 % pour la variable « obtention de données » et « incandescent » à 3,2 % pour la variable « inflammabilité ». Cet axe représente une comparaison de l'ensemble des combustibles expérimentaux et témoin.

- La deuxième dimension représente 29,7 % de l'information totale des variables qualitatives et quantitatives et permet d'augmenter la comparaison. Celle-ci est composé pour les variables quantitatives de 25,9 % de la variable « temps d'inflammation », 16,8 % de la variable « temps de combustion » et de 13,3 % de la variable « combustible consommé ». Les modalités des deux variables qualitatives, représentées en majorité sur cette dimension sont « témoin » à 5,7 % pour la variable « obtention de données » et « incandescent » et « inflammable » à respectivement 5,8 % et 3,8% pour la variable « inflammabilité ». Cet axe représente une comparaison de l'ensemble des combustibles expérimentaux et témoin mis à part le charbon de bois.



Légende : Qeau = Quantité de chaleur captée par l'eau, Qal = Quantité de chaleur captée par l'aluminium, Difftemp = Différence de température de l'eau lors de la combustion, Tpsinfla = Temps d'inflammation, Tpscomb = Temps de combustion, Pc = Pouvoir calorifique, Tpsbull = Temps d'ébullition, Diffvol = Evaporation de l'eau, Combconso = Combustible consommé

Figure 17: Cercle de corrélation des variables en deux dimensions



Légende : BC = Briquettes carbonées, BNC = Briquettes non carbonées, Charbon = Charbon de bois, Bois = Bois de chauffe, Exp = Expérimentale

Figure 18: Représentation en deux dimensions des combustibles en fonction des corrélations des variables

1.1.3.2.1 Relations entre variables qualitatives

L'analyse du cercle de corrélation² (figure 17) permet d'appréhender les relations entre variables quantitatives. Les corrélations positives prédominantes sont identifiées sous deux groupes de variables. Le premier groupe est constitué des variables relatives à la différence de température de l'eau lors de la combustion (Difftemp) et aux quantités de chaleur captée (Q_{eau} et Q_{al}). Le deuxième groupe reprend le temps d'inflammation (T_{psinfla}), le temps de combustion (T_{pscomb}) et le temps d'ébullition (T_{psebull}). On retrouve une corrélation positive entre le premier groupe et la variable de combustible consommé (Combconso) et entre le deuxième groupe et l'évaporation de l'eau (Diffvol). On peut également identifier deux corrélations négatives majeures. La première est définie entre le premier groupe et les variables du temps de combustion, temps d'ébullition et l'évaporation de l'eau. La deuxième corrélation négative est définie entre le deuxième groupe et la variable de la consommation en combustible. Les relations mises en valeur permettent l'interprétation de la figure 18.

1.1.3.2.2 Comparaisons entre combustibles

Le nuage de point reprenant les différents combustibles et variables qualitatives est analysé conjointement au cercle de corrélation. Le témoin représente une donnée théorique, d'un idéal de performance énergétique. Celui-ci est identifié comme étant inflammable et de bonne capacité à la transmission de chaleur à l'eau et à l'aluminium et par conséquent une forte augmentation de température lors d'une combustion de courte durée. Les briquettes non carbonées, sont inflammables et possèdent une capacité de transmission de chaleur élevée, ce qui est responsable de la consommation rapide du combustible. En contrepartie, ces briquettes nécessitent un temps réduit pour l'inflammation et la mise à ébullition de l'eau. Le bois de chauffe également inflammable se trouve pourtant en opposition aux briquettes non carbonées. Ce combustible présente des caractéristiques de capacité de transmission de chaleur plus faible et de temps d'inflammation et de mise à ébullition plus élevé. En comparaison avec les briquettes, le bois de chauffe présente une consommation en combustible excessivement faible. Le charbon de bois et les briquettes carbonées, tous deux caractérisés par un comportement incandescent comportent des performances relativement similaires. En effet, tous deux ont une

² Aide à la compréhension du cercle de corrélation :

La longueur des flèches est proportionnelle au pourcentage de l'information représentée par les deux axes. L'angle entre deux flèches représente la corrélation qui les lie (angle aigu : corrélation positive ; angle droit : corrélation nulle ; angle obtus : corrélation négative).

capacité de transmission de chaleur plus faible que les autres combustibles et présentent une consommation au cours de la combustion similaire. L'évaporation de l'eau au cours de la combustion et le temps de mise en ébullition sont également des facteurs équivalents. Une dissemblance est notable sur la variable temps d'inflammation positivement corrélée au charbon de bois. Cette différence associe au charbon de bois un temps d'inflammation plus élevé que celui nécessaire aux briquettes.

2 Traitement des données socio-économiques

2.1 Données générales

La collecte de données a consisté, après tirage au sort, à l'enquête de 74 producteurs et 23 transformateurs représentant respectivement 5 % et 20 % de leur effectif total. La collecte des données a donc conduit à l'enquête de 97 personnes, producteurs et transformateurs confondus. Ces deux maillons de la filière sont les principaux bénéficiaires visés par le projet de valorisation des résidus post-récolte de l'ananas. L'enquête des producteurs a été dirigée en fonction des superficies et du genre (figure 19) dans la proportionnalité réelle de chaque arrondissement.

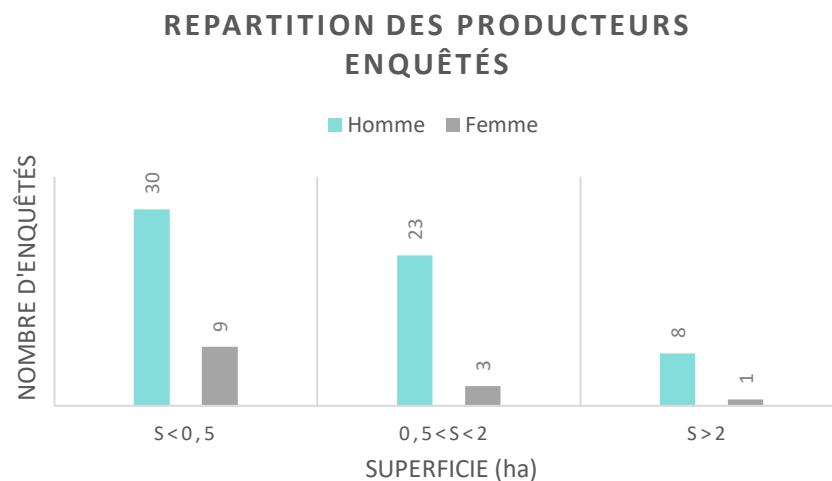


Figure 19: Répartition des producteurs enquêtés

De manière générale, la représentation du genre est répartie selon la proportionnalité de 82 % d'hommes et 18 % de femmes. Sur l'ensemble des producteurs enquêtés, 53 % appartiennent à la première catégorie signifiant qu'ils possèdent moins de 0,5 ha, 35 % représentent les superficies entre 0,5 ha et 2 ha et 12 % celles supérieures à 2 ha.

L'échantillon de transformateurs prospectés ne prend en compte que deux catégories, artisanale et semi-industrielle de type 1 en raison de la faible représentativité des unités de transformation semi-industrielles de type 2 et industrielles (figure 20). Ces deux dernières catégories ne sont également pas le public cible de ce projet.

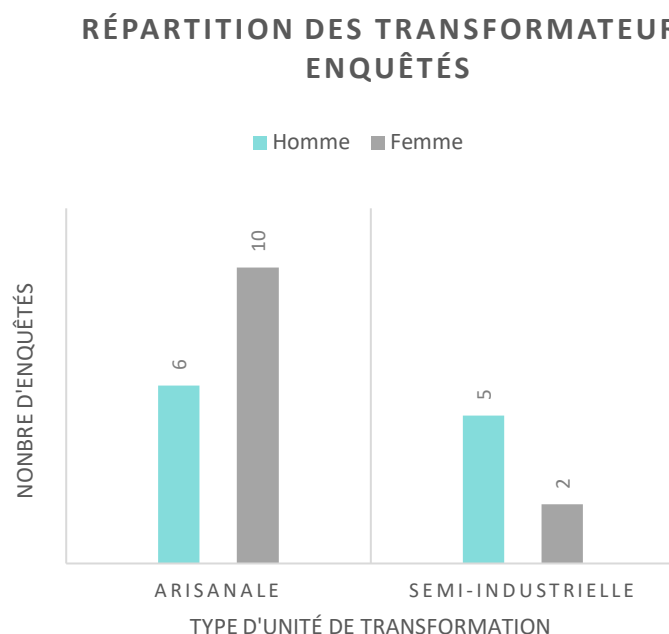


Figure 20: Répartition des transformateurs enquêtés

De manière générale, la représentation du genre représente une proportionnalité de 48% d'hommes et 52 % de femmes. Sur l'ensemble des transformateurs enquêtés, 70% représentent les unités de transformation artisanale et 30 % les semi-industrielles.

2.2 Enjeux et contraintes de la valorisation des résidus de culture d'ananas

2.2.1 Au niveau des producteurs

2.2.1.1 Evaluation de la résilience des producteurs

La résilience caractérise la résistance aux chocs, la capacité à revenir à la normale après un évènement perturbant, cela implique de ne pas employer d'adaptation irréversible, telle que la vente de biens. La résilience des producteurs a un impact sur la stabilité des revenus et donc sur les conditions de vie des ménages. Pour les producteurs d'ananas au Bénin, les évènements perturbants sont dus tant au changement climatique qu'aux aspects sociaux et économiques.

2.2.1.1.1 Sources de pertes de revenu

Les sources de pertes de revenu des producteurs d'ananas ont été identifiées lors de la collecte de données. Ce sont neuf phénomènes qui ont été régulièrement cités. Le graphique suivant (figure 21) représente le pourcentage de producteurs soumis aux phénomènes engendrant des pertes de revenu au sein de chaque catégorie relative aux superficies emblavées. De manière générale, les pertes de revenu causées par les méventes sont majoritairement représentées avec 94 % des producteurs impactés, vient ensuite la sécheresse et la fermeture des frontières avec respectivement 60 % et 41 %. Des dissemblances se dessinent quant à la répartition de certaines sources au sein des catégories, notamment auprès des accès des rejets, accès à la main d'œuvre et accès aux crédits. Ces sources de pertes ne sont pas représentées au niveau de la catégorie des grands propriétaires terriens (supérieur à 2 ha).

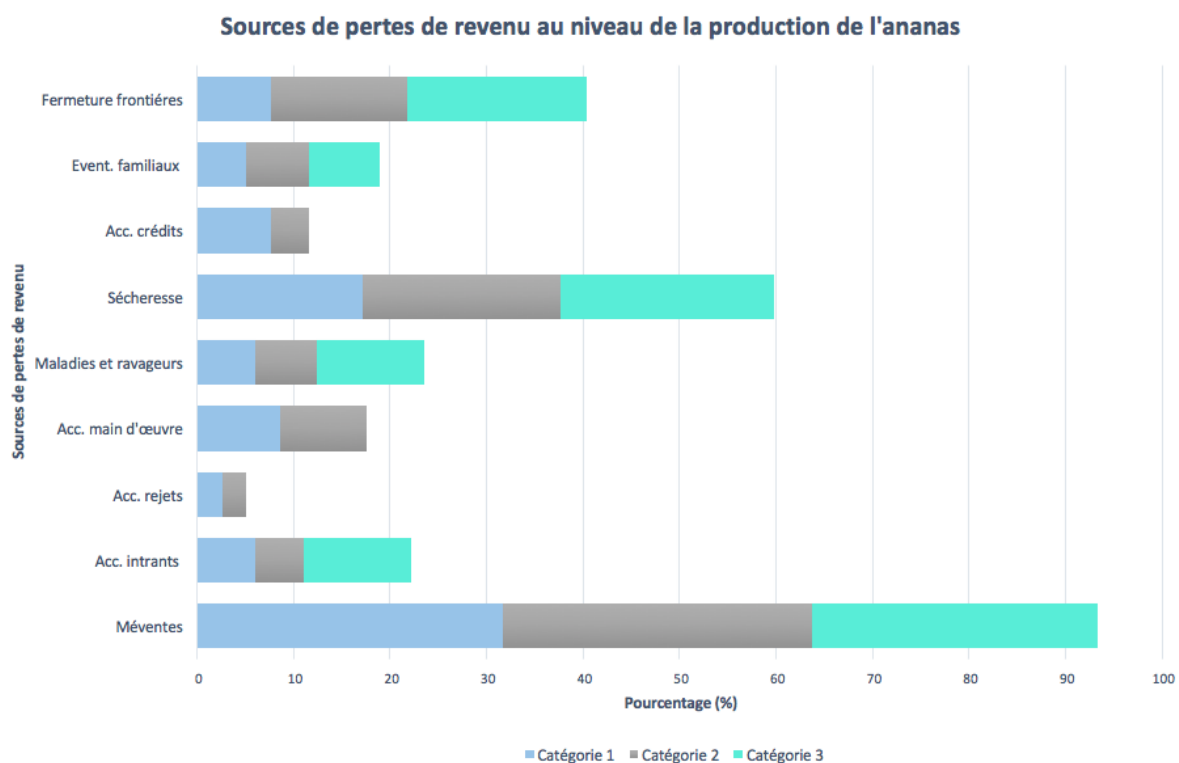


Figure 21: Sources de pertes de revenu des producteurs d'ananas

2.2.1.1.2 Analyse factorielle des correspondances des pertes de revenu par catégorie de producteur

L'analyse statistique multivariée est effectuée selon les données qualitatives de sources de pertes de revenu en fonction des catégories de producteurs relatives aux superficies emblavées. L'intérêt d'effectuer cette AFC est de déterminer les relations entre les modalités

de ces deux variables. L'AFC présente neuf modalités pour la variable « sources de pertes de revenu » et trois pour celle des catégories de producteurs. Cette analyse permet d'identifier les phénomènes sociaux, économiques et environnementaux impactant les producteurs en fonction de leurs superficies emblavées d'ananas et donc en lien avec leur réalité. Pour être significatif, le test de Khi^2 effectué sur le tableau de contingence doit être supérieur, pour un degré de liberté de 16 (trois lignes et neuf colonnes), à 39,25 pour une probabilité d'erreur de 0,001 (loi de Khi^2). Le Khi^2 obtenu pour cette AFC est de 64,66 avec une p-valeur inférieure à 0,001. Le Khi^2 permet d'évaluer l'importance de la liaison entre variables. Le graphique obtenu en deux dimensions permet de représenter 100 % de l'information (figure 22) :

- Le premier axe est composé de 91,4 % de l'information totale des variables qualitatives. Celui-ci est composé pour la variable « sources de pertes de revenu » de 32,6 % de la modalité « accès à la main d'œuvre », 28,6 % de la modalité « crédits », 12 % de la modalité « fermetures des frontières » et de 9,7 % de la modalité « accès aux rejets ». Cet axe est principalement composé des modalités « catégorie 1 et 3 » représentant respectivement 32,6 % et 61,8 % de la variable « catégorie des producteurs ». Cette dimension oppose les catégories 1 et 3 du point de vue des sources de pertes de revenu.

- Le deuxième axe représente 8,6 % de l'information totale des variables qualitatives et permet d'augmenter la comparaison entre les variables. Celui-ci est composé pour la variable « sources de pertes de revenu » de 33,5 % de la modalité « crédits », 20,6 % de la modalité « accès aux intrants », 17,9 % de la modalité « accès à la main-d'œuvre » et de 17,3 % de la modalité « fermetures des frontières ». Cet axe est principalement composé des modalités « catégorie 1 et 2 » représentant respectivement 35,9 % et 60,1 % de la variable « catégorie des producteurs ». Ce deuxième axe oppose les catégories 1 et 2 du point de vue des sources de pertes de revenu.

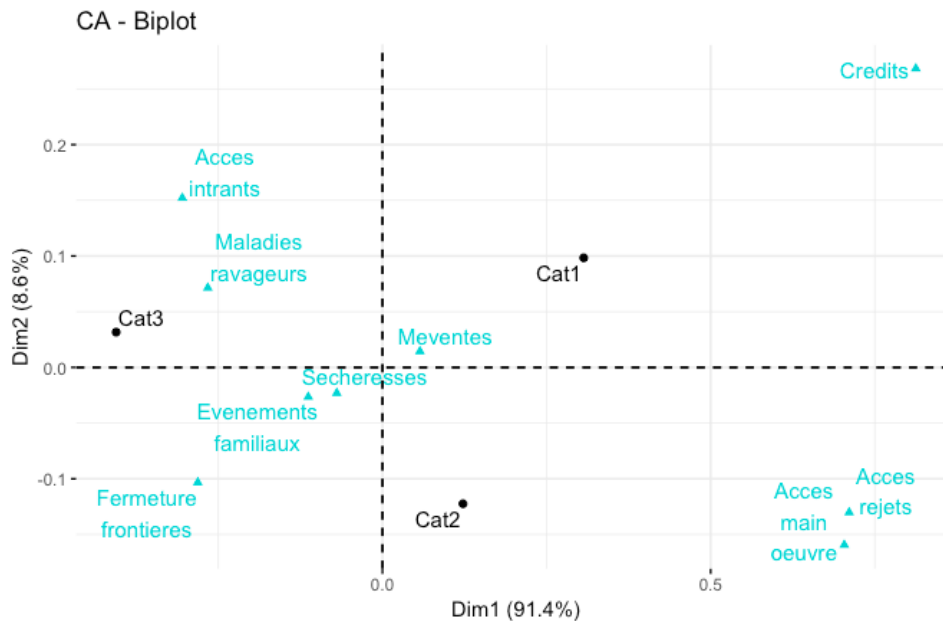


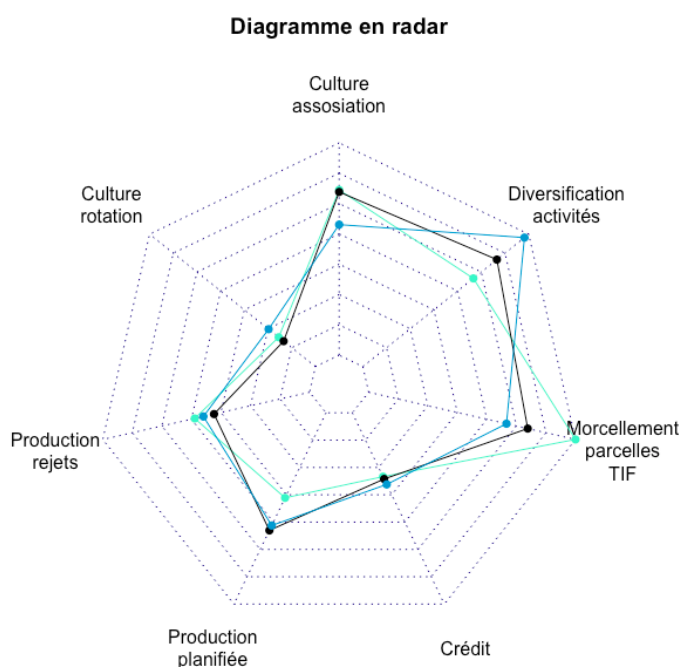
Figure 22: Nuage de points des sources de pertes de revenu par catégorie de producteur

En raison de la composition de la première dimension, la catégorie 1 s’oppose à la 3, l’axe du nuage de point départage verticalement ces deux catégories. Les sources de pertes du côté positif de l’axe sont alors essentiellement attribuées à la catégorie 1, et celles du côté négatif à la catégorie 3. Les sources de pertes attribuées à la catégorie 1 des superficies emblavées inférieures à 0,5 hectare sont l’accès aux crédits et l’accès à la main d’œuvre et aux rejets. Les principales sources de pertes de revenu relatives à la catégorie 3 des superficies supérieures à 2 hectares sont l’accès aux intrants, les maladies et ravageurs et la fermeture des frontières. Les trois sources restantes, les évènements familiaux, sécheresses et méventes sont relativement centrées ce qui implique que les deux catégories sont impactées de manière relativement similaire par ces phénomènes. Ces sources ne représentent alors qu’un faible pourcentage dans l’information retenue pour la construction de l’axe de la première dimension.

La composition de la deuxième dimension correspond à l’opposition de la catégorie 1 et 2, départagées par l’axe horizontal. Les sources de pertes du côté positif de l’axe sont alors essentiellement attribuées à la catégorie 1 et celles du côté négatif à la catégorie 2. Les sources de pertes de revenu associées à la catégorie 1 sont l’accès aux crédits et l’accès aux intrants. Pour la catégorie intermédiaire des superficies emblavées (0,5 ha à 2 ha), les sources de pertes sont l’accès à la main-d’œuvre et la fermeture des frontières. Les sources non citées ne représentent pas un pourcentage probant à la construction de cet axe.

2.2.1.1.3 Mesures d'adaptation contre la perte de revenus

La collecte de données auprès des producteurs d'ananas du département de l'Atlantique a permis de relever les mesures d'adaptation mises en place afin de diminuer les pertes de revenus en cas de phénomènes perturbants. Le graphique ci-dessous (figure 23) reprend sept mesures d'adaptation utilisées par les producteurs : la mise en culture en association, la diversification des activités (agricoles et non agricoles), le morcellement des parcelles pour l'administration du TIF, la demande de crédit, la production planifiée, la production de rejets et la culture en association. Le diagramme en radar vise à mettre en avant les mesures les plus appliquées en fonction de la taille des superficies emblavées : $S < 0,5$ ha (bleu), $0,5 \text{ ha} < S < 2$ ha (noir) et $S > 2$ ha (vert).



Légende : Bleu = Superficies emblavées $< 0,5$ ha, Noir = Superficies emblavées entre $0,5$ ha et 2 ha, Vert = Superficies emblavées > 2 ha

Figure 23: Mesures d'adaptation employées par les producteurs pour parer les pertes de revenu

Le diagramme met en valeur la démarcation et les similitudes des mesures utilisées dans l'optique d'atténuer les pertes de revenus liées à la production. Pour les producteurs possédant des superficies inférieures à 0,5 hectare, la mesure d'adaptation principale est la diversification des activités telle que la transformation de noix de palme. La pratique d'activités parallèles représente une mesure employée par 97 % des producteurs de cette catégorie. Outre la diversification, les mesures appliquées en plus grande partie par ces producteurs sont le morcellement des parcelles pour l'application du traitement d'induction florale (67 %), la mise

en culture en association (62 %) et la production planifiée (59 %). Les trois dernières mesures d'adaptation sont moins utilisées par les producteurs de cette catégorie, 51 % produisent l'entièreté des rejets nécessaire au renouvellement de la culture, 33 % contractent des crédits et 28 % pratiquent la culture en rotation.

Les producteurs possédant des superficies entre 0,5 ha et 2 ha, n'ont pas une mesure d'adaptation dominante, mais pratiquent majoritairement quatre mesures : la diversification des activités (81 %), le morcellement des parcelles pour l'application du TIF (77 %), la mise en culture en association (77 %) et la production planifiée (62 %). L'application des autres mesures est moins pratiquée avec 46 % qui produisent leurs propres rejets, 35 % qui contractent des crédits et 19 % qui pratiquent la culture en rotation.

Enfin, l'intégralité des producteurs de la dernière catégorie possédant des superficies emblavées supérieures à 2 hectares applique le morcellement des parcelles pour l'administration du TIF. La culture en association et la diversification des activités sont également des mesures grandement exploitées par respectivement 78 % et 67 % des producteurs. Les adaptations restantes sont exploitées en moindre mesure avec 44 % qui pratiquent la production planifiée, 33 % qui contractent des crédits et 22 % qui pratiquent la culture en rotation.

Dans une vue d'ensemble, les mesures appliquées par les producteurs des différentes gammes de superficies emblavées restent similaires avec quelques disparités.

2.2.1.1.4 Analyse du niveau de vie des producteurs

Le niveau de vie des producteurs est évalué en fonction des réponses aux questions relatives à leurs conditions de vie et à la possibilité de subvenir aux besoins de première nécessité de leur ménage. Ces résultats sont basés sur la part de la production d'ananas au sein d'un revenu de 10 000 FCFA. La stabilité du revenu des producteurs en temps de crise a également été estimée par celle entraînée par la COVID-19.

La part de la production d'ananas au sein d'un revenu de 10 000 FCFA³ varie fortement en fonction des producteurs. En effet, sur les 74 producteurs interrogés, 57 soit 77 % détiennent la moitié ou plus de leur revenu par la culture de l'ananas. La production d'ananas est pour 23 % des producteurs enquêtés, une part modérée inférieure à la moitié de leur revenu.

A la question « Sur base de ce revenu, comment estimez-vous vos conditions de vie ? », la majorité des producteurs interrogés soit 68,9 % estiment que leurs conditions sont

³ 1 FCFA = 0,0015 euro

acceptables. Parmi les producteurs restants, 13,5 % sont confrontés à des difficultés et 16,2 % estiment qu'ils vivent bien selon leurs convenances.

A la question « Les revenus issus de la production d'ananas permettent-ils de subvenir aux besoins de première nécessité de l'ensemble de votre ménage ? », 59,5 % ont répondu favorablement et 40,5 % négativement. En proportions réelles, les producteurs qui ne parviennent pas à subvenir aux besoins de leurs ménages par la production d'ananas sont représentés à 32,3 % au sein des superficies emblavées inférieures à 0,5 ha, à 22,7 % pour les parcelles entre 0,5 ha et 2 ha et à 41,1 % pour celles supérieures à 2 ha.

Enfin, la stabilité des revenus est évaluée sur base de l'impact de la crise sanitaire. Cette crise est à l'initiative de plusieurs phénomènes socio-économiques impactant les producteurs. A la question « Avez-vous été impacté par la crise de la COVID-19 ? », 85% producteurs ont répondu favorablement. Parmi les producteurs impactés, 60,8 % le sont fortement, 21,6 % moyennement et 8,1 % de manière plus négligeable. La crise sanitaire n'est pas un phénomène prévisible, c'est pour cela un exemple permettant d'évaluer la résilience des producteurs. Cette crise a engendré la perte de revenu généré par la mévente, la fermeture des frontières, la limitation des marchés nationaux, l'accessibilité à la main-d'œuvre et l'interdiction des regroupements entre producteurs, transformateurs et commerçants. Sur les 85 % des producteurs impactés, 6,3 % signalent avoir été en manque de main d'œuvre et 7,3 % relatent l'incidence de l'interdiction des regroupements pour la vente de leur production. L'impact majeur découle de la fermeture des marchés nationaux et sous-régionaux qui a provoqué la mévente sur les marchés locaux et de surcroît la vente à perte. Ce sont 87,3 % des producteurs impactés qui ont subi la perte de marché et la chute des prix de vente.

Le niveau de vie des producteurs prospectés varie en fonction de leur superficie emblavée. L'analyse factorielle des correspondances permet de mettre en avant les variables précitées en fonction des catégories de superficie. L'AFC présente onze modalités pour la variable « niveau de vie » et trois pour celle des catégories de producteurs. Pour évaluer l'importance de la liaison entre variables, le test de Khi^2 est effectué sur le tableau de contingence, pour un degré de liberté de 20 (trois lignes et onze colonnes) il doit être supérieur à 45,31 pour une probabilité d'erreur de 0,01 (loi de Khi^2). Le Khi^2 obtenu pour cette AFC est de 47,86 avec une p-valeur inférieure à 0,001. Le graphique obtenu en deux dimensions permet de représenter 100% de l'information (figure 24) :

-Le premier axe est composé de 81,1 % de l'information totale des variables qualitatives. Celui-ci est composé pour la variable « niveau de vie » de 42,8 % de la modalité « condition de

vie difficile » (Dcond), 14,4 % de la modalité « grande proportion du revenu » (Gprop), 9,2 % de la modalité « moitié du revenu » (Mprop) et de 8,3 % de la modalité « condition de vie favorable » (Bcond). Cet axe est principalement composé des modalités « catégorie 1 et 3 » représentant respectivement 38,5 % et 59,2 % de la variable « catégorie de superficie ». Cette dimension oppose les catégories 1 et 3 du point de vue du niveau de vie.

-Le deuxième axe représente 18,9 % de l'information totale des variables qualitatives et permet d'augmenter la comparaison entre les variables. Celui-ci est composé pour la variable « niveau de vie », de 35,3 % de la modalité « ne subvient pas aux besoins du ménage » (NSbesoin), 25,6 % de la modalité « subvient aux besoins du ménage » (Sbesoin) et de 19,8 % de la modalité « proportion modérée du revenu » (Pprop). Cet axe est principalement composé des modalités « catégorie 1 et 2 » représentant respectivement 28,3 % et 64,3 % de la variable « catégorie de superficie ». Ce deuxième axe oppose les catégories 1 et 2 du point de vue du niveau de vie.

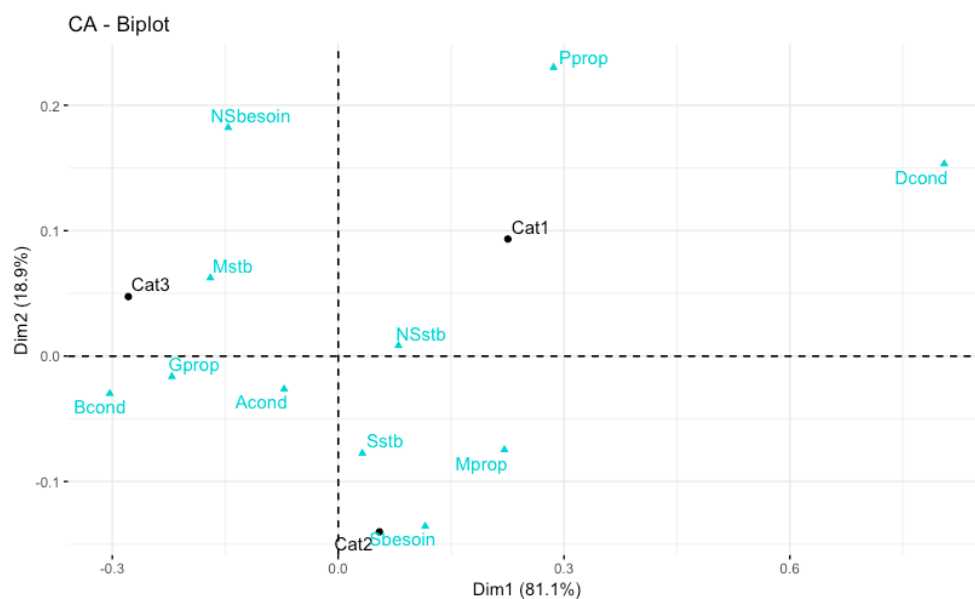


Figure 24: Nuage de points des caractéristiques du niveau de vie par catégorie de producteurs

De par la composition de la première dimension, la catégorie 1 s'oppose à la 3, départagées par l'axe vertical. Les modalités de niveau de vie du côté positif de l'axe sont essentiellement attribuées à la catégorie 1 et celles du côté négatif à la catégorie 3. Les modalités les plus représentatives attribuées à la catégorie 1 des superficies emblavées inférieures à 0,5 hectare sont les conditions de vie difficiles et une production d'ananas constituant la moitié du revenu des producteurs. La catégorie 3 des superficies supérieures à 2 hectares est associée aux conditions de vie favorables et à une grande part de la culture d'ananas dans le revenu des producteurs.

La composition de la deuxième dimension correspond à l'opposition de la catégorie 1 et 2, départagées par l'axe horizontal. Les modalités du niveau de vie du côté positif de l'axe sont attribuées à la catégorie 1 et celles du côté négatif à la catégorie 2. Les modalités associées à la catégorie 1 sont la non-subvention des besoins du ménage et une part modérée de la culture d'ananas au sein du revenu des producteurs. Pour la catégorie intermédiaire des superficies emblavées (0,5 ha à 2 ha), la modalité du niveau de vie associée est la subvention des besoins du ménage. Les modalités non citées ne représentent pas un pourcentage probant à la construction de cet axe.

2.2.1.2 Gestion et utilisation des résidus post-récolte de l'ananas

2.2.1.2.1 Problèmes liés à la gestion des résidus post-récolte

La gestion des résidus post-récolte de l'ananas pose problème pour 31% des producteurs interrogés. D'après ces producteurs, les problèmes liés aux résidus post-récolte sont principalement de quatre genres : la prolifération de maladies, les dépenses engendrées pour la gestion, l'encombrement des terres dû à la non-dégradabilité de la matière et enfin la pénibilité du travail (figure 25). Les dépenses (35%) et la pénibilité du travail (30%) sont les principales causes de problèmes rencontrés par les producteurs suivis par l'encombrement des terres (26%) et en dernier la prolifération des maladies (9%).

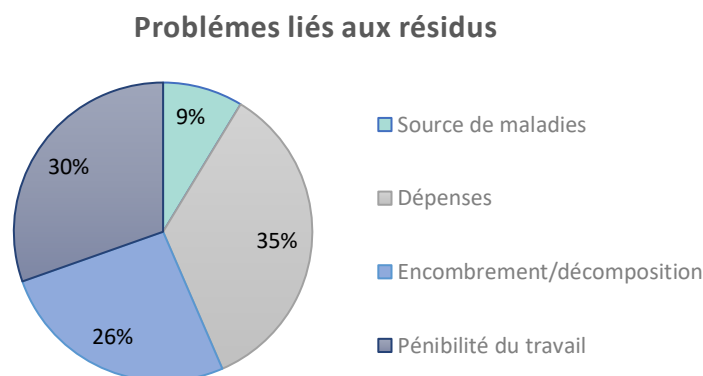


Figure 25: Problèmes liés à la gestion des résidus post-récolte de l'ananas

2.2.1.2.2 Main d'œuvre

La gestion des résidus post-récolte de l'ananas nécessite pour 96,2% des producteurs enquêtés, l'emploi de main d'œuvre. La demande en main d'œuvre pour arracher un hectare de résidus de culture s'étend de 1 et 40 personnes. Cette différence est associée à la divergence

des réalités des producteurs et également au temps imposé à la main d'œuvre pour effectuer cette mission. La valeur médiane attribuée au besoin de main-d'œuvre est de 17, signifiant que 17 personnes sont nécessaires pour l'arrachage de résidus post-récolte sur un hectare (figure 26).

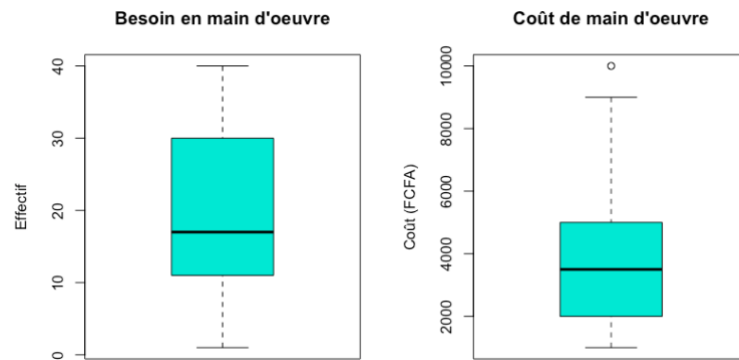


Figure 26: Boxplots des besoins et coût de la main-d'œuvre

Le coût de cette main-d'œuvre varie en fonction des milieux et du type. En effet, l'emploi d'une main d'œuvre familiale ou du cercle de connaissance permet de réduire le coût. L'étendue du coût de la main-d'œuvre se situe entre 1 000 FCFA et 9 000 FCFA, avec une valeur médiane attribuée à 3 500 FCFA.

En résumé, le travail d'arrachage d'un hectare de résidus post-récolte de l'ananas demande au producteur l'emploi de 17 personnes, dont la redevance individuelle s'évalue à 3 500 FCFA. La dépense totale est estimée à 59 500 FCFA (figure 26).

2.2.1.2.3 Utilisation des résidus post-récolte

L'utilisation actuelle des résidus post-récolte de l'ananas est divisée en trois pratiques, le paillage, le brûlis et la mise en place de clôture. Le paillage est principalement utilisé par les producteurs, il permet d'amoinrir la pénibilité du travail. Ce sont 62 % des producteurs qui le pratiquent, dont 21,7 % l'utilisent conjointement au brûlis. Parmi les producteurs interrogés, 44,6 % pratiquent le brûlis et 16,2 % utilisent les résidus comme clôture.

2.2.1.3 Disponibilité des résidus

Dans l'optique d'établir un calendrier de disponibilité des résidus post-culture de l'ananas, la collecte de données a porté sur la ou les période(s) de mise en culture et de récolte, la durée d'un cycle de culture et le temps de collecte des rejets après récolte des fruits.

L'enquête des 74 producteurs a permis de déterminer qu'une grande majorité soit 79,7%, pratique un cycle de culture sur une période de 18 mois. Le cycle de culture de l'ananas

est également pratiqué sur 24 mois par 11 des producteurs soit 14,7%. Les cycles de culture sur 12, 15 et 20 mois représentent une part négligeable de la collecte de données avec respectivement 1,4 % pour les deux premiers et 2,7 % pour le dernier.

La mise en culture des rejets d'ananas est établie en majorité sur plusieurs mois, seuls 4 (5,4%) des producteurs interrogés pratiquent la plantation sur un mois. Le calendrier de mise en culture est effectué sur base de la collecte des données de 74 producteurs. Ce calendrier représente par mois, le nombre de producteurs à effectuer la mise en culture et la superficie totale emblavée en hectare (tableau 10). Les mois où la mise en culture est la plus faible, sont décembre et janvier représentant respectivement une superficie de 0,7 ha et 1,5 ha. En contrepartie, la plantation des rejets est fortement pratiquée au mois de mars, avril et septembre avec des superficies emblavées de 14,4 ha, 12 ha et 12,1 ha. Les superficies présentées sont extrapolées sur base de l'ensemble de la surface de chaque producteur divisé par le nombre de mois prévu pour la mise en culture. Ces superficies ne seront réelles que si le producteur morcelle ses parcelles de manière uniforme et si l'ensemble de la superficie et mise en culture la même année.

Tableau 10: Calendrier des superficies emblavées mise en culture

Année 1												
	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Producteurs	8	27	54	46	32	34	30	34	47	42	30	13
Superficie(ha)	0,7	5,5	14,4	12,0	8,8	4,4	6,0	10,1	12,1	5,1	2,9	1,5

La mise en culture étant différée, la récolte des fruits est de surcroît établie sur plusieurs mois. La récolte est également dépendante du morcellement des parcelles pour le traitement d'induction florale. En effet, la mise en terre des rejets n'est pas signe d'une production immédiate, mais uniquement d'une mise en végétation. Le producteur est décisionnaire de la mise en production par l'application du traitement d'induction florale. La pratique du morcellement parcellaire pour l'application du TIF est pratiquée par 74,3 % des producteurs interrogés. Le calendrier des récoltes reprend de ce fait tous les mois de l'année (tableau 11). Les superficies récoltées sont extrapolées par la même méthodologie que celles relatives à la mise en culture. Les superficies représentées ne sont réelles que si les producteurs récoltent une surface équivalente pour chaque mois prévu. De plus, l'ensemble de la surface de production doit être prête à la récolte la même année, en considérant la durée du cycle de culture de 12 mois

Tableau 11: Calendrier des récoltes des superficies emblavées par variété

Année 2												
	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
Producteurs	16	35	40	36	30	24	25	33	37	29	37	28
Superficie PS (ha)	3,0	11,5	10,0	5,2	4,7	6,0	5,1	8,1	7,0	4,3	6,4	4,1
Superficie CL (ha)	0,1	0,2	0,4	1,8	1,7	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,6	1,3

Une fois la récolte effectuée, les producteurs pratiquent la culture des rejets qui consiste à laisser le pied mère après rabattage des feuilles afin d'obtenir les rejets pour un renouvellement du cycle de culture. La durée de production des rejets dépend de la variété exploitée et de la volonté du producteur pour produire la quantité désirée. Pour la variété Cayenne lisse, la durée de production de rejets s'étend de 6 à 24 mois avec une médiane calculée à 8 mois. L'étendue pour la variété Pain de sucre est de 1 à 12 mois avec une médiane de 4 mois. En exploitant les médianes de chaque variété, la disponibilité des résidus est hypothétiquement identifiée pour un seul cycle de production d'ananas (tableau 12).

Tableau 12: Calendrier de la disponibilité des résidus par superficies emblavées

	Année 2												Année 3							
	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août
Producteurs					15	35	37	25	21	22	27	43	44	26	30	20	3	6	10	9
Superficie PS (ha)					3	11,5	10	5,2	4,7	6	5,1	8,1	7	4,3	6,4	4,1				
Superficie CL (ha)								0,1	0,2	0,4	1,8	1,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	1,4	1,6	1,3
Superficie totale					3	11,5	10	5,2	4,8	6,2	5,5	9,9	8,7	4,6	6,7	4,4	0,3	4,4	1,6	1,3
Quantité de résidus (t)					326,4	1251,2	1088,0	565,8	515,8	661,7	572,8	961,7	837,6	481,3	709,7	459,5	13,4	62,6	71,5	58,1

La quantité de résidus est définie en fonction du rendement en tonnes/hectare de chaque variété évaluée sur le terrain. Pour rappel, le rendement de la variété Pain de sucre est estimé à 108,8 t/ha et celui de la Cayenne lisse à 44,7 t/ha. Ce calendrier basé sur une estimation d'un seul cycle de culture, ne prenant alors pas en considération les résidus post-récoltes d'ananas des productions antérieurs. D'après cette estimation, la disponibilité en résidus post-récolte d'ananas est supérieure pour les mois de juin et juillet avec respectivement 1251,2 t/ha et 1088 t/ha. Les mois grisés ne sont pas pris en considération puisqu'ils sont effectifs aux cycles de culture antérieurs et postérieurs. De plus, la production de la variété Pain de sucre présente des superficies emblavées et un rendement de résidus plus élevé, c'est donc la culture la plus représentative. La disponibilité en résidus post culture de la variété Pain de sucre est moindre pour les mois de mai, février et avril avec 362,4 t/ha, 481,3 t/ha et 459,5 t/ha.

2.2.1.1 Contrepartie financière

Les producteurs prospectés ont répondu favorablement à 89,2 % à la question « Est-vous prêt à récolter et emballer les résidus de culture d'ananas moyennant une contrepartie financière ? ». Les producteurs ayant répondu négativement pensent que les résidus leur sont plus bénéfiques comme apport de fumure ou que le travail demandé n'est pas réalisable.

Le montant de la contrepartie financière a été évalué de manière médiane, sur base de la prospection des producteurs, à 300 000 FCFA par hectare, 25 000 FCFA par quanti⁴ ou 5 000 FCFA par sac de jute de 500 kg. La modalité de vente par hectare est optée pour 56,3% des producteurs favorables. Les modalités par sac et quanti sont moins sélectionnées avec 39,1% et 12,5%.

L'estimation du montant de la contrepartie financière permet d'appréhender le bénéfice du projet pour les producteurs. En se basant sur un coût de main-d'œuvre à 59 500 FCFA par hectare et une contrepartie à la collecte de 300 000 FCFA par hectare, les bénéfices sont estimés pour une superficie de 0,5 ha, 1 ha et 2 ha (tableau 13). Cette estimation ne prend pas en compte l'augmentation du prix de la main d'œuvre attribuée à l'emballage et au transport en bord de champs.

Tableau 13: Evaluation des bénéfices dus à la contrepartie financière en fonction des superficies emblavées

Superficie (ha)	0,5	1	2
Coût de la main-d'œuvre (FCFA)	29 750	59 500	119 000
Bénéfices (FCFA)	120 250	240 500	481 000

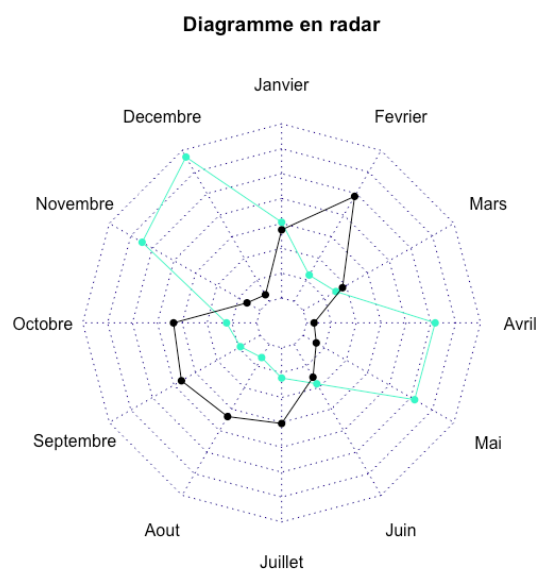
⁴ 1 Quanti = 400 m²

Les producteurs ayant répondu favorablement à la collecte des résidus post-récolte contre financement ont été soumis à la question « Pensez-vous que la valorisation des résidus d’ananas pourrait aider à la sécurisation de vos revenus ? ». Ce sont alors 59 producteurs sur 66 qui pensent que cette action pourrait mener à une sécurisation de leur revenu.

2.2.1 Au niveau des transformateurs(trices)

2.2.1.1 Période de production

La prospection des unités de transformation a permis d’identifier les diverses périodes de production, définies en fonction des mois d’abondance (vert) et de carence (noir) (figure 27).



Légende : Vert = Mois d’abondance, Noir = Mois de carence

Figure 27: Périodes d’intensité de production des unités de transformation

Le diagramme est défini sur les 23 unités de transformation sélectionnées, représentant alors le maximum sur chaque mois. Les mois d’abondance sont établis en décembre, novembre, avril et mai pour respectivement 22, 18 et pour les deux derniers 17 producteurs. Les mois de carences, où la demande est généralement moindre sont identifiés par une majorité de producteurs en février (16), octobre (11), septembre (12), août (11) et juillet (10).

2.2.1.2 Utilisation de combustibles

Les unités de transformation prospectées utilisent un ou plusieurs combustibles, en association, au cours de leur processus de production. Pour appréhender la consommation de combustible des unités, il faut en connaître la capacité de production. Le graphique reprend sur l’ensemble des unités prospectées, le nombre de cycles de production effectué par mois, la

capacité de transformation en tonne d’ananas par jour et la quantité en kilogramme de combustible consommé au cours du processus pour une tonne d’ananas, sans distinction entre sources d’énergies utilisées (figure 28).

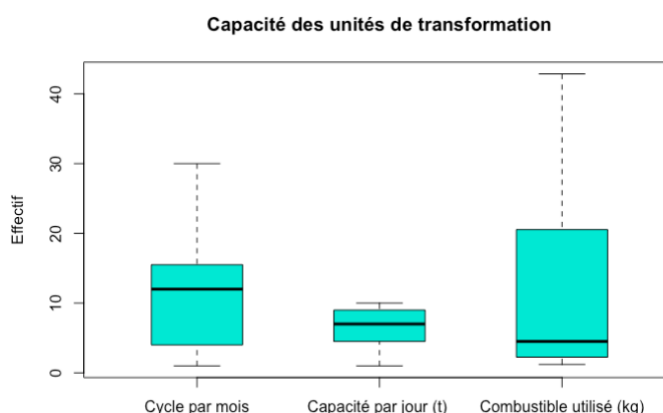


Figure 28: Boxplots relatif à la capacité des unités de transformation de jus d'ananas

Le nombre de cycles de production s’étend de 1 à 30 par mois avec une valeur médiane de 12. La capacité de transformation d’une unité médiane est évaluée à 7 tonnes de fruits par jours avec une consommation en combustible de 6,5 kg par tonne d’ananas.

La quantité de combustible consommée au cours du processus est essentiellement dépendante du type de source d’énergie utilisée. Les combustibles les plus utilisés au sein de l’échantillon sont le gaz et l’association de charbon et gaz pour respectivement 9 et 7 unités (tableau 14).

Tableau 14: Utilisation en combustible des unités de transformation

Combustibles	Unité de transformation
Charbon de bois	1
Gaz	9
Charbon + Gaz	7
Charbon + Bois	2
Gaz + Electricité	1
Charbon + Gaz + Bois	3

Parmi ces unités, 69,6 % utilisent le gaz comme combustible principal, 17,4% le charbon et 13 % le bois de chauffe. Les utilisateurs de charbon de bois et bois de chauffe comme sources d’énergie principales consomment en valeur médiane 33,1 kg et 28,6 kg de combustible lors du processus de transformation d’une tonne de fruits d’ananas. En comparaison, les unités utilisant le gaz comme source d’énergie majoritaire, consomment l’équivalent de 2,8 kg de combustible.

Les données collectées au sein de l’échantillon permettent d’extrapoler les besoins en différents combustibles au niveau d’une unité de transformation médiane à hauteur d’un cycle,

d'un mois et d'une année (tableau 15). A titre indicatif, la transformation d'une tonne de fruits d'ananas correspond à une estimation par la médiane, à la production de 450 litres de jus.

Tableau 15: Besoins des unités en combustible (kg) par quantité d'ananas transformée

Quantité transformée	Gaz (kg)	Charbon de bois (kg)	Bois de chauffe (kg)
1 tonne	2,8	33,1	28,6
1 cycle (7 tonnes)	19,6	231,7	200,2
12 cycles	235,2	2 780,4	2 402,4
Année	2 822,4	33 364,8	28 828,8

2.2.1.3 Coût des combustibles

Les unités de transformation enquêtées utilisent principalement le gaz, charbon de bois et bois de chauffe. Après avoir déterminé les besoins usuels en combustibles, le coût associé est défini (tableau 16). Le coût de chaque combustible est défini selon le même processus de médiane attribué à la quantité. Pour l'obtention d'un équivalent de 1 kg de gaz, le coût médian est évalué à 570,5 FCFA. Pour l'acquisition d'un kilogramme de bois de chauffe et de charbon de bois, le coût médian est respectivement évalué à 15 FCFA et 425 FCFA.

Tableau 16: Coût relatif à chaque combustible par quantité d'ananas transformée

Quantité transformée	Gaz (FCFA)	Charbon de bois (FCFA)	Bois de chauffe (FCFA)
1 tonne	1 597,4	14 067,5	429,0
1 cycle (7 tonnes)	11 181,8	98 472,5	3 003,0
12 cycles	134 181,6	1 181 670,0	36 036,0
Année	1 610 179,2	14 180 040,0	432 432,0

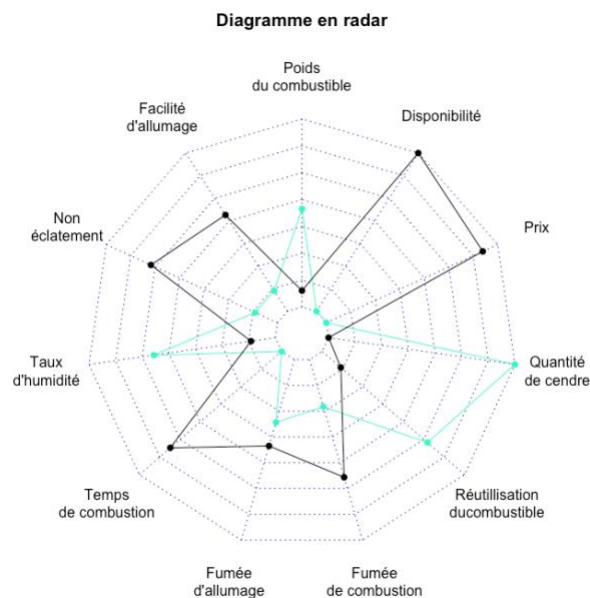
2.2.1.4 Caractéristiques essentielles d'un combustible

Pour les unités de transformation agroalimentaire de jus d'ananas, un combustible doit remplir des caractéristiques spécifiques permettant de ne pas altérer le processus de production. Des caractéristiques telles que le coût et l'approvisionnement de proximité sont également fortement considérés.

Les caractéristiques d'un bon combustible sont majoritairement associées à sa performance énergétique. La performance énergétique est associée à la durée d'inflammabilité, à la quantité de chaleur dégagée par le combustible et la durée de combustion. Ces trois paramètres sont définis par la rapidité de cuisson, la facilité d'allumage et la durée

d'inflammation du combustible auprès des transformateurs(trices). Ces paramètres rentrent en compte dans le choix d'un combustible pour 60,9% des transformateurs(trices) enquêtés. La combustion peut être à l'origine de dégagement de fumée et d'odeur, désagréments pris en compte par 26,1% des responsables d'unité dans le choix de leur combustible. Viennent par la suite des aspects plus techniques tels que le contrôle de la régularité de la flamme, la facilité d'extinction et l'adaptabilité au foyer qui représente pour 43,5% des transformateurs(trices) des paramètres importants dans leur choix. La disponibilité du combustible et le prix sont des éléments repris par 30,4% des enquêtés. Enfin, 13% attendent d'un bon combustible qu'il soit peu salissant.

Les paramètres relatifs à un bon combustible sont définis en fonction de l'effectif de responsable d'unité de transformation qui considère chaque modalité comme importante (noir) ou peu importante (vert) dans le choix du combustible (figure 29).



Légende : Noir = Importance des caractéristiques, Vert = Moindre importance des caractéristiques

Figure 29: Importance des caractéristiques d'un combustible dans le choix d'utilisation des unités

Sur un effectif total de 23 responsables d'unité, les caractères importants les plus demandés sont la disponibilité (23), le prix (21), l'absence de fumée lors de la combustion (15), la durée de combustion (18), le non-éclatement du combustible (17) et la facilité d'allumage (14). En contrepartie, les critères peu importants sont définis par la quantité de cendre (23), possibilité de réutilisation du combustible (17) et le taux d'humidité (15).

2.2.1.5 Utilisation d'un combustible de biomasse d'ananas

L'utilisation d'un combustible à base de résidus post-récolte de l'ananas par les unités de transformation passe dans un premier temps par la volonté d'un changement de sources d'énergie. A la question « Seriez-vous prêt(e) à changer de combustible si celui-ci correspond aux critères de performances escomptés ? », 87% ont répondu favorablement. Les responsables d'unités artisanales sont tous favorables tandis que ceux des unités semi-industrielles ont répondu négativement à 42,9 %.

La volonté du changement doit être cumulée à la connaissance du combustible proposé. En ce sens, les deux types de combustibles (carboné et non carboné) produits à base de résidus post-récolte de l'ananas ont été montrés et explicités. Les connaissances actuelles sur le combustible ont été transmises afin que les transformateurs(trices) puissent avoir une idée des performances. A la suite de la transmission de connaissance, 73,9 % des transformateurs(trices) seraient prêt à remplacer leur combustible actuel par celui produit à base de résidus de culture d'ananas, s'il correspond à leurs critères. Un nouvel argument, à l'utilisation du combustible, est avancé par les transformateurs(trices), il s'agit de la valorisation de déchets de culture d'ananas. Certains sont donc désireux d'appliquer le principe du circuit court entre producteur et transformateur. Les arguments avancés par les responsables d'unité ne souhaitant pas remplacer leur combustible sont essentiellement liés au manque de connaissance sur les performances lors d'un cycle de production et au type d'unité. En effet, les unités semi-industrielles possèdent des sources d'énergie déjà plus performantes et sont généralement soumises à plus de normes.

Les transformateurs(trices) prospectés ayant répondu favorablement au remplacement de leur combustible ont été soumis au choix entre combustible carboné et non carboné. Le combustible non carboné a été sélectionné par la totalité des personnes enquêtés, grâce essentiellement au critère d'inflammabilité et à ses propriétés moins salissantes.

2.2.1.6 Evaluation de la demande en combustible

La demande est évaluée en fonction de l'utilisation médiane du bois de chauffe et du charbon de bois et de l'équivalence en quantité estimée par la durée de consommation lors de la combustion (tableau 17). Une quantité de bois de chauffe de 33,1 kg nécessaire à la transformation d'une tonne d'ananas correspond à une demande de 65 kg de briquettes non carbonées et 40,9 kg de carbonées. Une quantité de 38,9 kg et 61,3 kg de combustible carbonés et non carbonés sont nécessaires au remplacement du charbon de bois pour la transformation

d'une tonne d'ananas. La demande en combustible de biomasse d'ananas est élevée, en cause la rapidité de la combustion des briquettes.

Tableau 17: Demande en combustible de biomasse d'ananas en remplacement du bois de chauffe et charbon de bois

Quantité transformée	Briquettes non carbonées (kg)		Briquettes carbonées (kg)	
	Bois	Charbon	Bois	Charbon
1 tonne	65,0	61,3	40,9	38,9
1 cycle (7 tonnes)	455,0	429,1	286,0	272,3
12 cycles	5460,0	5 149,2	3 432,0	3 267,6
Année	65 520,0	61 790,4	41 184,0	39 211,2

2.2.1.7 Contraintes du foyer

Le type de foyer joue un rôle important dans la propagation de l'innovation au sein des unités de transformation. Il existe trois types de foyers : traditionnel, moderne et écologique. Le foyer écologique est le plus adapté actuellement pour l'utilisation du combustible à base de résidus post-récolte de l'ananas, nécessitant une aération contrôlée. Les foyers utilisés par les responsables d'unités, disposés au changement de combustible, sont modernes pour 82,4 % et artisanaux pour 17,6 %. Aucun ne possède de foyer écologique, mais sont tous disposés à l'acquisition.

2.3 Bilan financier

L'ensemble des résultats obtenus permet de mettre en œuvre un bilan économique sur les facteurs connus et estimés, permettant d'accentuer la démarche vers le marché cible.

Dans un premier temps, le processus de valorisation débute par l'acquisition des résidus post-récolte de l'ananas auprès des producteurs de la filière. Le coût de cette acquisition est défini par le prix médian demandé par les producteurs d'ananas pour la récolte et l'emballage d'un hectare de résidus. Il n'est pas pris en compte le coût supplémentaire pouvant être engendré par le transport des résidus. Les données ne représentant que 5 % des superficies emblavées de l'ananas sont donc à revoir à la hausse. Le tableau 12 (Cf. point 2.2.1.3), relatif aux superficies emblavées disponibles à la récolte est repris sur une année et est associé à la contrepartie de 300 000 FCFA⁵ par hectare, demandé par les producteurs pour cette activité (tableau 18). La

⁵ 300 000 FCA = 450 €

somme de la redevance aux producteurs sur une année s'élève à 24 240 000 FCFA (36 360 €), permettant la récolte de 8 637,5 tonnes de résidus post-récolte.

Tableau 18: Coût de la contrepartie financière aux producteurs, à la récolte par mois

	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai
Superficie totale	3	11,5	10	5,2	4,8	6,2	5,5	9,9	8,7	4,6	6,7	4,4	0,3
Coût (M FCFA)	0,90	3,45	3,00	1,56	1,44	1,86	1,65	2,97	2,61	1,38	2,01	1,32	0,09

Le coût de production des briquettes est dépendant du prix de l'acquisition des rejets. En effet, pour une redevance de 300 000 FCFA, le coût d'un kilogramme de résidu de la variété Pain de sucre est chiffré à 2,76 FCFA et 6,70 FCFA pour la Cayenne lisse. Cette différence est associée aux variations des rendements par hectare des deux variétés. Sur base de la phase expérimentale, le coût de production est estimé pour 100 kg de briquettes (tableau 19), mais d'évidentes variations seront à prendre en compte sur des mécanismes adaptés à la conception à grande échelle.

Tableau 19: Estimation des coûts de production pour 100 kg de briquettes

Type de briquettes	Quantité de briquettes (kg)	Coût des résidus PS (FCFA)	Coût du liant (FCFA) ⁶	Coût de l'énergie (FCFA) ⁷	Coût total (FCFA)
Carbonées	100	471	-	6 794	7 265
Non carbonées	100	372	2 700	8 444	8 816

Le prix d'un kilogramme de briquettes carbonées est estimé à 72,65 FCFA et à 88,16 FCFA pour les non carbonées. Les prix estimés pour les deux types de briquettes concurrencent amplement celui du charbon de bois évalué à 425 FCFA/kg. L'analyse ne prend pas en compte les frais de main-d'œuvre ni d'amortissement des mécanismes utilisés.

Le coût de revient de chaque briquette étant fixé, une estimation est effectuée sur les quantités demander en remplacement au bois de chauffe et charbon de bois (tableau 17 : Cf. point 2.2.2.6). Pour une tonne d'ananas transformés, le coût en briquettes non carbonées et carbonées s'élève en moyenne à 5 567 FCFA et 2 898,5 FCFA (tableau 20). Ce montant correspond à l'achat des unités de transformation en fonction de la quantité d'ananas

⁶ Coût du liant = 200 FCFA/kg

⁷ Cout de l'énergie = 125 FCFA/kWh

transformés, mais indique également coût de reviens sur une année à « l'unité de production de brique » selon le prix fixé.

Tableau 20: Coût des briquettes en remplacement du bois de chauffe et charbon de bois

Quantité transformée	Briquettes non carbonées (FCFA)		Briquettes carbonées (FCFA)	
	Bois	Charbon	Bois	Charbon
1 tonne	5 730	5 404	2 971	2 826
1 cycle (7 tonnes)	40 113	37 829	20 778	19 783
12 cycles	481 354	453 953	249 335	237 391
Année	5 776 243	5 447 442	2 992 018	2 848 694

DISCUSSION

La production de briquettes au Bénin n'est pas une innovation puisque l'on peut citer notamment celles conçues à base de balle de riz au nord du pays. L'innovation se trouve dans l'utilisation des résidus post-récolte de l'ananas dont la gestion pose de nombreuses difficultés aux producteurs. Les résultats obtenus permettent d'appréhender d'une vue d'ensemble chaque aspect des impacts de l'innovation.

1 Analyse de la faisabilité technique

Dans un premier temps, l'évaluation des rendements pour chaque variété a permis d'évaluer la quantité de matière première disponible pour la production de briquettes. Ces rendements s'avèrent être assez conséquents pour la production à grande échelle, reste encore à évaluer si elle sera suffisante pour remplacer intégralement le bois de chauffe et le charbon de bois au sein des unités de transformation de jus d'ananas. Cette évaluation a permis d'identifier une différence majeure entre les variétés. En effet, la variété Cayenne lisse est mise à la production de rejets pendant une période plus importante que son homologue, pouvant aller jusqu'à 12 mois selon la littérature, le végétal est alors en décomposition. Cette décomposition entraîne une perte de poids et de densité, la gestion des résidus post-récolte de cette variété n'est alors plus un réel problème pour les producteurs. Les résidus de la Cayenne lisse, dont la part des superficies emblavées au Bénin est minime, ne devraient pas être repris dans le projet de valorisation. Ces résidus pouvant être incorporés au sol sans récolte ni transformation, le travail contraignant d'arrachage et d'emballage n'est pas dans l'intérêt des producteurs.

Les résultats acquis lors de la phase expérimentale de production des briquettes prouvent une faisabilité à petite échelle. La transformation des résidus en briquettes nécessite deux

dispositifs mécaniques, un broyeur et une presse thermique. Les broyeurs testés au cours de la phase expérimentale sur différents résidus post-récolte de l'ananas, ont permis d'obtenir plusieurs types de résidus broyés. Les résidus composés uniquement de feuilles séchées passés au broyeur à marteaux a permis d'obtenir une sciure, avec un faible taux de perte et une vitesse supérieure aux autres tests de broyage. Les résidus composés de l'ensemble du végétal à l'état humide (feuilles, tiges et racine), ont été à l'origine de nombreux soucis. Les végétaux humides ont dû préalablement être découpés pour être introduits dans des broyeurs à entrée exiguë. La découpe nécessite alors l'apport d'un mécanisme supplémentaire ou d'une main d'œuvre. Les résidus humides introduits au sein des broyeurs testés ont provoqué l'agglomération de la matière fibreuse dans les tamis ou les systèmes de rotation, ce qui a endommagé une grande part du matériel utilisé. Les résidus obtenus sous forme de copeaux et de fibres ont représenté une quantité infime, après séchage, en contrepartie du temps investi. Ces tests ont permis d'identifier les problèmes engendrés par la matière humide et fibreuse sur les mécanismes de broyage et ainsi déterminer le matériel à proscrire. Le matériel de broyage a donc composé une véritable réflexion, et sera l'une des étapes nécessaires à la mise à grande échelle de l'innovation. Le mécanisme de presse, nécessaire à la compression des résidus broyés pour la formation de briquettes, a permis de produire une petite quantité de combustible. La presse thermique utilisée a été expressément conçue pour la compression des balles de riz, une matière plus solide et de densité différente. Cette presse ne permet pas un contrôle de température, de ce fait elle augmente au cours du processus de production ce qui constitue un véritable problème pour la formation homogène des briquettes. De plus, un des aspects identifiés pour un bon compactage des briquettes est la durée à laquelle elles sont soumises à température. En effet, lors de la coupure du système, les résidus laissés sur la mèche thermique sortent plus compacts. La presse thermique n'a donc pas permis de résultat satisfaisant sur l'ensemble des résidus exploités. Il est donc nécessaire d'identifier et tester divers systèmes de presse, afin d'augmenter la performance de production. La production de biochar sur un système artisanal à base des fibres obtenues après broyage a permis d'obtenir le résultat escompté, un test sur des quantités plus élevées permettrait d'identifier la durée et le rendement d'acquisition du « char ». La phase expérimentale a permis d'identifier les besoins pour une production à grande échelle, tout en assurant la faisabilité de l'innovation. L'obtention des deux types de briquettes en est l'assurance, mais des améliorations peuvent également y être apportées en changeant les liants, celui utilisé dans la phase expérimentale est l'amidon de manioc. L'amidon de manioc servant à l'alimentation, il serait plus cohérent d'utiliser un liant non alimentaire considéré comme un déchet. Lors de cette phase, des réflexions en ce sens ont été menées, mais il s'avère difficile

d'identifier un déchet au comportement de liant, généralement associé à la teneur en amidon, disponible en quantité et à proximité. Des avancées techniques sont à prévoir dans la suite du projet de la valorisation énergétique des résidus post-récolte de l'ananas.

La faisabilité du projet est avérée par les performances énergétiques évaluées par les combustibles produits en comparaison au bois de chauffe et charbon de bois. Incandescentes, les briquettes carbonées ont un comportement similaire au charbon de bois et peuvent donc servir en remplacement. Les briquettes non carbonées sont évaluées comme les plus performantes au niveau de la transmission de chaleur. Ces briquettes ont l'inconvénient de se consumer trop rapidement en comparaison à leurs homologues, il est donc nécessaire d'évaluer auprès des futurs consommateurs si la rapidité de chauffe prime sur la quantité à consommer pour le choix de leur combustible. Le coût du combustible doit évidemment être compétitif pour pouvoir soumettre le choix aux unités de transformation.

2 Analyse des enjeux et contraintes à la valorisation des résidus d'ananas

2.1 Au niveau des producteurs

Les principaux enjeux identifiés pour les producteurs se trouvent au niveau de l'aide dans la gestion des résidus post-récolte majoritairement pour la variété Pain de sucre et la sécurisation des revenus par l'apport d'une contrepartie financière. La gestion des résidus post-récolte de l'ananas pose, selon la littérature, de nombreux problèmes de gestion. Les producteurs enquêtés sont moins formels puisque seuls 31 % déclarent que les résidus leur posent un réel problème. La différence entre littérature et réalité s'explique par la recherche des producteurs à la gestion des résidus sur leur parcelle, avec une grande majorité qui prône le retour à la terre par la mise en paillage. Malgré cela, la quasi-totalité des producteurs emploie de la main-d'œuvre, et se voient contraints d'effectuer des dépenses à la récolte. Ces dépenses sont souvent difficiles à assumer pour les producteurs lorsqu'ils sont soumis à des pertes de revenus majoritairement liées aux méventes et aux pertes de rendement dues à la sécheresse. Afin de comprendre quel serait l'impact d'un apport de revenu pour la récupération des déchets sur les producteurs, il est important d'évaluer leur résilience. Il en ressort que les producteurs cultivant des parcelles inférieures à 0,5 hectare sont globalement plus vulnérables. Avec des revenus peu stables, ils parviennent difficilement à subvenir aux besoins de leur ménage à la seule charge de la production d'ananas. Ils utilisent la diversification des activités et la production planifiée comme mesures d'adaptation majoritaires à la perte de revenus. Les producteurs de la catégorie 2 ($0,5 \text{ ha} < S < 2 \text{ ha}$) et 3 ($S > 2 \text{ ha}$) sont moins vulnérables. Leur

part de marché de la sous-région et de l'international, les place tout de même dans une position vulnérable lors de crises provoquant la fermeture des ventes. Ces producteurs peuvent donc subir des pertes de revenu, mais ont généralement les moyens de rebondir économiquement. Ces deux catégories sont plus enclines à accéder aux crédits que les producteurs possédant moins de 0,5 hectare, qui représentent selon la base de données du programme DEFIA, près de 60 % des superficies emblavées au Bénin. Ce sont donc près de 60 % des producteurs d'ananas qui sont hypothétiquement vulnérables aux phénomènes climatiques ou socio-économiques. Ceux faisant partie de la catégorie « sécurité alimentaire limite », fortement présente dans le département de l'Atlantique avec une population soumise à 43,9 %, pourraient basculer dans l'insécurité alimentaire lors d'un de ces phénomènes tels que la crise sanitaire de la COVID-19 dont les conséquences ne sont pas encore évaluées.

L'un des objectifs du projet est l'apport d'un revenu agricole supplémentaire, celui-ci n'étant pas lié au rendement en fruit, la qualité et le démarchage des marchés, il ne doit pas être pris en compte. Qu'importe la qualité de la récolte, un prix de vente fixe des résidus permettra aux producteurs d'assurer un revenu à leur ménage. Ce prix a été hypothétiquement fixé en fonction de la demande des producteurs à 300 000 FCFA par hectare. Ce montant semble raisonnable en raison de la pénibilité du travail demandé et du coût de la main-d'œuvre nécessaire. Les bénéfices alloués à la récolte des résidus sont définis en fonction du montant de la contrepartie financière moins le coût de la main d'œuvre nécessaire en fonction de la superficie. Une majorité des producteurs qui sont prêts à effectuer la récolte et l'emballage pensent que la contrepartie financière pourrait assurer une sécurité sur leurs revenus.

L'identification des périodes de mise en culture et de production de rejets permet ainsi de définir la période de disponibilité des résidus de récolte et leur quantité. Cet élément, évalué sur base de la prospection des producteurs, est important tant dans la phase technique pour la disponibilité en matière première que pour l'aspect financier que l'unité de combustible devra déboursier chaque mois en fonction des récoltes. Les calendriers présentés sont hypothétiques, la disponibilité des résidus sera fluctuante selon la mise en culture, le morcellement par le TIF et la durée du cycle de production adoptée, pouvant selon la littérature, s'étendre jusqu'à 24 mois.

2.2 Au niveau des transformateurs

La connaissance du fonctionnement des unités de transformation de jus d'ananas est nécessaire à l'identification des caractéristiques d'un bon combustible, mais également à l'évaluation de la demande en source d'énergie. Les critères majoritaires d'un bon combustible

pour les unités prospectées sont la disponibilité, le prix, le temps de combustion et le non-éclatement. Ce sont donc ces critères qui doivent être une priorité dans la recherche de la valorisation énergétique des résidus d'ananas. Les résultats obtenus tant techniques que financiers permettent de juger les briquettes comme compétitives au charbon de bois et bois de chauffe. Au niveau de la disponibilité, la quantité de résidus de récolte estimée sur une année pour 74 producteurs semble suffisante sachant que les unités de transformation ne représentent qu'une faible part en comparaison aux superficies emblavées. Le rendement en résidus de Pain de sucre étant élevé la disponibilité en résidus ne devrait pas poser de problèmes. La production des briquettes doit, comme dit précédemment, nécessiter d'une évolution au niveau des mécanismes pour permettre l'amélioration de la qualité et de surcroît du non-éclatement, de la quantité et de la durée du processus. Le temps de combustion est considéré comme la rapidité de cuisson par les transformateurs(trices). La rapidité de cuisson est d'après le test de combustion très compétitive pour les briquettes non carbonées et permet le remplacement du charbon de bois pour le combustible carboné. En contrepartie, la quantité demandée en briquettes représente jusqu'à deux fois celle utilisée pour le bois de chauffe et charbon de bois. Il est donc nécessaire de déterminer si la caractéristique de la rapidité de cuisson surpasse celle de la demande en quantité, dans le choix d'un combustible auprès des unités de transformation. Ce choix va être influencé par le prix proposé pour l'achat d'un kilogramme de combustible. Ce prix défini dans le bilan financier est estimé en fonction du coût de la matière première et de l'énergie consommée au cours de la production du combustible. Celui-ci ne reprend pas le coût de la main-d'œuvre, du transport, ni de l'amortissement des machines qui ne peuvent pas être définis à l'étape expérimentale, mais devront être évalués dans la suite du projet à grande échelle afin de fixer le prix qui sera proposé aux unités de transformation. Le prix estimé à 72,65 FCFA/kg pour les briquettes carbonées et à 88,16 FCFA/kg pour les non carbonées se trouve inférieur au prix du charbon de bois de 425 FCFA/kg et supérieur au bois de chauffe (15 FCFA/kg). Ce prix est comparé aux besoins en quantité lors du processus de transformation du jus d'ananas. Le coût des briquettes reste inférieur à celui du charbon de bois et supérieur au bois de chauffe. Les données de quantité et de prix des deux combustibles utilisées par les unités sont à prendre avec parcimonie, étant donné qu'ils ont été estimés sur base des prospections de 20 % des unités de transformation recensées. Les résultats obtenus permettent déjà de mettre en avant les caractéristiques nécessaires à un combustible pour les unités de transformation. Des modifications sont à prévoir au niveau technique, mais les performances énergétiques sont déjà concrètes.

L'utilisation des briquettes nécessite un foyer écologique équipé d'une ventilation, dont aucune des unités prospectées ne dispose. Toutes sont prêtes à l'acquisition dans l'optique d'un changement de combustible, l'apport d'une subvention devrait être envisagé en ce sens. Sans ces subventions, de nombreuses unités de type artisanales ne pourraient faire l'acquisition d'un de ces foyers et donc n'auraient pas l'occasion d'accéder à l'innovation.

3 Analyse du bilan financier

Le bilan financier est axé uniquement sur le coût de la production des briquettes. La partie financière, attribuée à la mise en place d'une unité de production de briquettes et du matériel nécessaire tel que l'achat d'un système de transport, de broyage et de pressage ne peut, à cette étape du projet, pas être évaluée. Le bilan financier reprend les dépenses à effectuer au cours des mois sur une année pour l'acquisition de la matière première et les coûts énergétiques attribués à la transformation en combustible. Le coût de la matière première pour la variété Pain de sucre (2,76 FCFA/kg) permet d'obtenir des combustibles dont le prix de vente restera faible. L'acquisition de résidus de Cayenne lisse constitue un coût plus élevé avec 6,70 FCFA/kg, soit près de deux fois et demi celui du Pain de sucre. Le coût des combustibles produits avec cette variété sera donc proportionnel à celui de son acquisition. Cette constatation est un argument supplémentaire à l'acquisition unique de la variété Pain de sucre.

Le prix de vente estimé étant fixé sur le coût de production, aucune marge bénéficiaire n'est présente. Dans la mise en production à grande échelle, un recalcul du prix des briquettes est nécessaire pour prendre en compte tous les aspects et dépenses effectuées de l'acquisition de matière première à la vente du produit fini. Une marge bénéficiaire peut être prévue pour le réinvestissement au sein de l'unité de production des combustibles.

4 Limites et recommandation de l'étude

L'évaluation de la faisabilité technique a été faite sur des mécanismes conçus spécifiquement pour une matière première dont la consistance ne correspond pas à celle étudiée. Les résultats mitigés obtenus ne correspondent donc pas aux rendements en combustible qui pourraient être produits dans les conditions optimales. La recherche d'un mécanisme adapté permettra d'obtenir les rendements réels et ainsi évaluer tous les aspects de fabrication des combustibles.

L'étude de performance énergétique des combustibles est une étape nécessaire à la commercialisation des briquettes. Cette étude a été limitée au test d'ébullition de l'eau à cause de la faible quantité de briquettes obtenue à la production. Pour être réellement concrète, l'étude

doit également se baser sur la performance lors du processus de pasteurisation du jus et du jus embouteillé. Il serait également recommandé de procéder à des répétitions sur l'ensemble des combustibles afin d'obtenir des résultats significatifs.

La collecte de données est basée sur deux questionnaires mis au point et digitalisés afin de compléter l'analyse socio-économique du projet au niveau des producteurs et des unités de transformation de la filière ananas. La prospection auprès des deux types d'acteurs a été majoritairement déléguée à quatre enquêteurs de terrain. Les données collectées ont fait l'objet de divergence de compréhension et ont donc mené à l'abstraction de certains résultats dits « aberrants » et au calcul des médianes permettant de limiter l'impact des valeurs extrêmes. Requérir à l'aide d'enquêteurs a été une nécessité pour recueillir les données escomptées, dans le temps imparti, mais également auprès du public cible. En effet, ne sont pas rares les producteurs s'exprimant uniquement dans leur dialecte et utilisant des unités informelles telles que le quanti, la bâché et bien d'autres. Peu de producteurs et transformateurs(trices) expriment les quantités en kilogramme ou en tonne, mais en taxi ou bâché dont l'expression de la contenance est différente selon chacun. Les résultats obtenus lors de la prospection sont donc des estimations sur lequel se base le traitement des données. Les résultats de cette étude sont basés sur la réalité du terrain, où les données quantifiées sont souvent difficiles à obtenir et doivent être ramenées en unité du système international. Ces aspects sont difficilement modifiables, seul le test préalable des questionnaires auprès des enquêteurs peut permettre d'améliorer la cohésion dans la compréhension.

5 Perspectives de l'étude

Au-delà des recommandations formulées, des perspectives d'amélioration ont vu le jour au cours de la phase expérimentale du projet. L'une des principales perspectives est la propagation de l'innovation au sein des ménages. Pour cela, le combustible devra être modifié dans sa conception, afin de s'adapter à un foyer traditionnel sans ventilation assistée. Cette idée est née dans l'optique d'être nécessaire aux ménages des producteurs. Une question se pose alors, « faut-il faire une unité centrale de production de briquettes à grande capacité ou des petites à plus faibles capacités se situant à proximité des producteurs ? ».

Lors de la fabrication des briquettes carbonées et plus précisément au cours du processus de carbonisation des résidus, la perspective d'utilisation en paillage a vu le jour. Le char issu de la carbonisation des résidus d'ananas est constitué de carbone et d'élément minéraux encore inconnus. Une étude sur la composition et sur l'impact des sols devrait être menée tout comme une enquête sur l'acceptabilité des producteurs.

CONCLUSION

Conscient des problèmes que rencontrent les producteurs pour la gestion des résidus post-récolte de l'ananas, le programme DEFIA, conçu dans l'optique d'améliorer la chaîne de valeur de la filière, développe des innovations à des fins de valorisation de ces « déchets » agricoles. Parmi ces innovations, la création de combustible sous forme de briquettes d'agglomérat de résidus.

En phase expérimentale, les rendements en résidus ont été évalués à 44,7 t/ha pour la Cayenne lisse et 108,8 t/ha pour la variété Pain de sucre. Des quantités importantes qui permettent d'ancrer le projet dans la réalité. Les premiers résultats ont permis d'évaluer la faisabilité technique et les performances énergétiques des combustibles produits. La transformation des résidus en combustible nécessite uniquement l'emploi d'un broyeur et d'une presse, mécanisme simple et facile d'acquisition. Deux types de briquettes ont pu être produites, les carbonées et non carbonées, soumises au test de combustion, leurs performances se trouvent être compétitives par rapport au charbon de bois et au bois de chauffe, combustibles visés par le remplacement par l'innovation. Les briquettes non carbonées ont présenté une performance supérieure aux autres combustibles par leur capacité de transmission de chaleur. Les combustibles carbonés sont, à la suite du test, associés au charbon de bois pour leur comportement thermique similaire. Cependant, la demande en combustibles, lors du processus de production de jus d'ananas, est largement supérieure pour les briquettes en comparaison au bois de chauffe et au charbon de bois.

Des enquêtes ont permis d'identifier les enjeux et contraintes à la valorisation des résidus post-récolte des deux acteurs. Les résultats majeurs se concentrent sur la sécurisation des revenus des producteurs par l'apport d'une contrepartie financière allouée à la récolte et l'acceptabilité d'un changement de combustible des unités de transformation selon des critères définis par importance. Ces critères sont ceux qui vont être recherchés en priorité lors de la production, établis par la disponibilité, le prix, la durée de combustion et le non-éclatement. La prospection de ces acteurs a également permis d'établir la planification de la disponibilité des superficies emblavées prêtées à la récolte et de la demande en combustible des unités au cours du processus de transformation selon la quantité de fruits d'ananas.

L'ensemble des données obtenues a contribué à estimer le coût des briquettes évalué pour les carbonées à 72,65 FCFA/kg et à 88,16 FCFA/kg pour les non carbonées. Ces coûts sont inférieurs à celui estimé pour le charbon de bois, mais tout de même supérieurs au bois de

chauffe, le constat reste identique malgré les quantités demandées nettement supérieures lors de la combustion.

La phase expérimentale du projet permet déjà d'entrevoir un remplacement du charbon de bois par les combustibles produits à base de résidus post-récolte d'ananas.

REFERENCES

AFDB (2001). Projet bois de feu phase II (PBF-II). Rapport d'évaluation BEN/PAAP/2001/01. Disponible en ligne sur : https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Project-and-Operations/Bénin_-_Projet_de_bois_de_feu_-_Phase_II_-_Rapport_d'évaluation.pdf (consulté le 21 octobre 2020)

Aguemon D. (2016). Diagnostic institutionnel en vue de la mise en œuvre d'une approche territoriale de la sécurité alimentaire et nutritionnelle au Bénin. *Conseil National de l'Alimentation et de la Nutrition*. Disponible en ligne sur : http://www.can-benin.bj/DOCUMENTS/RAPPORT%20APPROCHE%20TERRITORIALE%20SAN%20AU%20BENIN_Version%20Provisoire.pdf (consulté le 27 octobre 2020)

Allaire S. E., Lange S. F., Auclair I. K., Quinche M. et Greffard L. (The Char Team) (2015). Rapport : Analyse des propriétés de biochars. CRM-2015-SA-3. Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables, *Université Laval, Québec, Canada*, 61 p.

ANSES (2012). Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre. Rapport d'expertise collective. Saisine « 2010-SA-0183 ». Disponible en ligne sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0183Ra.pdf> (Consulté le 2 octobre 2020)

ARE (n.d.). La production de l'énergie électrique. Disponible en ligne sur : <https://are.bj/laproduction/> (consulté le 10 octobre 2020)

Banque mondiale (2020). La banque mondiale au Bénin. Disponible en ligne sur : <https://www.banquemondiale.org/fr/country/benin/overview> (consulté le 25 octobre 2020)

Champigny M. L. et Moyse A. (2014). Les différents types métaboliques végétaux et l'assimilation de CO², leur diversité botanique. *Bulletin de la Société Botanique de France, Actualités Botaniques* 130(1) : 71-83.

Cirad (2013). La culture de l'ananas. *FruiTrop* n°215, p. 66-68. Disponible en ligne sur : <https://www.fruitrop.com/Articles-par-theme/Agronomie/2013/La-culture-de-l-ananas> (consulté le 1 novembre 2020)

CNUCED (2016). Ananas. Disponible en ligne sur : https://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp09_Pineapple_fr.pdf (consulté le 23 septembre 2020)

COLEACP (2009). Itinéraire technique Ananas Cayenne (*Ananas comosus*). Disponible en ligne sur : https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture-plantes-a-petits-fruits-sucres/ananas/IT_PIP_STDF127_AnanasCayenne_fr_0.pdf (consulté le 25 septembre 2020)

COLEACP (2016). Le COLEACP cible le soutien au secteur de l'ananas du Bénin suite à une augmentation des contrôles de l'UE. Disponible en ligne sur : <https://eservices.coleacp.org/fr/actu/coleacp-cible-soutien-secteur-lananas-benin-suite-a->

augmentation-contrôles-lue (consulté le 16 octobre 2020)

Cosinus conseils (2016). Etude de la qualité du jus d'ananas béninois dans le contexte de marché régional : cas des pays de l'hinterland (Burkina-Faso, Niger) et de Nigeria, et Sénégal. Disponible en ligne sur : https://images.agri-profocus.nl/upload/post/Rapport_Etude_Qualité_Jus_Ananas_ABC1456904291.pdf (consulté le 17 octobre 2020)

Décret N° 2016-681 (2016). Décret N° 2016-681 du 7 novembre 2016 portant cadre institutionnel du développement agricole. Disponible en ligne sur : <https://sgg.gouv.bj/doc/decret-2016-681/> (consulté le 27 octobre 2020)

Desclee D., Kinha C., Payen S., Sohinto D., Govindin J.C. et Padonou F. (2019). Analyse de la chaîne de valeur ananas au Bénin. Rapport pour l'Union Européenne, DG-DEVCO. *Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804)*, 155p + annexes.

DGEA (2015). Déficit énergétique et compétitivité de l'économie béninoise. Rapport pour le ministère de l'économie, des finances et des programmes de dénationalisation. Disponible en ligne sur : https://www.dgae.finances.bj/wp-content/uploads/2019/01/ETUDE_DEFICIT_ENERGETIQUE_R-APPORT-FINAL_AOÛT-2015.pdf (consulté le 10 octobre 2020)

Directive 2009/28/CE (2009). Directive 2009/28/CE du parlement Européen et du conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE. *Journal officiel de l'Union européenne*. Disponible en ligne sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009L0028&from=BG> (consulté le 10 octobre 2020)

Dusabe M. S. (2014). Étude de faisabilité technique et financière de la valorisation des déchets ménagers organiques, papiers et cartons pour la fabrication des briquettes combustibles à Bujumbura, Burundi. Mémoire de master en ingénierie de l'eau et de l'environnement, option eau et assainissement, *Institut international d'ingénierie*.

ECREEE (2013). Politique d'énergie renouvelables de la CEDEAO. Quarante-troisième session ordinaire de la conférence des chefs d'état et de gouvernement. Disponible en ligne sur : http://www.ecreee.org/sites/default/files/documents/basic_page/politique_dennergies_renouvelables_de_la_cedeao.pdf (consulté le 16 octobre 2020)

Edoh Adabe K., Hind S. et Maïga A. (2016). Production et transformation de l'ananas. Collection pro-agro. Disponible en ligne sur : https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/100800/1938_PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y (consulté le 23 septembre 2020)

Enabel (2020¹). Fiche produit : Accompagnement des fournisseurs de services « Ananas ».

Programme DEFIA.

Enabel (2020²). Fiche produit : Soutenir les investissements dans la production de l'ananas au Bénin. *Programme DEFIA.*

Enabel (2020³). Subventions aux investissements dans les unités de transformation de l'ananas. Fiche produit : chaîne de valeur ananas. *Programme DEFIA.*

FAO (2011). L'importance de la gouvernance et le partage des avantages dans la gestion durable des forêts, des arbres et de la faune sauvage de l'Afrique. Disponible en ligne sur : <http://www.fao.org/3/mc855f/mc855f.pdf> (consulté le 23 octobre 2020)

FAO (2020). De la fumée au combustibles : abandonner le brûlage des résidus de récolte pour en faire de la bioénergie. Disponible en ligne sur : <http://www.fao.org/fao-stories/article/fr/c/1305833/> (consulté le 20 septembre 2020)

Hufty A. (2001). Introduction à la climatologie, *Les presses de l'Université de Laval, De Böeck Université, 545 p.*

Husson F., Lê S. et Pagès J. (2016). Analyse de données avec R, 2^e édition. *Presses Universitaires de Rennes.*

INSAE (2016). Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'atlantique. Disponible en ligne sur : https://insae.bj/images/docs/insae-statistiques/enquetes-recensements/RGPH/1.RGPH_4/resultats%20finaux/Cahiers%20villages/Cahier%20des%20villages%20et%20quartiers%20de%20ville%20Atlantique.pdf (consulté le 27 octobre 2020)

INSAE (2020). Statistiques démographiques. Disponible en ligne sur : <https://www.insae-bj.org/statistiques/statistiques-demographiques> (consulté le 25 octobre 2020)

INSAE (2013). Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'atlantique. Tableau de bord social. Disponible en ligne sur : <https://insae.bj/images/docs/insae-statistiques/sociales/Tableau%20de%20Bord%20Social/Tableau%20de%20Bord%20Social%202013.pdf> (consulté le 10 octobre 2020)

INRAE (1995). Transformations et préparations : Ananas, Mangue, Orange, Papaye, Citron, Pamplemousse, Jus d'Agrumes, Plats Locaux, Purée de Tomate, Gelée d'Azonbebe, Yaourt. Fiche Technique, *Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 64 p.*

Koala L. (2012). Fabrication manuel de briquettes de balles de riz et évaluation des performances du foyer amélioré à balle de riz. Mémoire de fin de cycle ingénieur du développement durable, option eaux et forêts, *Université polytechnique de Bodo-Dioulasso.*

Kpenavoun Chogou S., Gandonou E. et Fiogbe N. (2017). Mesure de l'efficacité technique des petits producteurs d'ananas au Bénin. *Cah. Agric.* 26 : 25004. Disponible en ligne sur :

https://www.cahiersagricultures.fr/articles/cagri/full_html/2017/02/cagri160173/cagri160173.html (consulté le 22 septembre 2020)

Leluc C. (n.d.). Chaleur et énergie thermique. *Université de Genève*.

Leturcq P. (2011). La neutralité carbone du bois énergie : un concept trompeur ? Environnement, culture et société *Rev. For. Fr. LXIII* - 6-2011.

Liu C.H., Liu Y., Fan C. et Kuang S.Z (2013). The effects of composted pineapple residue return on soil properties and the growth and yield of pineapple. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 13(2) : 433-444.

Malézieux E. et Lacoëuilhe J. J. (1991). Analyse de la variabilité des rendements chez l'ananas (*Ananas comosus* L. Merr.). II. Relations entre séquence climatique et fonctionnement du peuplement végétal dans les conditions de Côte d'Ivoire. *Fruits*, 46 (4) : 441-452.

Ménard (2018). Mission d'appui en diagnostic et santé des sols auprès de la plateforme nationale des organisations paysannes et de producteurs agricoles du Bénin du 28 avril au 31 mai 2018. Disponible en ligne sur : https://www.upadi-agri.org/download/francais/documents_de_reference/Portrait_Diagnostic_SOLs__Benin_RAI_L_Menard_FR-min.pdf (consulté le 28 octobre 2020)

MERPMDER (2015). Plan d'Action National des Energies Renouvelables (PANER) Bénin. Disponible en ligne sur : https://www.se4all-africa.org/fileadmin/uploads/se4all/Documents/Country_PANER/Benin_Plan_d_Actions_National_pour_les_Energies_Renouvelables__PANER_.pdf (consulté le 16 octobre 2020)

Ministère du cadre de vie et du développement durable (2019). Rapport national d'inventaire de gaz à effet de serre du Bénin. Premier rapport biennal actualisé du Bénin à la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques. Disponible en ligne sur : https://www4.unfccc.int/sites/SubmissionsStaging/NationalReports/Documents/47806591_Benin-BUR1-1-BENIN_RAPPORT_NATIONAL%20INVENTAIRE_GES.pdf (consulté le 13 octobre 2020)

Naisse C. (2015). Potentiel de séquestration de carbone des biochars et hydrochars, et impact après plusieurs siècles sur le fonctionnement du sol. Thèse en sciences du sol et de l'environnement, *Université Pierre et Marie Curie*.

Nation unis Bénin (2018). Dissémination des résultats de l'enquête nationale sur la vulnérabilité et la sécurité alimentaire au Bénin. Disponible en ligne sur : <https://benin.un.org/fr/221-dissemination-des-resultats-de-lenquete-nationale-sur-la-vulnerabilite-et-la-securite> (consulté le 27 octobre 2020)

OECD (n.d.). Taux de pauvreté. Disponible en ligne sur : <https://data.oecd.org/fr/inequality/taux-de-pauvrete.htm> (consulté le 27 octobre 2020)

Online Browsing Platform (2015). Systèmes de management de la qualité – Exigences. ISO 9001 : 2015(fr). Disponible en ligne sur : <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v2:fr> (consulté le 16 octobre 2020)

Paridaens A. M. (2017). Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA), 2017. République du Bénin. Disponible en ligne sur : https://insae.bj/images/docs/insae-statistiques/enquetes-recensements/Autres-Enquetes/AGVSA/Rapport_AGVSA_VF_2017.pdf (consulté le 27 octobre 2020)

Pepin S., Dorais M., Thériault M. et Laurin-Lanctôt S. (2015). Effet de l'amendement en biochar des sols biologiques : rétention des nutriments, activité biologique et phytopathogènes. *Programme Innovbio*, Projet #11-INNO1-06. Disponible en ligne sur : https://www.agrireseau.net/documents/Document_89808.pdf (consulté le 20 octobre 2020)

Popovicheva O. B., Shonija N. K., Persiantseva N., Timofeev M., Diapouli E., Eleftheriadis K., Borgese L. et Nguyen X. A. (2017). Aerosol Pollutants during Agricultural Biomass Burning: A Case Study in Ba Vi Region in Hanoi, Vietnam. *Aerosol and Air Quality Research*, 17 : 2762–2779.

Practical Action (n.d.). Fiche descriptive de la fabrication des briquettes. Disponible en ligne sur : <https://infohub.practicalaction.org/bitstream/handle/11283/620706/BRIQUETTE%201%20FR.pdf;jsessionid=CC34C0364769D10E6C2BDE95CB290A49?sequence=1> (consulté le 20 octobre 2020)

Présidence de la République du Bénin (2015). Programme d'actions du gouvernement 2016-2021. Disponible en ligne sur : <http://revealingbenin.com/wp-content/uploads/2017/03/Le-Programme-dActions.pdf> (consulté le 27 octobre 2020)

Randriamahefa M. D. (2017). Etudes de faisabilité technico-économique d'installation d'une unité de production de vinaigre d'ananas au sein de la société BIO.ES.OIL Ilafy. Mémoire de fin d'études ingénieur agronome, mention industries agricoles et alimentaires, *Université polytechnique d'Antananarivo*.

Rees (2014). Mobilité des métaux dans les systèmes sol-plante-biochar. Thèse en sciences agronomiques, *Université de Lorraine*.

Salles D. (2009). Chapitre II. L'analyse factorielle des correspondances simples. *Analyse factorielle simple en sociologie* (2009), p. 129-239.

SIE-Togo (2007). Rapport système d'information énergétique du Togo. Disponible en ligne sur : https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/sie-afrique_phase_ii_sie_togo_2007_fr.pdf (consulté le 16 octobre 2020)

Tam R. K. et Magistad O.C. (1935). Relationship between nitrogen fertilization and

chlorophyll content in pineapple plants. *Plant physiol.* 1935 Jan ; 10(1) : 159-68.

Tukey John W. (1977). Exploratory Data Analysis. *Addison-Wesley*.

Veltz I. (2014). Les climats du globe. *Institut français de l'éducation*. Disponible en ligne sur : <http://eduterre.ens-lyon.fr/thematiques/climat/climats-de-la-terre> (consulté le 28 octobre 2020)

Youssouf I. et Lawani M. (n.d.). Les sols béninois : classification dans la Base de référence mondiale. *Centre national d'agropédologie, CENAP*. Disponible en ligne sur : <http://www.fao.org/3/y3948f/y3948f05.htm> (consulté le 28 octobre 2020)

Zawawi D., Mohd Zainuri Mohd H., Angzzas Sari Mohd K. et Ashuvila Mohd A. (2014). Analysis of the Chemical Compositions and Fiber Morphology of Pineapple (*Ananas comosus*) Leaves in Malaysia. *Journal of Applied Sciences*, 14 : 1355-1358.

ANNEXES

Annexe 1 : Résidus broyés à l'état de sciure (gauche) et fibreux (droite) (Marignol, 2020)



Annexe 2 : Test de combustion des briquettes carbonées (droite) et non carbonées (gauche) (Marignol, 2020)



Annexe 3 : Test d'ébullition de l'eau sur l'ensembles des combustibles étudiés et un témoin

Tableau 21: Résultats du test d'ébullition de l'eau pour chaque combustible et un témoin (annexe)

Type de combustible	Combustible consommé (kg)	ΔT° ($^\circ\text{C}$)	ΔV (litre)	Tps ébullition (min)	Tps inflammabilité	Durée de combustion
Briquettes non carbonées	1,75	71	0,07	15	4	34
Briquettes carbonées	1,1	67,1	0,45	30	4	41
Charbon de bois	0,94	68,2	0,4	30	5	41
Bois de chauffe	0,77	69,1	0,44	90	6	96
Témoin	1	71	0,4	15	4	41