

Accompagnement du Conseil Régional des Hauts Bassins et des communes de Bobo Dioulasso, Houndé et Orodara dans la définition de politiques publiques en matière de gestion des biodéchets

Action 2 :

Capitalisation des technologies innovantes de valorisation des biodéchets

Etude portée par le conseil régional de la région Auvergne-Rhône-Alpes en France et de la région des Hauts-Bassins au Burkina Faso et suivie et coordonnée par l'Agence Régional de Développement des Hauts-Bassins.

Action menée conjointement par l'ONG **Nitidæ** et l'entreprise **Fúnteni Installations et Conseil**, basées à Bobo Dioulasso et œuvrant dans le domaine de la gestion et de la valorisation des déchets.



info@funteni.com
+226 73217342
+33 (0)6 26948813

Secteur 16, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Simon VILLARD
Yasmine BAGUIGNAN



contact@nitidae.org
+226 73168337
+226 64802009
+33 (0)9 73661017

Secteur 16, Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Julia ARTIGAS SANCHO
Magloire SACLA AÏDE

Résumé exécutif

Dans le cadre de la coopération décentralisée, les régions Hauts-Bassins au Burkina Faso et Auvergne-Rhône-Alpes en France participent à un projet visant le renforcement des capacités du Conseil Régional des Hauts-Bassins, et les communes des chefs-lieux de province (Bobo-Dioulasso, Orodara et Houndé) dans la mise en place d'une politique publique régionale et locale en matière d'économie circulaire, avec le développement de secteurs innovants et durables au sein de la filière gestion de déchets. Le projet en cours comprend trois activités, dont la deuxième consiste à la réalisation d'une étude de capitalisation sur les technologies de valorisation de biodéchets, notamment celles issues de la coopération régionale.

En tant que région économiquement très active et abritant environ 10% de la population du pays, les Hauts-Bassins génère une importante quantité de déchets organiques, dont il importe de souligner ceux venant du secteur industriel. En effet, les industries de transformation de produits agricoles sont nombreuses, et représentent des sources de concentration de déchets très caractéristiques. Ces déchets aujourd'hui très peu valorisés représentent en même temps un manque à gagner sur le plan économique, et des menaces au bien-être des populations et à la durabilité des ressources, respectivement sur le plan social et environnemental. Les chefs-lieux de province sont aussi à la source de quelques gisements de biodéchets dont il convient de s'attarder et de regarder les solutions aujourd'hui mises en œuvre au sein de la région et son environnement proche.

Ainsi, il a été question de passer revue aux différentes filières génératrices de déchets et de décrire les différentes technologies de valorisation recensées sur le terrain. Si la plupart du volume rejeté par les filières n'est aujourd'hui pas valorisée, ou la valeur ajoutée est résiduelle, l'on rencontre un bon nombre d'initiatives intéressantes permettant de donner une nouvelle vie à ces matières dans l'économie locale. Les effets sont positifs sur les trois plans : économique, social et environnemental. Certaines technologies sont en effet le fruit de la coopération décentralisée dans des filières cibles comme l'anacarde et le karité ; une description plus détaillée des bienfaits apportés par ces technologies a été apportée dans ce travail de capitalisation, toujours sans oublier d'autres technologies qui méritent l'attention.

Les filières enfin signalées comme prioritaires pour une action approfondie de la part des collectivités sont :

- **La filière mangue** (production et transformation) est un enjeu emblématique, paradigme du problème et le potentiel que suppose en même temps la gestion des biodéchets pour la région qui abrite la plus grande production de mangue du pays.
- **L'industrie de la transformation de l'anacarde**, de par le grand potentiel énergétique des déchets de coques et le dynamisme que la filière démontre, y compris au niveau des initiatives de valorisation de déchets.
- **Les activités de transformation des amandes de karité en beurre**. Cette filière toujours en évolution a face à elle des opportunités de progrès technologiques, de surcroît développés localement, et qui comportent la minimisation des nuisances sociales et environnementales de ses déchets.
- **Au niveau des communes, les abattoirs et la gestion des eaux usées** : si bien on dénombre quelques mécanismes de valorisation en place, il s'agirait de tirer le meilleur parti de ceux-ci et d'emboîter le pas pour les rendre plus propres. Des enjeux de santé publique et d'assainissement urbain doivent porter ces deux filières au centre de la réflexion sur une gestion des déchets alliée au principe de l'économie circulaire.

Sur le plan des recommandations, l'on signale l'établissement d'une politique publique mettant en avant les Meilleures Techniques Disponibles (MTD), avec un pari par la généralisation des technologies permettant une valorisation énergétique propre et celles qui ont comme produit un engrais précieux pour l'amélioration des sols agricoles. Ces deux types de technologie sont autant de solutions permettant un retour à la source des matières déchets. Finalement, le rôle du Conseil Régional dans la recherche de synergies avec des partenaires et le travail conjoint avec la Région AURA dans le renforcement de compétences, sont des étapes cruciales pour la définition éclairée d'une nouvelle stratégie de gestion de déchets basée sur l'économie circulaire.

Table des matières

Résumé exécutif.....	2
Glossaire	5
1. Introduction	6
1.1. Projet commun AURA-HB.....	6
1.2. Contexte de la région des Hauts-Bassins	6
1.3. Présentation des structures	7
1.4. Méthodologie de l'étude.....	8
2. Principaux acteurs générateurs de biodéchets	9
2.1. Vergers.....	10
2.2. Industries agroalimentaires – mangue.....	11
2.3. Industries agroalimentaires – anacarde.....	11
2.4. Egrenage et filature coton.....	13
2.5. Industries agroalimentaires – Huiles.....	13
2.6. Culture et étuvage du riz.....	14
2.7. Transformation de karité.....	14
2.8. Transformation d'arachide	15
2.9. Transformation de manioc	15
2.10. Elevage.....	16
2.11. Abattoir	16
2.12. Restaurants / Marchés.....	17
2.13. Ménages.....	17
2.14. Scieries.....	17
2.15. Eaux usées	17
3. Technologies de valorisation de biodéchets	19
3.1. Valorisation non énergétique	19
3.1.1. Alimentation humaine	19
3.1.2. Alimentation animale	20
3.1.3. Extraction d'huile	23
3.1.4. Amendement des sols	27
3.2. Valorisation énergétique	32
3.2.1. Combustion.....	32
3.2.2. Pyrolyse et carbonisation.....	37
3.2.3. Biogaz	44
4. Conclusion et perspectives	48
4.1. Adoption des technologies de valorisation de biodéchets dans les Hauts-Bassins	48
4.2. Des filières à haut potentiel.....	48
4.2.1. Mangue.....	49
4.2.2. Anacarde	51

4.2.3.	Karité	53
4.2.4.	Abattoirs	54
4.2.5.	Boues des eaux usées	54
4.3.	Perspectives et recommandations	55
Annexe 1.	Acteurs pertinents rencontrés	57
Annexe 2.	Développeurs technologiques et équipementiers.....	61
Annexe 3.	Investissement et coût d'exploitation d'une unité de valorisation des déchets de la mangue en alimentation animale.....	63
Annexe 4.	Fiche technique du four à pyrolyse H2CP.....	65
Annexe 5.	Synthèse des pyrolyseurs H2CP installés	66
Annexe 6.	Fiche technique du « petit réacteur charbon »	67
Annexe 7.	Fiche technique de la presse à vis motorisée	70
Annexe 8.	Synthèse des presses à vis motorisée installées	71

Glossaire

AFD : Agence Française de Développement

APROMAB : Association des Professionnels de la Mangue du Burkina

ANTA-BF : Association Nationale de Transformateurs de l'Anacarde au Burkina Faso

AURA : Auvergne-Rhône-Alpes

CAPEX : Capital Expenses (coûts d'investissement)

CBA : Conseil Burkinabè de l'Anacarde

CNSL : Cashew Nut Shell Liquid

DDO : Distillate Diesel Oil

EXW : Exwork

FCFA : Francs CFA

FIC : Fúnteni Installations et conseil

FIRCA : Fonds Interprofessionnel pour la Recherche et le Conseil Agricoles

H2CP : High Calorific Cashew Pyrolyser

INERA : Institut de l'Environnement et Recherches Agricoles

IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies

kJ/kg : kilojoules par kilogramme (énergie par unité de poids)

kW_e : kilowatt électrique (unité de puissance)

L : litre

m³ : mètres cubiques

MG : Matière Grasse

MTD : Meilleure Technologie Disponible

MW_e : mégawatt électrique (unité de puissance)

MW_{th} : mégawatt thermique (unité de puissance)

OPEX : Operational Expenses (charges d'opération)

PCI : Pouvoir calorifique Inférieur

PMS : Peau de Mangue et Son

PNB-BF : Plan National de Biodigesteurs du Burkina Faso

PP : Polypropylène

PPS : Peau et Pulpe de mangue et Son

PTRAMAB : Professionnels de la transformation de la mangue au Burkina Faso

TRH : Temps de Rétention Hydraulique

TRI : Temps de Retour sur Investissement

UE : Unité d'Élevage

UNPM-B : Union Nationale de Producteurs de Mangue du Burkina

1. Introduction

1.1. Projet commun AURA-HB

Fúnteni et Nitidæ ont décidé de former un consortium afin de répondre à la demande du conseil régional de la région Auvergne-Rhône-Alpes (AURA) et du conseil régional des Hauts-Bassins (HB) pour la réalisation d'une « Coréalisation d'un travail de capitalisation des technologies innovantes de valorisation des biodéchets en s'appuyant sur les réalisations accomplies dans le cadre des projets de coopération AURA-HB ». Ce travail est l'action 2 du projet intitulé « Accompagner les collectivités territoriales des Hauts-Bassins (Burkina Faso) dans la définition d'une politique régionale et locale en matière d'économie circulaire » s'inscrivant dans l'appel à projets « Villes durables en Afrique » du ministère de l'Europe et des affaires étrangères français.

Le but de cette action est de connaître les différentes techniques de valorisation des biodéchets dans les 3 chefs-lieux de la région des Hauts-Bassins : Bobo Dioulasso, Houndé et Orodara. Celle-ci, combinée à l'action 1 du projet appelée « Coréalisation d'un diagnostic dans les 3 chefs-lieux de province permettant la localisation et la caractérisation des biodéchets et recensant les actions mises en œuvre sur cette problématique par les 3 communes et la région » devra permettre à la région d'initier une politique publique d'économie circulaire des biodéchets grâce à la mobilisation de ses acteurs privés de l'agroalimentaire et de la gestion de déchets.

Vision globale :

Biodéchets produits + Techniques de valorisation existantes
→ Initiation d'une politique publique d'économie circulaire

1.2. Contexte de la région des Hauts-Bassins

Les biodéchets, constitués des déchets alimentaires et des autres déchets naturels biodégradables issus de l'agriculture, des ménages, de la restauration et des industries agroalimentaires, ne sont pour l'instant pas ou peu valorisés dans la région. Par « *valorisation des déchets* » nous entendons la création de valeur ajoutée à partir de matières de rejet, que ce soit avec ou sans transformation préalable.

Dans les Hauts-Bassins, première région agricole et agroalimentaire du Burkina Faso avec de nombreuses filières de production et de transformation (coton, karité, mangue, noix de cajou...), la question de la valorisation des biodéchets représente un enjeu stratégique environnemental et sociétal, d'autant plus que la région a un déficit en certains des produits pouvant venir de la valorisation de déchets, typiquement énergétique ou alimentaire. La gestion des ressources reste, pour la majorité des activités productives, linéaire et donc non durable dans le temps. Dans la mesure où les matières rejetées n'intègrent pas systématiquement le cycle productif, la disponibilité en ressources naturelles devient de plus en plus rare d'une part, et une pollution par l'accumulation de matières étrangères dans les milieux naturels se produit d'autre part.



Figure 1 : Gestion linéaire des ressources et déchets

La thématique de l'économie circulaire n'est aujourd'hui pas intégrée dans la politique publique de la région des Hauts-Bassins, ni des communes de Bobo Dioulasso, Orodara et Houndé alors même que celle-ci serait bénéfique à plusieurs niveaux notamment environnementaux et socio-économiques. En effet la région doit faire face à un

afflux toujours plus important de déchets, difficiles à traiter, alors que celle-ci peine toujours à résoudre les problèmes énergétiques et alimentaires qui se posent.

La contribution de cette étude à la réflexion globale est d'explorer les voies endogènes et innovantes de récupération de matières aujourd'hui « déchets », donc qui sortent du cycle productif, afin de les réinjecter pour valorisation, soit par le même producteur de déchets soit par quelqu'un d'autre. A travers les technologies de valorisation, le déchet devient un « produit » et alimente un autre maillon du secteur productif. En échange, le besoin en matières premières diminue, et la production de déchets non traités fait autant.

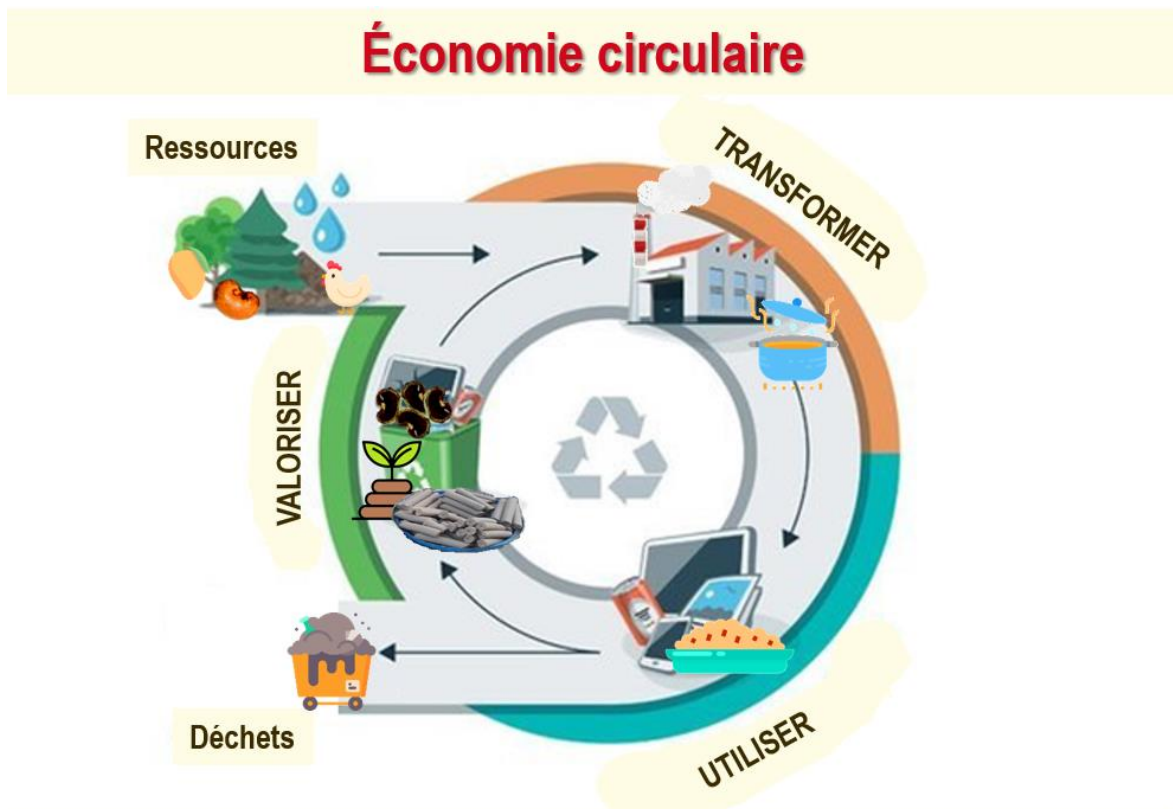


Figure 2. Gestion circulaire des ressources et déchets

1.3. Présentation des structures

Nitidæ est née en décembre 2017 de la fusion de deux associations françaises : Etc Terra (créée en 2012) et RONGEAD (créée en 1983). Son objectif est de concevoir, développer et mener des projets qui associent la préservation de l'environnement et le renforcement des économies locales. Avec une équipe de 70 collaborateurs, Nitidæ conduit actuellement une trentaine de projets, principalement à Madagascar, au Burkina Faso, au Mozambique et en Côte d'Ivoire.

Par des projets de terrain répliquables à grande échelle, Nitidæ souhaite démontrer qu'il est possible et bénéfique de concilier dynamisme économique et préservation du capital naturel dans les territoires ruraux des pays du Sud. Nitidæ considère que cette approche économique et environnementale est une réponse efficace et pérenne à la fois aux enjeux de développement et de bien-être des populations de ces pays mais aussi aux problèmes globaux comme le changement climatique ou le déclin de la biodiversité. Nitidæ fournit également une expertise technique aux entreprises, notamment agroalimentaires, souhaitant améliorer la performance des chaînes de valeurs agricoles, atténuer leur impact sur l'environnement et stimuler le développement économique local en lien avec les organisations de producteurs.

Nitidæ (ex-RONGEAD) est présente depuis 2010 dans les Hauts-Bassins, travaillant côte à côte des populations pour le développement des filières agroalimentaires motrices de développement et durables : noix de cajou (anacarde), karité, agriculture bio, transformation des céréales... À travers son département « Bioénergie et

déchets », spécialisé dans la valorisation des déchets agroalimentaires, le bois-énergie (carbonisation, foresterie) et les solutions d'énergie domestique (efficacité énergétique, biodigester...), Nitidæ a été confronté aux problématiques des opérateurs économiques de la zone. Le développement et l'installation d'équipements adaptés aux besoins productifs et performants sont réalisées, ainsi que de l'évaluation technique, économique et sociale de technologies ou de programmes.

Fúnteni Installations et Conseil est confiant que la rentabilité et les impacts environnementaux des unités de transformation des noix de cajou peuvent être améliorés par la valorisation des sous-produits. Fúnteni est une petite entreprise qui pense en grand avec une solide expérience dans la transformation de l'anacarde, mangue et karité en Afrique, la cogénération à partir de sources de biomasse, l'optimisation énergétique et la gestion et valorisation de déchets agroindustriels.

Ainsi, Fúnteni développe le marché africain des sous-produits agroindustriels, qui ne sont plus appelés déchets désormais. Ses actions passent par la conception et la promotion de technologies appropriées de transformation de ces matières, et par l'appui aux entrepreneurs qui se lancent dans ces initiatives de valorisation.

Fúnteni travaille à la sensibilisation des partenaires industriels et des décideurs, participe aux programmes de R&D des filières agroalimentaires et promeut l'adoption de technologies appropriées qui permettront à l'industrie africaine de tirer encore plus de valeur de ses produits, tout en réduisant les impacts environnementaux et en créant de nouveaux emplois verts.

1.4. Méthodologie de l' étude

Une rencontre de lancement avec les différents partenaires, communes et institutions publique et privées, a été organisée le mardi 10 septembre 2019. Cela a permis une première prise de contact, d'exposer les tenants et les aboutissants de cette étude à chacun, et déjà de recueillir des informations et connaissances pertinentes de la part de chacun des participants.

Le diagnostic terrain a été réalisé grâce au recours au large réseau de contacts dont les deux structures disposent et aux contacts obtenus grâce aux différents partenaires, l'objectif étant de recenser les différentes techniques de valorisation existantes dans les domaines pouvant produire des biodéchets. Principalement, les domaines générateurs de déchets suivants ont été rencontrés :

- Vergers
- Scieries
- Coton et textile
- Industries et unités de transformation agroalimentaires
- Brasseries, boissons gazeuses et jus
- Abattoir
- Ménages/marchés/restaurants
- Agriculture
- Eaux usées

L'étape terrain a permis de rencontrer des acteurs représentatifs de chaque filière pour savoir de quelle manière les déchets générés sont traités par chacune de ces filières.

Une phase d'approfondissement s'est suivie, après sélection des techniques de valorisation jugées innovantes, en recherchant les critères suivants pour chacune :

- Aspects techniques des équipements et performances ;
- Identification des fabricants d'équipements ;
- Déchets valorisés (types et quantités) et marchés touchés ;
- Appropriation par les transformateurs ;
- Etat des lieux de la diffusion des techniques et compétences ;

Enfin les évolutions possibles et souhaitables de ces technologies seront citées afin de permettre à chacun d'imaginer les développements à venir de ces technologies ; si un environnement favorable à leur développement émerge.

2. Principaux acteurs générateurs de biodéchets

Le tableau ci-dessous présente les différents déchets et les technologies de valorisation recensées lors du diagnostic terrain, classifiés par filière génératrice. Il constitue, par ailleurs, un index invitant à un parcours du document à la carte. Le lecteur pourra faire un clic sur la technologie de valorisation souhaitée pour être dirigé vers la section la décrivant plus en détail.

	Filière	Déchets	Voies de valorisation
1	Vergers	<ul style="list-style-type: none"> Fruits non comestibles ou non utilisés 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation humaine Alimentation animale Amendement des sols
2	Industries agroalimentaires – mangue	<ul style="list-style-type: none"> Mangues déclassées Pulpe Peaux 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale Biogaz Alimentation humaine Amendement des sols
		<ul style="list-style-type: none"> Noyaux 	<ul style="list-style-type: none"> Extraction d'huile Combustion
3	Industries agroalimentaires – anacarde	<ul style="list-style-type: none"> Amandes déclassées 	<ul style="list-style-type: none"> Extraction d'huile Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> Pellicules 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale Amendement des sols
		<ul style="list-style-type: none"> Coques 	<ul style="list-style-type: none"> Extraction d'huile (biocombustible) Pyrolyse et carbonisation Combustion
4	Egrenage et filature coton	<ul style="list-style-type: none"> Mélange de poussières et déchets plus grossiers 	<ul style="list-style-type: none"> Amendement des sols
5	Industries agroalimentaires – Huile	<ul style="list-style-type: none"> Tourteaux 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> Coques 	<ul style="list-style-type: none"> Combustion
		<ul style="list-style-type: none"> Fines / Poussières 	<ul style="list-style-type: none"> Amendement des sols
6	Culture et étuvage du riz	<ul style="list-style-type: none"> Paille de riz 	<ul style="list-style-type: none"> Amendement des sols Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> Balle de riz 	<ul style="list-style-type: none"> Combustion Pyrolyse et carbonisation Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> Son de riz 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale
7	Transformation de karité	<ul style="list-style-type: none"> Tourteaux secs Tourteaux pâteux 	<ul style="list-style-type: none"> Combustion Biogaz
8	Transformation d'arachide	<ul style="list-style-type: none"> Tiges et feuilles 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> Coques et pellicules 	<ul style="list-style-type: none"> Amendement des sols Combustion

9	Transformation de manioc	<ul style="list-style-type: none"> • Feuilles, racines, épluchures, tiges 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation animale
10	Elevage	<ul style="list-style-type: none"> • Excréments 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogaz • Amendement des sols
11	Abattoir	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets solides 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation animale
		<ul style="list-style-type: none"> • Cornes, os, sabots 	<ul style="list-style-type: none"> • Amendement des sols
12	Restaurants / Marchés	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation animale • Amendement des sols • Biogaz
13	Ménages	<ul style="list-style-type: none"> • Déchets alimentaire 	<ul style="list-style-type: none"> • Biogaz • Amendement des sols
14	Scieries	<ul style="list-style-type: none"> • Copeaux et sciure 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustion
15	Eaux usées	<ul style="list-style-type: none"> • Boues d'épuration 	<ul style="list-style-type: none"> • Amendement des sols • Biogaz

Les sections suivantes, sous le titre 2, décrivent les filières de génération de biodéchets ainsi que les enjeux qui relèvent du traitement de ces déchets. Les techniques de valorisation écrites *en bleu* offrent la possibilité d'accéder, à travers un clic sur le texte, à la section décrivant la technique en détail dans la partie 3. *Technologies de valorisation de biodéchets*.

2.1. Vergers

• Activité

La région des Hauts-Bassins est une des plus grandes productrices de fruits du Burkina. Citons en premiers lieux la mangue, l'anacarde ou encore les oranges et les bananes parmi les plus grandes productions.

Par exemple 75 % des 200 000 tonnes de mangues produites au Burkina en 2016, l'ont été dans les Hauts-Bassins

• Déchets générés

Une grande quantité de **fruits** pourrit à même les vergers car trop mûrs ou abimés et non commercialisables. Les pommes de cajou ne sont en général même pas ramassées par manque de débouchés.

• Enjeux de gestion de ces déchets

Ces déchets n'étant pas ramassés, les mouches des fruits et autres insectes s'en servent pour se nourrir et se reproduire. Cela entraîne leur prolifération qui engendrera des nuisances et impactera ensuite les prochaines récoltes négativement.

• Méthodes de valorisation généralement utilisées

La pomme de cajou peut être séchée au soleil ou grâce à des séchoirs pour *Alimentation humaine* (consommation direct ou jus de fruit) ou *Alimentation animale*.

Très rarement traités, les mangues pourraient servir en *Amendement des sols* ou au moins être enterrées afin de limiter la prolifération de la mouche du fruit. Malheureusement la main d'œuvre manque en général car cela correspond avec la saison de préparation des champs de céréales et les agriculteurs n'y voient qu'un intérêt limité.

2.2. Industries agroalimentaires - mangue

- **Activité**

L'industrie de la mangue dans la région se caractérise principalement par l'export de mangues fraîches conditionnées, le séchage de mangue et la fabrication de jus.

La région des Hauts-Bassins concentre plus de 70 % des unités industrielles de transformation de mangues du pays dont l'unité de fabrication de jus de fruits Dafani. La production de mangue séchée est estimée à 2500 T/an.

- **Déchets générés**

On retrouve des déchets à toutes les étapes du cycle de vie de la mangue : au niveau des vergers, des marchés de fruits et des unités de transformation. Au total la quantité de déchets issue de l'industrie de la mangue est estimée à environ 40 000 T/an dans la région.

Les unités d'export de mangues fraîches perdent 30% de leur production en déclassement de **mangues entières**. Les unités de séchage de mangue produisent quant à elles plus de 60% de déchets¹, ces déchets étant répartis comme suit : 50% de **mangues fraîches** déclassées, 25% d'**épluchures** et 25% de **cœurs (noyaux + pulpe)**. Les noyaux correspondent entre 2 et 10% du poids total de la mangue.

Une unité de jus de fruit comme Dafani à Orodara produit environ 1500MT de déchets/an réparties sur une période de 4 mois. Ces déchets sont de la même nature que ceux des unités de séchage.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Les déchets de la transformation de la mangue représentent de très grandes quantités. N'étant que rarement traités et le plus souvent entreposés à l'air libre, ils attirent les nuisibles en tous genres (insectes etc) et produisent des nuisances qui pourront ensuite impacter les sites de production, les futures récoltes ainsi que le voisinage. Finalement, cela reste un manque à gagner pour chaque maillon de la chaîne, qui voit sa compétitivité affectée d'une part par les charges de gestion de ces déchets, et de l'autre par le différentiel en valeur ajoutée que ces déchets pourraient apporter s'ils trouvaient une valorisation appropriée.

Ces déchets ayant des valeurs énergétiques et nutritionnelles importantes, ils pourraient combler certains déficits que la région subit dans ces domaines.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Actuellement les déchets sont généralement entreposés à l'air libre ou enfouis dans des fosses sans réelles techniques de traitement avant *Amendement des sols* dans les champs.

Des contre-exemples existent comme la valorisation en *Alimentation humaine* (jus de fruits), et plus ponctuellement l'*Alimentation animale*, la production de *Biogaz* ou l'*Extraction d'huile* cosmétique.

2.3. Industries agroalimentaires - anacarde

- **Activité**

C'est un secteur en plein essor qui contribue énormément au PIB du pays dû à la demande toujours croissante d'amande de cajou sur le marché international. On estime que la plus grande part (97%) des producteurs est localisée dans les Cascades, le Sud-Ouest, les Hauts-Bassins et le Centre-Ouest. La production annuelle du pays est estimée à 100 000 MT en 2019 avec une croissance attendue de 12 350 T/an.

La transformation de la noix de cajou dans les Hauts Bassins représente plus de 12 000 MT de noix brutes par an. Cette activité est en expansion constante car la demande mondiale est importante et que le Burkina est un grand pays producteur de noix brute mais seulement une petite partie de cette production est transformée sur place actuellement. Le nouveau Conseil Burkinabè de l'Anacarde (CBA) projette d'installer de nouvelles unités de transformation pour augmenter la capacité de transformation à 90 000 T/an.

- **Déchets générés**

En plus des pommes abandonnées dans les vergers, la transformation de l'anacarde produit plusieurs types de déchets : **coques**, **pellicules** et **amandes déclassées**. Les coques représentent environ 75% du poids des noix brutes, les pellicules 1% et les amandes déclassées moins de 0,5%.

¹ Source : Étude sur la réduction et valorisation des déchets de mangue, COLEACP, Nitidæ 2019



Figure 3 : Exemple de dépôt de coques d'anacarde inutilisées. Bobo-Dioulasso.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

La gestion des coques est particulièrement problématique car celles-ci ne se dégradent que très lentement dans la nature et occupent de très grands espaces qui pourraient être utilisés autrement. L'huile contenue dans les coques est acide, donc un dépôt incontrôlé induit des dommages aux sols.

En outre, leur potentiel énergétique élevé pourrait permettre de remplacer certains combustibles traditionnels tels que le bois ou le fioul : la coque peut en effet être transformée en produits énergétiques tels des biocombustibles solides et liquides. Si l'ensemble de coques déchet générées annuellement par les unités de transformation (8 760 tonnes de coques aux niveaux actuels) était transformé en charbon, la production serait d'environ 1 300 tonnes/an, ou alors si les coques étaient traitées pour extraire l'huile, cela correspondrait à 1 600 tonnes de fioul (combustible industriel) et 6 000 tonnes de bois équivalent. Ce potentiel énergétique se multiplie proportionnellement à l'augmentation de l'activité transformatrice dans la région, qui laisse donc des quantités de déchets d'autant plus grandes.

Aujourd'hui les grandes unités de la place ont recours à des prestataires spécialisés pour la gestion de leurs coques alors que les plus petites unités les stockent sur site en général.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Les amandes déclassées sont pressées afin d'[Extraction d'huile](#) d'anacarde, réutilisée dans le process comme baume protecteur, et du tourteau. Ce tourteau gras est mélangé à d'autres matières plus sèches comme la balle de riz. Ce mélange est destiné à l'[Alimentation animale](#).

Les pellicules ne sont pas utilisées mais pourraient servir comme complément en [Alimentation animale](#) ou comme teinture.

Les coques quant à elles sont utilisées comme combustible et cela suivant différents procédés. A travers la production de CNSL ([Extraction d'huile](#) de coque) qui peut ensuite être utilisé comme biocombustible liquide, tandis que le tourteau déshuilé de coques peut être directement valorisé par [Combustion](#) ou [Pyrolyse et carbonisation](#) pour obtenir de l'énergie thermique dans l'industrie, et du charbon dans le dernier cas.

Il est aussi possible de valoriser thermiquement les coques en [Combustion](#) directe ou [Pyrolyse et carbonisation](#) voire Cogénération cependant sans récupération de l'huile des coques et avec une gestion des fumées plus complexe

2.4. Egrenage et filature coton

- **Activité**

Le coton est le deuxième produit d'exportation du pays avec une production annuelle de 436 000 tonnes dont 40% produit dans la région (200 000 MT/an) et principalement dans la zone de Houndé². Le coton est ensuite égrené sur place (3 usines d'égrenage à Bobo et 2 à Houndé) avant d'être soit exporté, soit filé dans des unités industrielles tels que FILSAH à Bobo Dioulasso.

La fibre et la graine sont séparées dans les usines d'égrenage. Il existe des usines d'égrenage à Bobo-Dioulasso et Houndé. Toutes les graines sont valorisées en huile et en tourteaux dans les unités agroalimentaires de production d'huile. Ces dernières sont pour la plupart localisées dans les deux zones industrielles de Bobo-Dioulasso.

Les fibres courtes ou de mauvaise qualité sont transformées en serpillères ou en Maliwatt (toile fabriquée à partir de déchets de coton pour envelopper les balles de coton prêt à l'exportation).

- **Déchets générés**

Les déchets, que ce soit lors de l'égrenage ou du filage, proviennent du nettoyage. Ceux-ci sont composés de petits déchets (fragments de feuilles, sable etc.), et de déchets plus grossiers (tiges, carpelles, fragments de coques etc.). Ces déchets sont estimés de 3 à 6% dans les usines d'égrenage et 1% dans les usines de tissage soit un total régional d'environ 8 000 T/an.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Cette quantité de déchets importante est concentrée sur quelques sites et donc facilement utilisable. Malheureusement ces déchets ne présentent pas beaucoup de propriétés intéressantes en vue d'une valorisation poussée. Deuxièmement, il s'agit de matières très hétérogènes qui ne sont donc pas facilement recyclables. De plus ces déchets n'apportent pas de nuisances directes, d'où le faible intérêt à se focaliser sur ces matières.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Ces déchets sont actuellement revendus à des particuliers pour *Amendement des sols* via l'épandage principalement.

2.5. Industries agroalimentaires - Huiles

- **Activité**

Cela concerne principalement l'huile de coton mais aussi dans une moindre mesure l'huile de sésame, de soja ou encore de souchet.

La technique plus couramment utilisée est l'extraction par voie mécanique et beaucoup plus rarement, pour les très grandes compagnies, à l'hexane.

- **Déchets générés**

L'extraction de tout type d'huile produit du **tourteau** en grande quantité, de 50 à 80% selon la matière première.

Des **fines / poussières** sont aussi produites lors du nettoyage des graines.

Enfin au niveau de la production d'huile de coton, de grandes quantités de **coques** sont récupérées (environ 30%).

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Ces déchets sont assez facilement valorisés dans les unités de transformation et un marché important s'est développé avec les tourteaux d'oléagineuses.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Les tourteaux sont généralement utilisés comme *Alimentation animale* en étant mélangés ou pas, suivant leur teneur en matières grasses et protéines, à d'autres matières plus sèches (coques de coton etc.).

Les coques de coton peuvent être utilisées en *Combustion*, pour produire de l'énergie thermique et même produire de l'énergie électrique, dans ce dernier cas par Cogénération. La plus grande huilerie du pays, la SN CITEC, consomme annuellement 21 000 T de coques dont 14 000 T afin de produire de l'énergie thermique pour leur process, et 7 000 T alimentant un turbo-alternateur servant à produire de l'électricité. Ce turbo-alternateur a une puissance totale de 2,7 MW mais la quantité de coques de coton disponible ne permet de l'utiliser qu'à hauteur de 1,3 MW.

² Annuaire statistique 2017 de la région des Hauts Bassins de l'INSD

Les fines / poussières sont, comme dans le cas de l'égrenage et la filature du coton, vendues à des particuliers pour *Amendement des sols* via épandage

2.6. Culture et étuvage du riz

- **Activité**

Le riz est cultivé en irrigation et dans les bas-fonds puis récolté pour donner du riz paddy. Ce riz va donner du riz blanc ou du riz étuvé selon sa méthode de transformation : riz blanc par décorticage puis blanchissage et riz étuvé par étuvage à la vapeur, séchage, décorticage puis blanchissage.

Jadis considéré comme une denrée privilégiée, le riz est depuis un certain temps une céréale dont la consommation croît et s'élargit à toutes les couches socio-économiques du Burkina Faso.

Sa production annuelle dans le pays est estimée à plus de 400 000 T, la région des Hauts-Bassins correspondant à 20% de cette production nationale³.

- **Déchets générés**

Les feuilles et la paille qui sont séparées du riz paddy lors de la récolte.

La balle est séparée pour donner le riz cargo (15 à 20% du riz paddy)

Enfin **le son** est gratté pour donner le riz blanc (13 à 15% du riz paddy)

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

L'étuvage du riz demandant une grande quantité d'énergie pour faire bouillir l'eau, l'utilisation comme combustible de la balle de riz est un moyen efficace de limiter la consommation de bois et de charbon de bois et ainsi limiter la déforestation.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Alimentation animale avec tous les types de déchets suivant l'époque de l'année.

Energie thermique avec la *Combustion* directe dans des foyers adaptés ou le *Gazogène à balle de riz* installé à Bama. Le gaz produit par ce dernier a d'ailleurs été utilisé pour actionner un alternateur et ensuite un petit moteur électrique.

2.7. Transformation de karité

- **Activité**

L'activité est faite soit de façon industrielle dans quelques rares unités, soit de façon semi-industrielle dans des groupements, ou enfin de façon artisanale par des particuliers. L'industrie utilise des presses à vis et éventuellement l'hexane pour extraire le beurre alors que les unités semi-industrielles utilisent la technique du barattage mécanisé.

- **Déchets générés**

Activité industrielle : **tourteaux huilés** (12 à 18% de matière grasse) ou **déshuilés** (2% de MG) qui correspondent à 50% du poids des amandes et **éléments de filtration solides** (50% de MG) qui correspondent à 10% du volume des amandes. Aujourd'hui les tourteaux sont exportés vers le Ghana afin de servir de combustibles dans des chaudières.

L'activité industrielle dans la région est représentée par 2 sociétés, OLVEA et IOF, toutes deux à Bobo, qui produisent jusqu'à 30 000 T/an de tourteaux, vendus principalement à l'export vers le Ghana.



Figure 4 : Tourteau pâteux séchées

Activité semi-industrielle et artisanale : le procédé global est très intensif en eau (plus de 1 kg à 5,3 kg par kg d'amande traitée⁴, dont entre 0,6 et 4 kg d'eau lors de l'étape de barattage). Après barattage, l'eau reste chargée en composés organiques : particules de tourteau en suspension et émulsion grasse. Le tourteau pâteux qui décante représente

³ Source : Annuaire statistique 2017 de la région des Hauts Bassins de l'INSD

⁴ Source : Diagnostic des procédés semi-industriels de fabrication de beurre de karité au Burkina Faso, RONGEAD 2014 (devenu Nitidæ en 2017)

entre 55 à 65% du poids des amandes en entrée ; le reste liquide, toujours chargé en matières organiques, est rejeté dans l'environnement.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Réduction de la consommation de combustibles conventionnels. En effet les tourteaux secs ainsi que les tourteaux pâteux de barattage ont des pouvoirs calorifiques assez élevés (PCI respectifs de 15 et de 20 MJ/kg. Pour référence le bois de chauffe a un PCI d'environ 16MJ/kg).

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

La valorisation est presque toujours énergétique, que ce soit par [Pyrolyse et carbonisation](#), par [Combustion](#) dans le process (directement en chaudière pour les tourteaux, ou après formation de boules et séchage pour les boues) ou par production de [Biogaz](#) avec les boues. Les cendres issues de la combustion sont réutilisées pour la fabrication de savon.

Des éléments de filtration peuvent permettre de faire une [Extraction d'huile](#) qui servira pour fabriquer du savon.

2.8. Transformation d'arachide

- **Activité**

La production de la région est de 44 000 T/an dont la moitié dans le Houet⁵. Sa transformation (décorticage) est une activité encore très artisanale, réalisée par des coopératives ou par des particuliers.

- **Déchets générés**

Feuilles et tiges lors de la récolte. **Coques et pellicules** lors de la transformation.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Ce sont des déchets qui sont déjà facilement valorisés sur place.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Les feuilles et tiges sont séchées et conservées pendant l'hivernage pour [Alimentation animale](#) pendant la saison sèche.

Les coques et pellicules sont stockées sur site jusqu'à l'hivernage puis revendues à agriculteurs pour [Amendement des sols](#) par compost ou épandage direct et [Combustion](#) pour la cuisine domestique.

2.9. Transformation de manioc

- **Activité**

Activité artisanale réalisée par des groupements de femmes, principalement dans la province du Kénédougou (5 groupements connus à Orodara). Fabrication de farines et de semoules (attiéké). Le secteur est en expansion.

- **Déchets générés**

Feuilles, racines, épluchures, tiges et fibres du manioc correspondant à 20 à 30% du poids total, une coopérative pouvant traiter jusqu'à 4 tonnes de manioc par jour.

Eau fermentée (150 litres/tonne de manioc traitée).

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Une meilleure valorisation des déchets solides permettrait aux groupements d'augmenter leur rentabilité et de concentrer les ressources liées aux déchets lors des périodes de sécheresse.

Les eaux fermentées issues de la transformation de l'attiéké qui sont relâchées dans la nature sont nuisibles pour la faune, la flore ainsi que pour le voisinage (risques sanitaires et mauvaises odeurs).

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Feuilles, racines, épluchures, tiges sont données comme [Alimentation animale](#), sans transformation (200 à 300F/sac). Les épluchures peuvent se conserver plusieurs jours sans séchage. En Côte d'Ivoire, la production de Biogaz par fermentation des jus de pressage du manioc est en train d'être adoptée progressivement. Comme sous-produit du biogaz, les transformatrices récupèrent un engrais très riche.

⁵ Annuaire statistique 2017 de la région des Hauts Bassins de l'INSD

2.10. Elevage

- **Activité**

Les Haut-Bassins comptent environ 250 000 porcins, 1 500 000 bovins⁶, 1 400 000 ovins et 5 122 000¹ volailles soit respectivement 10%, 16%, 7% et 12% du total national, ce qui place la région dans les premières positions pour chacun de ces élevages.

Les unités d'élevage (UE) sont localisées en zone urbaine (82 %) et périurbaine (18 %)⁷.

- **Déchets générés**

Les principaux déchets générés sont liés aux **déjections animales**. Dans le cas des élevages intensifs ou semi-intensifs, ces déchets sont facilement récoltables. En revanche dans le cas d'élevages pastoraux il est beaucoup plus complexe de concentrer, récolter et donc valoriser ces déchets.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Les déjections et effluents d'élevage peuvent contenir des agents pathogènes pouvant transmettre des maladies ou contaminer l'eau et génèrent des mauvaises odeurs. Leur gestion limiterait ces risques.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Les déjections animales sont très majoritairement utilisées pour l'*Amendement des sols* via le compostage ou l'épandage et dans une moindre mesure pour la production de *Biogaz*.

2.11. Abattoir

- **Activité**

Il existe 1 abattoir frigorifique dans la région, à Bobo Dioulasso, voyant passer chaque jours 400 petits ruminants, 50 porcs et 150 bovins en moyenne. Au niveau de Orodara et de Houndé, il existe une aire d'abattage sur une aire de la mairie mais tenue par les utilisateurs. L'activité principale est l'abattage de bovins, porcins, caprins et ovins.

- **Déchets générés**

Les déchets solides de type viscères, contenus stomacaux et poils correspondent en moyenne à 5% du poids des animaux (soit 12 kg pour les bovins, 5 kg pour les porcins et 1,25 kg pour les caprins et ovins)⁸, soit une quantité journalière au niveau de l'abattoir de Bobo Dioulasso de 2550 kg et annuelle de 931 T.

Les cornes, os et sabots correspondent en moyenne à 15% du poids des animaux (soit 36 kg pour les bovins, 12 kg pour les porcins et 3 kg pour les caprins et ovins, selon la même source), soit une quantité journalière au niveau de l'abattoir de Bobo Dioulasso de 7650 kg et annuelle de 2792 T.

Les excréments.

Les carcasses impropres à la consommation (environ 300 kg/j à Bobo Dioulasso).

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Dans la pratique, les déchets des abattoirs sont déversés à l'air libre sur un espace jouxtant ces installations. Ceci entraîne des enjeux sanitaires car ces déchets peuvent être des vecteurs de maladies et attirer les nuisibles s'ils sont mal traités.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Les déchets solides de types viscères, contenus stomacaux et poils peuvent être mélangés avec du sang afin de faire de l'élevage d'asticots destinés à l'*Alimentation animale* et particulièrement avicole comme cela est fait à Bobo. Dans les autres communes ces déchets sont donnés ou vendus pour *Amendement des sols*.

Les cornes et les sabots, après broyage et éventuellement torréfaction, servent pour l'*Amendement des sols* grâce à leur apport en azote.

Les carcasses impropres sont incinérées à l'aide de bois sur site.

Hors de la région, l'abattoir de Ouagadougou valorise ses déchets via la production de *Biogaz*.

⁶ Données issues du rapport « Le développement durable de l'élevage africain : approche Une Seule Santé » sur le Burkina Faso fait par la FAO <http://www.fao.org/3/CA1084FR/ca1084fr.pdf>

⁷ Gomgnimbou APK, Nacro HB, Sanon OH, Sieza I, Kiendrebeogo T, SedogoMP, Martinez J, 2014. La gestion des déjections animales dans la zone périurbaine de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso) : structure des élevages, perception de leur impact environnemental etsanitaire, perspectives. Cah Agric23 : 393-402. doi :10.1684/agr.2014.0724

⁸ PLAN DE GESTION DES DECHETS DE L'ABATTOIR DE DORI, Juillet 2015, Mbaye Mbengue FAYE

2.12. Restaurants / Marchés

- **Activité**

Il existe dans les 3 chefs-lieux des grands marchés de fruits et légumes.

De plus, certaines grandes sociétés ont des restaurants d'entreprise qui traitent par jour une très grande quantité de nourriture, sans compter tous les restaurants de la place.

- **Déchets générés**

Les grands marchés de fruits et légumes et les grands restaurants peuvent produire de grandes quantités de **déchets alimentaires** : lots déclassés ou restes alimentaires.

Par exemple, le marché des fruits et légumes de Bobo produit 10 000 T/an de déchets.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Ces déchets biodégradables étant en général mélangés avec des déchets inorganiques (notamment les plastiques d'emballages), il est difficile de les valoriser. Pourtant si ceux-ci sont mal gérés, ils peuvent engendrer de fortes nuisances. La séparation à la source des deux types de déchets aiderait à la valorisation et recyclage des uns et des autres.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Alimentation animale, Amendement des sols et production de *Biogaz*.

2.13. Ménages

- **Activité**

Les 3 chefs-lieux représentent plus de 1 million de personnes et la production de déchets peut être estimée à plus de 200 tonnes/jour⁹.

- **Déchets générés**

Tous types de déchets sont produits et particulièrement des **déchets putrescibles** (alimentaires et biomasse) venant de la préparation des repas ainsi que du nettoyage des cours. Ces déchets représentent 40% de la masse des déchets.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Ces déchets biodégradables étant en général mélangés avec des déchets inorganiques, il est difficile de les valoriser. Encore une fois, la séparation des fractions organique et inorganique est une condition préalable à toute valorisation organisée.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Amendement des sols via le compostage.

2.14. Scieries

- **Activité**

Il existe de nombreuses scieries dans la région mais aucune de taille industrielle.

- **Déchets générés**

Chutes, copeaux et sciures de bois.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Réduction des combustibles classiques.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Combustion dans des fours adaptés et litière pour élevages avicoles

2.15. Eaux usées

- **Activité**

A Bobo Dioulasso les eaux usées sont collectées via des camions citernes ou le « tout à l'égout » dont certains quartiers bénéficient (centre-ville et zone industrielle 1). Ces eaux sont traitées au niveau du service d'assainissement de Dogona, secteur 13. On estime la consommation totale de la ville à plus de 14 millions de

⁹ Résultats provenant de l'action 1 de cette étude : « Co-réalisation d'un diagnostic dans les 3 chefs-lieux de Province permettant la localisation et la caractérisation des biodéchets et recensant les actions mises en œuvre sur cette problématique par les 3 communes de la Région »

m³/an dont seulement une minorité est traitée au centre d'épuration de Dogona, environ 2600 m³/jour soit un peu moins de 1 million de m³/an.

Au niveau de Houndé et de Orodara, il n'existe pas encore de service d'assainissement communal, même si cela est à l'étude à Houndé. Les eaux usées des camions-citernes sont vidangées dans la nature.

- **Déchets générés**

Dans le centre de Dogona, les **eaux boueuses** sont stockées 23 jours sur site. Les boues primaires, qui correspondent environ à 15% du volume, se décantent et on peut ensuite vidanger l'eau. Ces boues primaires sont ensuite mises sur des plateformes pour séchage et stockage.

- **Enjeux de gestion de ces déchets**

Facilement valorisables en engrais organique, il est tout d'abord nécessaire de s'assurer grâce à des analyses que ces boues ne contiennent pas de contaminants comme les métaux lourds par exemple.

- **Méthodes de valorisation généralement utilisées**

Actuellement les boues de la station d'épuration sont seulement stockées et non valorisées. L'université de Bobo est en train de faire des analyses et proposera des pistes de valorisation. Probablement elles seront ensuite vendues pour servir en *Amendement des sols*.

Autres alternatives possibles : *Épandage* en forêt pour leur régénération rapide, leur méthanisation pour la production de *Biogaz*, le *Compostage* ou la *Combustion* d'une partie des combustibles permettant la production du clinker dans les cimenteries¹⁰.

¹⁰ Naamane, S., Rais, Z., & Taleb, M. (2013). *Influence de l'ajout de la boue obtenue après épuration des eaux usées sur les caractéristiques physico-chimiques des ciments*. Matériaux & Techniques, 101(7), 703.

3. Technologies de valorisation de biodéchets

Dans cette partie, les technologies paraissant les plus pertinentes ont été encadré afin de les faire ressortir.

3.1. Valorisation non énergétique

3.1.1. Alimentation humaine

Jus de fruits

Il existe au niveau du lycée technique professionnel de Bobo Dioulasso une installation mobile destinée à la fabrication de jus et nectars de fruits tropicaux (hors agrumes).

Chacun peut louer cette ligne avec l'accompagnement d'un professionnel du lycée qui le guide et suit l'utilisation pour la somme de 30 000 FCFA/jour. Cette ligne, fournie par la société française *Gilson Pierre et Fils* et financée par l'association *ATB-France* en 2017, permet de former les étudiants sur les aspects techniques et à la maintenance de la ligne et à produire des jus de qualité pour les personnes extérieures.



Figure 5 : Ligne mobile de production de jus de fruit

De manière plus artisanale, de nombreuses unités de séchage de mangue réalisent des jus à base de mangues tachetées et donc non utilisables dans leur process ou avec les chutes, petites parties retirées en fin de process, de mangues séchées.

- **Description technologie/procédé**

Le lycée technique professionnel a eu la bonne idée d'ajouter un grattoir en amont de la ligne mobile qui va permettre de faire de la purée avec les déchets de la transformation de la mangue et particulièrement en séparant la pulpe des noyaux.

La ligne mobile est ensuite composée de tout un ensemble : cuves, tables inox, râpe, bacs, presse, raffineuse, pompe, pasteurisateur et remplisseuse avec lequel on produit le jus, on le pasteurise et on le met en bouteille ou en sachets. L'ensemble de la ligne est installé sur une remorque équipée d'un groupe électrogène afin de pouvoir réaliser du jus n'importe où et plus particulièrement proche des gisements de déchets.

- **Type de déchet accepté**

Pommes de cajou, déchets des unités de séchage de mangue et particulièrement les noyaux avec la pulpe.

- **Capacité / Rendement**

Capacité de 100 à 200 litres de jus par heure environ avec un rendement compris entre 50 et 90% selon les matières premières utilisées. La pomme de cajou a par exemple un rendement de 90%.

- **Produits**

Jus de fruits pasteurisés et embouteillés ou ensachés.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Il existe actuellement une machine à Bobo Dioulasso et la chambre régional d'agriculture envisage d'en acquérir une deuxième.

Différents types d'acteurs ont accès à cette ligne pour la fabrication de différents types de jus. Malheureusement, la fabrication de jus n'étant pas le cœur de métier du lycée professionnel, il est parfois difficile pour les extérieurs d'obtenir des créneaux dans les délais souhaités suivant le programme interne au lycée (examens, vacances), cela pouvant engendrer des problèmes de logistique et donc le pourrissement des matières premières des utilisateurs.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

L'ensemble ligne plus remorque et groupe électrogène, le tout fourni avec des pièces de rechange, est d'environ 40 millions de FCFA EXW France. Il faut ensuite à cela ajouter le prix du transport, de la formation et de l'énergie à fournir pour son fonctionnement.

Les parties qui nécessitent de l'électricité sont la raffineuse de 1800 W et le moteur de la pompe remplisseuse, du tamis automatique et de la râpe dont les caractéristiques ne sont pas précisées. Le pasteurisateur fonctionne au gaz.

- **Avantages environnementaux**

Permet de traiter différents types de déchets au lieu de les laisser pourrir dans les champs. Cela limite donc la prolifération des nuisibles.

De plus, la production de produits consommables à partir de matières premières qui auraient été jetées permet l'obtention d'un produit sobre en ressource, carbone et main d'œuvre en comparaison d'un produit pour lequel des cultures auraient été travaillées (intrants, main d'œuvre, transports...).

- **Avantages socio-économiques**

La ligne permet de donner une valeur importante (alimentation humaine) à un produit fait à partir de déchets. De plus, la ligne étant mobile, il est possible d'aller faire du jus directement là où se trouvent les déchets à transformer. Cela permet d'éviter les problèmes de logistique et donc de dégradation des produits à transformer.

3.1.2. Alimentation animale

À base de déchets de mangue

Le Burkina Faso est le premier pays d'Afrique de l'Ouest en termes de production de mangue. La production fruitière est dominée à 50% par la mangue qui représente plus de la moitié des vergers, ce volume annuel étant estimé à 200 000 tonnes. L'Ouest du Burkina (Hauts-Bassins et Cascades) constitue le principal bassin de production de la mangue avec 75% de la production nationale¹¹. La mangue est destinée à la consommation locale et à l'exportation et est consommée fraîche, séchée, en jus ou en purée.

L'activité de séchage de mangue est en plein essor au Burkina Faso. Le pays se positionne comme leader de la commercialisation de mangue séchée bio et la demande à l'export est en progression constante. Le maillon de transformation est représenté par une centaine d'unités de séchage membres de la PETRAMAB (Professionnels de la transformation de la mangue au Burkina Faso), localisées principalement sur les 5 régions du Burkina Faso dont la plus grande part (70) est localisée dans les Hauts-Bassins.

Des travaux ont été entrepris pour trouver des voies de valorisation à ces déchets de mangue. Il s'agit notamment d'études de recherche menées par le Dr Timbilfou Tiendrebéogo, chercheur à L'INERA, sur la transformation des déchets de mangue en une denrée destinée à l'alimentation animale (résultats publiés sur le porc¹², mouton et poule¹³). Certaines unités de séchage ont aussi réalisé le même genre de tests et produisent actuellement de petites quantités d'aliments bétail.

- **Description technologie/procédé**

La technique considère l'utilisation des épluchures (ou peaux) de mangue et/ou la pulpe de mangue déchet, humides, en combinaison avec un matériel sec, couramment utilisée comme aliment bétail (notamment du son de céréales). La matière sèche utilisée a un rôle absorbant pour permettre de sécher plus rapidement les déchets de mangues qui sont très humides. Le produit sec obtenu est appelé « provende de mangue ».

Les déchets de mangue sont disponibles pendant la saison des pluies, là où les ventes d'aliment de bétail sont à leur minimum dû à la présence d'herbe verte. La provende sèche produite à ce moment-là devra donc être conservée plusieurs mois avant d'être utilisée (jusqu'à 8 mois). Elle peut être utilisée telle quelle ou en mélange avec d'autres compléments alimentaires pour nourrir les animaux.

Les porcs, la volaille et les ruminants sont les animaux concernés. Les mélanges doivent être adaptés selon l'espèce dont il est question afin d'obtenir les meilleurs résultats en termes de nutriments et valeurs énergétiques.

- **Type de déchet accepté**

La technologie intègre tous les types de déchets de mangue hormis les noyaux de mangues et les mangues non mûres. Les résultats de ces travaux sont positifs et témoignent de la faisabilité de cette valorisation. Des

¹¹ Analyse de la chaîne de valeur mangue au Burkina Faso (2018, commission Européenne/DEVCO).

¹² Kiendrebeogo, T., Mopate, L.Y. and Kabore-Zoungrana, C.-Y. (2018) Effets de rations à base de déchets de mangue sur les performances pondérales et la qualité de la carcasse de porcs Korhogo en croissance au Burkina Faso. Journal of Applied Biosciences, 129, 13039-13049. <https://doi.org/10.4314/jab.v129i1.7>

¹³ Barry, D., Kiendrebeogo, T., Sere, M., Combari, A., Logtene, Y.M. and Kabore-Zoungrana, C.Y. (2019) Effects of Mango Wastes-Based Diets on the Growing Parameters of Laying Hens and Biometric Parameters of the Eggs. Open Access Library Journal, 6: e5868. <https://doi.org/10.4236/oalib.1105868>

équipements adaptés sont utilisés pour séparer des déchets la peau et la pulpe de mangue qui sont les déchets utiles pour mettre en place la technologie.

- **Capacité/Rendement**

En s'appuyant sur l'article écrit par le Dr Tiendrebeogo (INERA) en 2013, « Procédés de production d'aliments non conventionnels pour porcs à base de déchets de mangues et détermination de leurs valeurs alimentaires au Burkina Faso », le procédé décrit qu'une quantité de 2516 kg/jour de déchets humides (peau et pulpe de mangue) peut être transformée chaque jour pour produire une quantité de 1850 kg/jour de provende de mangue, à l'aide d'ajout d'une certaine quantité de matière sèche absorbante (son de maïs).

- **Produits**

L'article décrit deux types de provende : une à base d'épluchures de mangue uniquement en mélange avec l'absorbant (PMS) et une deuxième avec un mélange d'épluchures et de pulpe de mangue avec l'absorbant (PPS). Ensuite plusieurs mélanges avec de la matière sèche sont faisables suivant l'élevage cible. Ces préparations sont spécialement appréciées par les ruminants et les porcs. D'autres formulations peuvent être dérivées avec des procédés similaires, et des proportions adaptées aux différents animaux cibles.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Pour mettre en place sa technologie, le Dr Tiendrebeogo a travaillé en collaboration avec des transformateurs de la zone des Hauts-Bassins qui ont montré un véritable intérêt pour la technologie. Les problèmes de financement et d'espace rencontrés par ces unités ont constitué les freins à la mise en place effective d'une véritable unité de traitement.

Malgré cela, certaines personnes réalisent le même type de recette dans leurs unités de séchage afin de faire de l'alimentation animale à petite échelle, c'est le cas de l'unité Wend Panga à Bobo Dioulasso, qui mélange les déchets de mangue séchés avec de la farine de Néré.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Les données du document publié par le Dr Tiendrebeogo servent de base pour mettre en place un modèle économique en considérant 100 jours de production. Ce modèle d'affaires a été développé par Fúnteni et les tableaux des investissements CAPEX et OPEX sont consignés dans *l'Annexe 3 Investissement et coût d'exploitation d'une unité de valorisation des déchets de la mangue en alimentation animale*, p.63.

Le marché cible est l'ensemble des éleveurs de la zone. En effet, le marché de l'aliment de bétail est en perpétuelle progression dû à la demande toujours croissante de ces matières.

- **Avantages environnementaux**

Les déchets de mangues, amplifiés par l'essor de la filière mangue et le caractère périssable du produit, sont source de nombreuses nuisances liées à la mauvaise gestion. Ces déchets sont souvent rejetés dans la nature sans aucun traitement préalable entraînant de nombreux désagréments pour l'environnement et pour les populations vivant à proximité des dépotoirs (l'utilisation de grands espaces comme dépotoirs, la contamination des nappes phréatiques, la présence de mouches, les odeurs nauséabondes...).

- **Avantages socio-économiques**

La généralisation d'une gestion responsable des déchets de mangues contribuera à la création de valeur ajoutée pour les unités de mangue et d'emplois pour la population. De plus cela permettra de nourrir quantités d'animaux en limitant leur divagation, source de problèmes dans les zones urbaines et rurales.

Elevage d'asticots

- **Description technologie/procédé**

Les déchets solides des abattoirs sont utilisés afin d'élever les asticots de la mouche domestique. Ces déchets sont étalés à même le sol ou sur des bâches pendant la nuit ou au petit matin lors de leur récupération et mélangés manuellement avec du sang, des poils et de l'eau. Le sang attire les mouches, les poils protègent les larves du soleil et l'eau facilite aux larves l'accès aux nutriments. Ce mélange est laissé à l'air libre pour que les mouches domestiques puissent venir naturellement pondre dedans. Après 72h, les asticots des mouches naissent et devront être consommés rapidement avant qu'ils ne grandissent trop et ne soient plus comestibles.

Les restes des déchets solides, vidés de leurs asticots, sont vendus pour épandage dans les champs à intervalles réguliers.

- **Type de déchet accepté**

Déchets solides de types viscères, contenus stomacaux et poils de bovins et ovins après leur abattage.

- **Capacité**

Actuellement, l'élevage d'asticots est réalisé de manière informelle par des individus travaillant sans aide. Une personne seule est capable de traiter 3 à 4 charrettes par jour de déchets, soit environ 200 kilos.

- **Rendement**

Le rendement dépend grandement de la saison et est le plus haut en saison des pluies et le plus faible en saison sèche. La température joue aussi un rôle et permet le développement rapide des larves. Une personne peut obtenir environ 5 seaux d'asticots, soit environ 5% de rendement.

- **Produits**

Les asticots sont vendus aux élevages avicoles qui les mélangent avec du son de maïs pour nourrir leur volaille. Il faudra en contrepartie que les éleveurs vermifugent leur volaille afin d'éviter les contaminations par les asticots dans l'estomac.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Activité réalisée par quelques particuliers. Cette méthode d'élevage est transmise oralement et est principalement utilisée autour des abattoirs, là où l'on peut récupérer de grandes quantités de déchets solides.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Pour une production classique le besoin est très faible. Une personne avec une pelle et quelques équipements de protection peut faire le travail. L'utilisation d'une bâche est un plus afin de couvrir l'élevage pendant la saison des pluies mais aussi d'éviter que celui-ci ne se déshydrate trop en saison sèche.

- **Avantages environnementaux**

La valorisation de déchets en alimentation animale, qui autrement n'auraient surement été utilisés que pour de l'épandage direct, permet de diminuer l'apport en ressources naturelles destinées à l'élevage. Les asticots de la mouche domestique ont un potentiel de conversion de la matière organique en biomasse corporelle élevée et sont donc une alternative crédible au remplacement des sources conventionnelles de macro et micro nutriments pour le poisson et la volaille ¹⁴.

- **Avantages socio-économiques**

Les asticots ainsi produits représentent une alternative en source protéique disponible pour la nutrition aviaire des petits aviculteurs en Afrique de l'Ouest. Malheureusement les quantités de déchets servant à leur élevage restent faibles et il semble compliqué de pouvoir développer cette production d'avantage, sauf à développer des élevages sur d'autres types de déchets.

Certaines études d'élevage d'asticots de la mouche domestique sur un substrat de fientes de volaille et de copeaux de bois ont d'ailleurs été réalisées dans les Hauts-Bassins¹⁵, mais à notre connaissance cette technique n'est pas actuellement utilisée dans la région.



Figure 6 : Elevage d'asticots de la mouche domestique

¹⁴ Potentialité des insectes utilisés en alimentation de la volaille et du poisson au sud du Bénin (El Boushy, 1991; Zuidhof et al., 2003; Aniebo et al., 2008).

¹⁵ Sanou et al., J. Appl. Biosci. 2019 Production de masse de larves de *Musca domestica* L. (Diptera : Muscidae) pour l'aviculture au Burkina Faso : Analyse des facteurs déterminants en oviposition naturelle.
https://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2019/02/6.Sanou_.pdf

A base d'amandes d'anacardes déclassées

Dans les unités de transformation de noix de cajou, les amandes impropres à la consommation car elles ont été souillées par le baume de la coque de cajou, dégradées par des insectes ou ne sont pas arrivées à maturation sont rejetées.

- **Description technologie/procédé**

Une technique de valorisation de ces amandes a été développée par une unité de la place. Elle dispose d'une presse à vis avec laquelle on transforme un mélange de balle de riz et d'amandes rejetées pour obtenir une huile non comestible et du tourteau. L'huile est décantée avant utilisation et le tourteau est refroidi avant conditionnement en sacs PP.

- **Type de déchet accepté**

Les déchets pris en compte pour cette technologie sont la balle de riz et les amandes rejetées car non comestibles par les humains. Il est possible d'utiliser à la place de la balle de riz du son de maïs mais cela devient moins rentable.

- **Capacité/Rendement**

Les mélanges sont effectués à 50% du volume de balle de riz et d'amandes déclassées. Une unité comme Anatrans à Bobo Dioulasso transforme jusqu'à 200 kg amandes et 200 kg balle de riz par jour, soit 400 kg de déchets traités, pour obtenir 300 kg de tourteaux et 100 litres d'huile.



- **Produits**

La grande part de l'huile produite servira à la protection des mains des travailleurs de l'unité en substitution de l'huile de ricin, pour atténuer l'irritation causée par le contact avec le baume de la coque de cajou. Le reste de l'huile est vendu pour être utilisé à la fabrication de savon. Le tourteau servira à l'alimentation animale et pourra aussi servir d'engrais pour les cultures.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

D'autres unités de la place ont été séduites par la technologie et fournissent leurs amandes rejets pour récupérer de l'huile en contrepartie du tourteau.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

La technologie nécessite l'acquisition d'une presse à vis de capacité suffisante et de la balle de riz. La consommation électrique des presses à vis est en général assez importante et donc à prendre en compte. Un opérateur doit être responsable de l'exploitation et peut faire le travail seul.

- **Avantages environnementaux/ Avantages socio-économiques**

Avec cette technologie c'est l'entassement d'amandes rejetées au niveau des unités de transformation qui disparaît et donc la prolifération des nuisibles qui pourraient s'en nourrir. Elle permet aussi aux unités de réaliser des économies de production et est source d'emploi.

3.1.3. Extraction d' huile

Beurre de mangue

Il existe, à l'intérieur du noyau de mangue une amande pesant entre 10 et 30 grammes suivant la variété (2 à 10% du poids total de la mangue), ayant un taux de matière grasse compris entre 5 et 13% et d'humidité entre 40 et 50%¹⁶. Il est possible d'obtenir du beurre à partir de cette amande.

- **Description technologie/procédé**

Séchage du noyau de mangue, extraction, séchage et broyage de l'amande. Ensuite le beurre de mangue peut être extrait par trois méthodes :

- Pressage mécanique des amandes dans une presse à vis ou dans une presse hydraulique,
- Extraction par solvants organiques,
- Séparation en milieu aqueux (barattage)

¹⁶ International Food Research Journal 19(4): 1325-1335 (2012). Utilization of Mango seed. Kittiphoom, S

Le beurre est ensuite filtré pour le séparer des impuretés.

- **Type de déchet accepté**

Noyaux de mangue auxquels on extrait ensuite l'amande.

- **Capacité**

Toutes les capacités sont atteignables technologiquement. Le facteur limitant est en général l'apport de matières premières, donc d'amandes de mangue.

- **Rendement**

Le taux de matières grasses de l'amande de mangue étant faible, entre 5 et 13%, son rendement l'est tout autant. L'extraction mécanique ne donne guère des rendements plus élevés que 2%, tout comme le barattage. L'extraction par solvant permet quant à elle d'avoir des rendements de 7 à 10%.

- **Produits**

Le beurre de mangue est une matière grasse de consistance solide à température ambiante, riche en antioxydants et vitamines A et E. Il contient 44–48% d'acides gras saturés et 52–56% insaturés. Principalement utilisé en cosmétique pour ses propriétés protectrices, adoucissantes, hydratantes et antioxydantes, il peut aussi servir de substitut au beurre de cacao dans le chocolat à hauteur de 5%.

Le reste des noyaux peut servir comme combustible ménager dans des foyers classiques ou comme combustible industrielle dans des chaudières.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Plusieurs personnes et structures au Burkina ont tentées de produire du beurre de mangue.

Le beurre de mangue par extraction mécanique est le plus demandé, mais dû au faible rendement de la méthode, à ce jour il n'y a aucun producteur de beurre. Certaines structures essayent de lancer l'activité et sont encore en phase expérimentale.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Besoin de main d'œuvre pour extraire l'amande du noyau.

L'extraction à l'hexane est assez coûteuse et nécessite de très grands volumes à traiter, donc très difficile à mettre en place car nécessite de la mise en place de toute une chaîne d'approvisionnement. L'extraction mécanique est moins chère mais demande tout de même l'achat de matériel adéquat d'une certaine puissance : presse et filtres.

- **Avantages environnementaux**

Les noyaux étant relativement longs à se biodégrader, leur valorisation permet de réduire les nuisances dans le temps dues aux rejets de mangues dans la nature.

L'utilisation des noyaux sans amandes comme combustible permet aussi de réduire l'utilisation de bois et de charbon.

- **Avantages socio-économiques**

Le marché du beurre de mangue en cosmétique, notamment pour les amandes biologiques extraites sans procédés chimique est très porteur. La région étant un grand producteur de mangues biologiques, la production de beurre pourrait facilement suivre. Celle du beurre de mangue conventionnel en substitut du beurre de cacao est très vaste mais semble compliqué à atteindre vu les petits volumes qui peuvent être produits contrairement aux autres types d'huiles végétales.



Figure 7 : Noyau et amande de mangue



Figure 8 : Beurre d'amande de mangue

Huiles essentielles

Une huile essentielle est un liquide concentré en substances végétales, obtenu par extraction ou distillation de molécules volatiles de la plante d'origine.

- **Description technologie/procédé**

La distillation à la vapeur d'eau est la méthode principale de fabrication des huiles essentielles. Dans une cuve sont mélangées les plantes à utiliser, puis le mélange est chauffé afin que l'eau se transforme en vapeur. Ensuite, cette vapeur va refroidir et se condenser pour devenir liquide. Ce liquide est récupéré dans le vase de décantation, et c'est dans ce récipient que se trouve l'huile essentielle. Celle-ci va se séparer de l'eau de distillation, car elle est plus légère que l'eau.

Il existe aussi une méthode appelée « expression », consistant à extraire les arômes par pression mécanique. Ce processus est notamment utilisé pour fabriquer des huiles essentielles issues d'agrumes.

La troisième méthode est celle de l'extraction aux solvants volatiles comme l'hexane.

Enfin la technique de la Flash-Détente brevetée par l'INRA en 1993, fut mise au point pour extraire les arômes de bananes, de mangues ou de litchis.

- **Type de déchet accepté**

Peaux d'agrumes (citron et orange) et peaux de mangues

- **Capacité**

Les capacités sont en général faibles car c'est un processus assez long.

- **Rendement**

Les citrons ont un très bon rendement : avec environ 100 kg de peaux, on obtient 500 mL d'huile essentielle par pression à froid (0,5%).

La peau d'orange a un rendement de 0,5 à 1% (10 mL pour 1 à 2 kg de peaux) par pression à froid.

Les peaux de mangue sont quant à elles traitées par distillation.

- **Produits**

Une huile essentielle est un liquide concentré en substances actives, issues directement de plantes. Il servira dans la cosmétique, l'alimentation ou la médecine.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Ce type de valorisation est très peu répandu au Burkina et les seuls personnes ou structures qui travaillent là-dessus en sont encore au stade expérimental.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Afin d'obtenir des quantités commercialisables, les équipements sont en général assez coûteux et freinent donc cette méthode de valorisation.

- **Avantages environnementaux**

Peu d'avantages environnementaux puisque seulement une petite partie de la quantité initiale de déchet est au final soustraite au vu des faibles rendements d'extraction de l'huile. La quantité globale de déchet reste donc la même.

- **Avantages socio-économiques**

Les huiles essentielles sont utilisées en médecine douce pour leurs vertus pour la santé, en cuisine pour leur arôme et en cosmétique, en mélange avec d'autres composants ou pures. Les débouchés sont donc vastes et il existe un réel marché des huiles essentielles dans le monde dont le Burkina ne profite pas encore.



Figure 9 : Peaux de mangues séchées



Figure 10 : Exemple de peaux d'agrumes pouvant être traitées (pomelo, orange et citron)

CNSL

Les unités de transformation des noix de cajou, en vue d'en extraire l'amande qu'elles contiennent, génèrent de grandes quantités de résidus solides suite au décortiquage. Ce sont en majorité les coques de cajou qui représentent plus de 70% de la masse de la noix.

La spécificité des coques est qu'elles renferment une substance liquide acide, le Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) ou baume de cajou. Ce liquide acide et très volatil complique la valorisation énergétique des coques par simple combustion et les rend difficiles à manipuler et à commercialiser comme combustible. Il convient de mettre en place des moyens de valorisation adaptés. La technologie de valorisation étudiée est l'extraction du CNSL des coques en vue d'être utilisé pour d'autres applications.

- **Description technologie/procédé**

Le CNSL présente des propriétés irritantes lorsqu'il est en contact avec la peau. Ainsi, pour minimiser le contact du personnel avec l'huile, une usine à mécanisation maximale est préconisée. L'équipement principal de la technologie étant la presse à vis à laquelle on pourra ajouter des systèmes de convoyage, des pompes et des bacs de décantation entre autres. Cela garantit également une bonne qualité du produit et des rendements stables. Une fois extrait, le CNSL subit des opérations de décantation et de décarboxylation (réaction thermique) pour maximiser sa qualité afin de faciliter sa commercialisation.

- **Type de déchet accepté**

Le traitement prend en compte les déchets produits par les unités de transformation que sont les coques de cajou.

- **Capacité/Rendement**

Le CNSL qui est contenu dans les coques est estimé entre 20 et 25%. Avec des équipements adaptés et les pertes sur la ligne on considère un rendement de CNSL de 20%.

- **Produits**

En tant que source de phénols, le CNSL extrait est une matière première pour les industries chimiques vertes. Il peut aussi être utilisé comme combustible pour la production de chaleur ou d'électricité avec des équipements comme les groupes électrogènes et les brûleurs. Il sert enfin également dans le domaine chimique pour les applications suivantes : freins et garnitures, additifs pour le caoutchouc, vernis, peintures, goudrons...



Figure 11 : Pomme et noix de cajou et CNSL



Figure 12 : Presse à vis pour l'extraction du CNSL

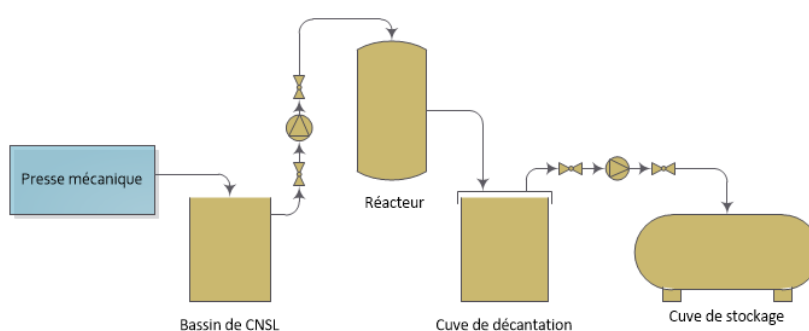


Figure 13 Schéma d'une unité mécanique d'extraction de CNSL



Figure 14 : Exemples d'utilisation du CNSL

Après extraction du CNSL, le tourteau restant peut devenir une source de biomasse facilement valorisable à des fins de combustion directe pour la production de chaleur et d'électricité et pourra également servir à la production de briquettes combustible.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Au Burkina Faso, l'unité de transformation de noix de cajou Anatrans, située à Bobo Dioulasso, a fait de l'extraction du CNSL une activité secondaire de même que d'autres unités dans la sous-région (Ghana, Côte d'Ivoire). Le CNSL est aujourd'hui destiné à l'exportation. En outre des travaux de recherche sont développés pour amener une valorisation et la commercialisation du CNSL au niveau local.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

L'installation complète d'une unité de capacité de traitement mécanisée est estimée à 68 000 000 FCFA pour une unité de capacité de transformation 20 à 60 tonnes de noix de cajou par jour.

Il n'est donc pas possible pour les petites unités de transformation de mettre en place une telle activité, premièrement à cause du coût économique d'une telle installation et deuxièmement car elles n'ont pas le volume de coque nécessaire à une production rentable.

- **Avantages environnementaux**

Les coques de cajou se dégradent lentement dans l'environnement et sont responsables de la pollution du sol si elles sont entassées directement sur le sol et entraînent aussi des risques d'incendie. Avec l'extraction du CNSL les impacts environnementaux s'en trouveront considérablement réduits.

- **Avantages socio-économiques**

L'extraction du CNSL apportera de la valeur ajoutée et donc de la compétitivité aux unités de transformation et sera source de création d'emplois. Le CNSL produit pourra être utilisé localement en remplacement de certains produits importés.

Huiles d'anacardes déclassées

Se référer à la partie *Alimentation animale A base d'amandes d'anacardes déclassées p.23*

3.1.4. Amendement des sols

Épandage

- **Description technologie/procédé**

L'épandage est l'action de répandre dans les champs des matières présentant un intérêt agronomique. Lorsque l'on considère le retour au sol des déchets organiques, on envisage l'épandage avant tout comme un apport de produits bruts, notamment non compostés. La filière "épandage" concerne donc avant tout l'épandage direct de déchets organiques non transformés. Il n'est possible que s'il présente un intérêt agronomique et s'il ne constitue pas un danger pour l'homme, les végétaux, les animaux et l'environnement.

- **Type de déchet accepté**

Les déchets concernés sont d'origine urbaine (boues de stations d'épuration des eaux), agricole (fumiers, lisiers, biomasse) et industrielle (sous-produits de fabrication de produits agroalimentaires).

- **Capacité / Rendement**

La quantité et l'efficacité dépendra surtout de la matière à épandre. Il faudra faire attention à ne pas « étouffer » ou « brûler » le sol par un excédent de matières épandues alors qu'un apport très faible n'aura que très peu d'impact.

- **Produits**

Matières organiques et nutriments nécessaires à la culture, notamment l'azote, apportés par la matière épandue.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

L'épandage est largement utilisé au Burkina Faso, faute d'utilisation d'autres techniques de valorisation plus complètes et plus complexes. Citons les déchets des industries agroalimentaires de la mangue, du nettoyage dans la filière coton, des déchets agricoles lors des récoltes, des excréments dans les élevages, des déchets alimentaires des ménages, restaurants ou marchés ou encore des boues d'épuration.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Aucun investissement n'est requis puisque en général l'épandage est fait de manière manuelle et non de manière mécanisée. Si l'épandage est fait de manière mécanique il nécessite un tracteur ainsi qu'un épandeur.

Des hangars de stockage peuvent être nécessaires afin d'entreposer la matière à épandre jusqu'à la saison idéale pour l'épandage (augmentation de l'efficacité, diminution des odeurs et des lessivages).

- **Avantages environnementaux et socio-économiques**

Les avantages de l'épandage sont d'ordre pratique et économique. Pratique car sa mise en œuvre ne nécessite pas d'investissement. Economique car il permet un retour direct des déchets organiques au sol, sans coût supplémentaire généré par une quelconque transformation préalable, sauf parfois le séchage pour diminuer la teneur en eau initiale du produit.

Compostage

- **Description technologie/procédé**

Le compostage est un processus naturel de dégradation ou de décomposition de la matière organique par les micro-organismes dans des conditions bien définies. Pour permettre aux micro-organismes responsables du compostage de se développer, il est nécessaire d'avoir un équilibre entre les types de matières organiques compostées d'une part, et une bonne aération et un taux d'humidité important d'autre part.

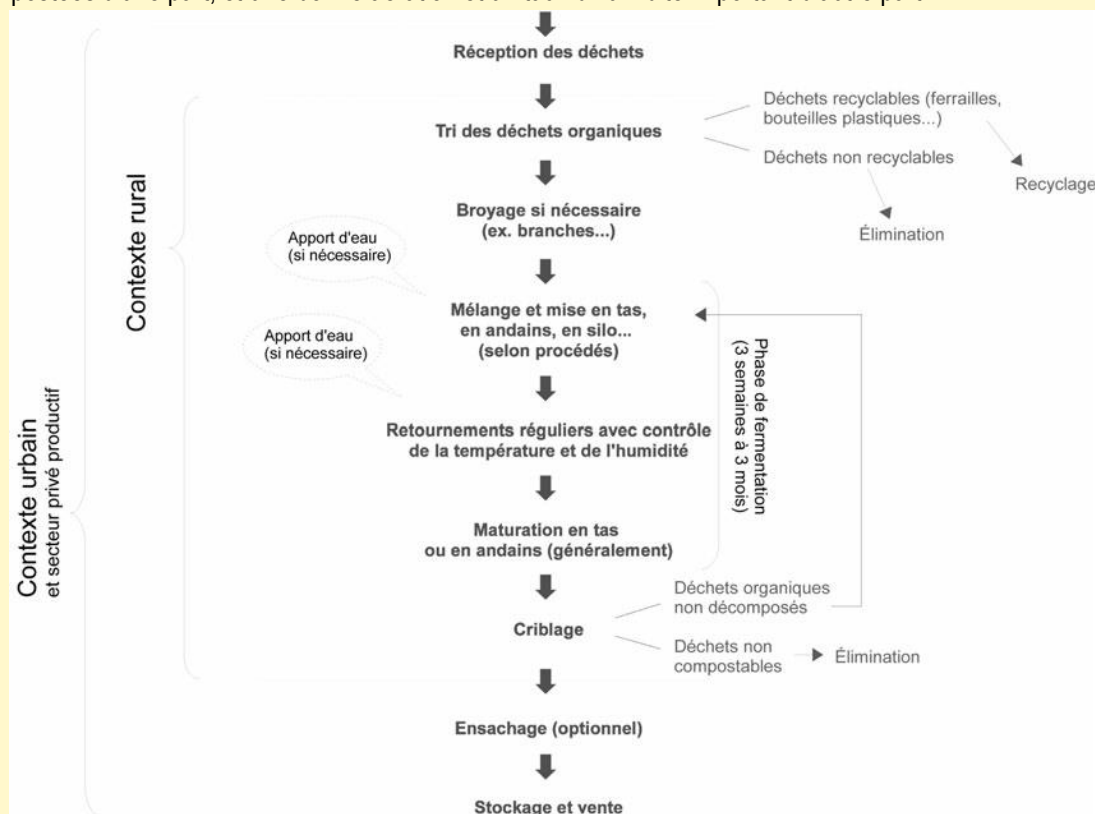


Figure 15 : Processus de fabrication du compost¹⁷

Après avoir rassemblé les matières organiques à composter, le cycle de compostage est de 4 à 5 mois et se traduit par les opérations suivantes :

- Le chargement : le remplissage de la fosse est réalisé par couche entre les différentes matières premières ;

¹⁷ Rapport Approfondissement des études sur la filière mangue et les créneaux porteurs, IDS, Sénégal, juin 2012

- L'arrosage : il est nécessaire de réaliser un arrosage du compost régulier pour maintenir l'humidité favorable aux processus de transformation. En fonction de l'humidité initiale des matières premières le premier arrosage peut intervenir immédiatement ou 2 semaines après le chargement.
- Le retournement : le retournement des tas est réalisé afin de rétablir l'oxygénation favorable aux processus de transformation au fond et au centre des fosses. Au moins un retournement est nécessaire et un deuxième retournement est idéal pour augmenter la qualité du compost et la rapidité des processus de maturation.

Le processus de compostage a une durée variable en fonction des matières à traiter, les conditions ambiantes et la technique utilisée ; de manière indicative, le compost prend entre 90 et 180 jours à être prêt.



Figure 16 : Retournement du compost en fosse

- **Type de déchet accepté**

Les matières premières organiques, telles que les résidus de culture, les déchets animaux, les restes alimentaires, certains déchets urbains et les déchets industriels appropriés, peuvent être appliquées aux sols en tant que fertilisant, une fois le processus de compostage terminé.

Le produit obtenu, le compost, est un amendement organique riche en humus, qui favorise la croissance des plantes, facilite le travail de la terre, et retient l'eau (moins d'arrosage).

Lors d'une étude expérimentale, Nitidæ a testé différents mélanges constitués sur la base d'hypothèses de disponibilité des matières organiques dont la principale était les tourteaux de karité. Ces différents tests ont été fructueux et permettent de faire les propositions de composition des composts suivantes (les pourcentages exprimés ci-dessous correspondent à des pourcentages volumiques et non massiques) :

- Mélange 1 : 50% de tourteaux, 25% de paille et/ou rachis de maïs, 25 % d'effluents de biodigesteurs et/ou de bouse de vache.
- Mélange 2 : 50% de tourteaux, 25% de coque de coton, 25% de déchet de mangue (hors noyaux) ou de pomme d'anacarde.

D'autres structures ont également fabriquées du compost avec mélange d'autres types de déchets :

- Nogho Fi : feuilles de Nebie issues de l'agriculture, paille cultivée sur leur site et excréments de bœufs collectés auprès d'éleveurs de grande capacité de la zone.
- Coopake : déchets de mangue, charbon de coques d'anacarde, pellicules des amandes, paille.
- Gebana : déchets de mangue, feuilles, paille



Figure 17 : Fabrication de compost avec déchets de mangue + paille + feuille
(Gebana, Bobo Dioulasso)

- **Capacité et Rendement**

Le compostage des déchets se réalise dans des fosses de 1 à 1,5 mètre de profondeur environ, ou alors en tas. Ces fosses peuvent être creusées à même le sol ou construites de muret pour faciliter le déchargement et les opérations de retournement. La dimension des fosses/tas est variable selon le besoin mais pour faciliter les opérations de retournement il est préférable de limiter la taille à 15 m² par fosse et de construire plusieurs fosses au besoin, afin de faciliter le retournement.

Le compost est considéré comme prêt lorsqu'il ressemble de plus en plus à du terreau avec sa couleur sombre et qu'il dégage une bonne odeur d'humus. Son volume et son poids est de 40 % celui des matières premières. Un tamisage permet d'éliminer les parties mal décomposées.

- **Produits**

Le compost, aussi appelé fumure organique, est la matière résultante de ce processus maîtrisé de décomposition. Il peut être vendu en vrac ou dans des sacs de 50kg. Par rapport aux déjections animales appliquées souvent directement sur les champs, le compost apporte des résultats de fertilisation à plus long terme. Ceci est dû au rapport C/N plus élevé que les déchets non digérés et déjections. L'utilisation du compost est indiquée pour application de fumure de fond en implantation de parcelle et amendements de cultures pérennes. Cependant il est aussi très recherché pour les cultures à haute valeur ajoutée.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

La composition du compost peut s'adapter en fonction de la culture à amender. De manière générale ce sont les maraîchers, les semenciers et les fruiticulteurs les plus demandeurs de ce produit, bien que les céréaliers aussi voient un grand avantage à appliquer du compost afin de maintenir la fertilité des champs.

Le compost est généralement plus cher et plus lourd à transporter par rapport aux engrais chimiques, ces derniers d'ailleurs subventionnés par l'État. De ce fait, son acquisition n'est pas donnée à tous les producteurs agricoles, et ce sont les cultures à haute valeur ajoutée et concentrées qui peuvent se procurer du compost commercial. Dans la pratique, il existe une perception plus positive des engrais de synthèse (dits *chimiques*) par rapport à cette fumure qui peut être produite localement. La grande majorité des engrais utilisés sont toujours importés (135 000 tonnes d'engrais de synthèse type NK et NPK importés par le Burkina Faso entre 2012 et 2016, contre 500 tonnes d'engrais organique seulement).

Le compost n'est pas, pour autant, un produit exclusif des paysans riches. Généralement, la production de compost est réalisée par des individus en autoconsommation. Les autorités régionales encouragent les producteurs à embrasser ces techniques, car la fertilisation par compostage est à la portée de tous.

Le compost est parfois vendu par les petits producteurs entre 25 et 50 FCFA/kg. Il s'agit de compost non tamisé et souvent contenant des restes de déchets non organiques (plastiques, métaux). Une entreprise produit et vend du compost de haute qualité à Bobo-Dioulasso, Nogho Fi, vendant le sac de 25kg à 5 000 FCFA, soit 200 FCFA/kg et peut aussi donner des formations en compostage de quelques jours à toute personne ou structure désireuse de commencer cette activité. D'autres structures produisent du compost à l'échelle commerciale dans le pays. Les prix de vente sont entre 125 et 250 FCFA/kg.

Le Green cross propose des produits accélérateurs du compostage (activateur Compost Plus) depuis longue date, et a animé le Projet de Fertilisation des sols-Opération "Compost Plus" dans les Hauts-Bassins lors de la campagne 2015-2016¹⁸.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

L'avantage de cette technique est qu'elle nécessite peu d'investissement, que l'expertise de mise en place est faible, et qu'elle n'est pas exigeante en termes de qualification des opérateurs. L'investissement nécessaire sera en fonction du type (en tas ou en fosse) et de la taille des fosses. Le tableau ci-dessous présente des ordres de grandeur d'investissements¹⁹ pour le compost en fosse.

Dimensions (en m ² au sol)	Investissement estimé	Production estimée (volume en m ³)
4 m ²	100 000 à 130 000 FCFA	2,5 à 3 m ³ / cycle de production
10 m ²	270 000 à 340 000 FCFA	7 à 9 m ³ / cycle de production

- **Avantages environnementaux**

La technique du compostage assure un traitement hygiénique des déchets. Elle participe à l'enrichissement en profondeur des sols, car les nutriments contenus dans le compost ne lessivent pas aussi rapidement que ceux apportés par les engrais de synthèse type NPK. Le compostage est compatible avec les cultures tenues en Agriculture Biologique, en plein essor dans la région et qui prône des pratiques respectueuses des sols et l'environnement.

- **Avantages socio-économiques**

Le compostage permet un traitement des déchets pour produire un amendement organique qui a une valeur agricole de fertilisant naturel et d'amélioration de la structure des sols. Cette option technique offre la possibilité de traiter des volumes importants de déchets avec des investissements faibles et de valoriser les déchets issus des unités de production agroalimentaire et des ménages. L'application du compost n'est pas requise avec autant de fréquence par rapport à ses concurrents de synthèse et autres déchets sans traitement.

L'avantage du compostage par rapport à l'épandage direct est que la composition du produit est plus complète (rapport C/N équilibré), maîtrisée (contrôle du processus et des matières entrant à la transformation) et hygiénisée (le compost ne présente pas de risques sanitaires).

L'analyse des pratiques actuelles de l'amendement des sols et de leurs coûts par rapport à celle de l'utilisation de compost, soit seul, soit en mélange, permettrait de convaincre les utilisateurs de sa pertinence, tout autant que la comparaison de ses performances culturales.

La contrainte la plus importante est de vendre le produit à son juste prix et pour cela, engager des contacts préalables avec les utilisateurs et connaître leurs attentes.

¹⁸ Source : Campagne agricole 2015-2016 dans les Hauts-Bassins : Le top de départ a été donné à Lollo, Lefaso.net. Url : <https://lefaso.net/spip.php?article65286>

¹⁹ Source : Package technologique pour réduction de l'impact environnemental des procédés non industriels de fabrication de beurre de karité au Burkina Faso, RONGEAD 2014.

3.2. Valorisation énergétique

3.2.1. Combustion

Combustion dans l'industrie

- **Description technologie/procédé**

Geste quotidien et remontant aux origines de l'humanité, le feu est utilisé pour subvenir aux besoins de chaleur de l'être humain depuis des temps immémoriaux. Actuellement, la combustion est nécessaire non seulement au niveau des ménages mais aussi pour les activités productives des industries, un bon nombre d'activités industrielles bien implantées dans les Hauts-Bassins nécessitant une source combustible pour fonctionner. Les plus importantes sont l'extraction d'huile de coton, le séchage de fruits, la transformation de l'anacarde, la fabrication de boissons, de beurre de karité et la boulangerie/pâtisserie.

La combustion est une transformation thermochimique de la matière carbonée. Lorsque la matière réagit à haute température avec l'oxygène de l'air, il se forme de l'énergie sous forme de chaleur intense et lumière : c'est la flamme.

Les technologies utilisées pour brûler les déchets sont très diverses. En fonction de l'utilisation finale de la chaleur (chauffage de l'eau en chaudière, chauffage de l'air...), les deux principaux équipements sont la chaudière et le four. Dans les deux cas, le combustible est brûlé dans un foyer, qui est une chambre spécialement conçue pour héberger le combustible et en même temps assurer un maximum de transfert de la chaleur de la flamme vers la matière à chauffer. Les chaudières chauffent de l'eau afin de générer de l'eau chaude ou de la vapeur à une pression déterminée, qui sera ensuite le fluide caloporteur pour utilisation dans l'usine. Les fours chauffent généralement de l'air, qui est ensuite mis en contact avec le produit à chauffer.

La configuration de ces équipements, et notamment de leur foyer, dépend de la nature du combustible. Dans certains cas, il est possible d'utiliser le même équipement pour brûler plusieurs types de combustibles différents, ou de réaliser une légère modification pour adapter l'équipement au nouveau combustible. Par exemple, lorsque le bois est substitué par les coques d'anacarde, une modification de la grille du foyer doit être réalisée. En revanche, parfois il est nécessaire de disposer d'un équipement spécifique afin de pouvoir valoriser un certain type de déchet ; tel est le cas des déchets poudreux comme le tourteau de karité, qu'il est nécessaire d'alimenter en continu, ou alors de le compacter afin de pouvoir l'alimenter par lots.

La combustion peut être également utilisée comme méthode pour traiter des déchets, sans les valoriser. Dans ce cas, il s'agit d'une incinération sans récupération de chaleur. Des équipements spécifiques à cela sont utilisés par exemple dans les centres de santé afin d'éliminer hygiéniquement les déchets d'activités de santé à risque infectieux (DASRI).

- **Type de déchet accepté**

Les combustibles utilisés varient en fonction de la nature de la chaleur à communiquer au processus, de la disponibilité et du prix de ces combustibles, mais aussi de l'échelle. En termes généraux, les activités à petite échelle se servent de combustibles solides et lorsque l'échelle devient grande, les combustibles liquides sont préférés.

Les biodéchets pouvant être utilisés comme combustible sont toute matière à haut contenu en carbone et avec un taux d'humidité bas. La liste des potentiels déchets combustibles dans les Hauts-Bassins est longue, mais il sera signalé notamment les matières ligneuses comme les tiges et résidus de bois, les coques de graines (noix d'anacarde, karité, coton, mangue, arachide...) et les tourteaux de pressage non comestibles (tourteau de karité, de coques de noix de cajou).

Les déchets ménagers peuvent être incinérés et l'énergie dégagée utilisée dans un processus industriel, à condition que la composition de ces déchets soit adéquate (manipulabilité, humidité, absence de matières dangereuses et de métaux). À cette fin, le tri et le conditionnement préalable des déchets est essentiel. Également, lorsque la fraction inorganique est aussi un combustible (déchets plastiques notamment), les conditions de combustion et des gaz d'échappement doivent être contrôlées afin d'éviter la formation de dioxines, composés dangereux pour la santé car cancérogènes.

- **Capacité**

L'échelle d'équipements de combustion est très large. Les plus petits fours et chaudières utilisés dans la région consomment environ 4 kg de combustible par heure, les plus grands vont jusqu'à 2 tonnes/heure (chaudière SN Citec).

- **Produits**

Le produit d'intérêt est la chaleur. Comme résultat de la combustion, des gaz chauds parfois chargés en particules se dégagent. La petite fraction de matière non combustible constitue les cendres, qui sont elles-mêmes valorisables dans certains cas.

- **Rendement**

Le rendement de combustion est mesuré comme la chaleur communiquée au fluide caloporteur (eau, air, etc.) par rapport à l'énergie totale dégagée lors de la combustion complète. Les rendements peuvent varier largement en fonction de la technologie, allant de 20% pour les chaudières de fabrication locale sans calorifugeage, jusqu'à 80% pour les chaudières de plus grande taille, calorifugées et à alimentation automatique.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Dans la région, un bon nombre d'industries utilisent toujours le bois comme combustible. En substitution du bois, certaines industries adoptent la combustion de leurs propres déchets. Tel est le cas des unités de transformation d'anacarde ou de beurre de karité. Dans la région, les principaux acteurs brûlant des biodéchets avec récupération de chaleur :

- IOF et Olvea à Bobo-Dioulasso, qui utilisent le tourteau après pressage des amandes de karité comme combustible dans leurs chaudières.
- La plupart des usines d'anacarde brûle une partie des coques générées par elles-mêmes. Quelques exceptions sont les unités implantées en milieu résidentiel, qui doivent utiliser du bois afin d'éviter les nuisances des fumées âcres si caractéristiques des coques ; et les unités équipées d'un four à pyrolyse (c'est le cas de Gebana Afrique, l'Union YANTA, etc) (voir section *Four à pyrolyse H2CP p.37*).
- Une petite partie des industries a adopté les coques d'anacarde, très abondantes aux alentours de Bobo-Dioulasso et Orodara, comme combustible pour leur chaudière. Tel est le cas de Timini (séchage de fruits) ou de plusieurs unités de production d'huile et de tourteau de coton
- La SN Citéc brûle les coques de la graine de coton (voir section *Cogénération p.34*).

Une partie des industriels utilisent des combustibles liquides (DDO, fioul lourd, huile de vidange). La combustion de CNSL (huile de coques de cajou), qui serait un substitut de ces combustibles, est en expérimentation en ce moment à Bobo-Dioulasso.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Le montant de l'investissement dépend du coût d'adaptation de l'équipement au combustible déchet envisagé. Ces coûts peuvent être nuls, ou représenter seulement une petite partie du coût d'acquisition de l'équipement de combustion. Il peut être nécessaire d'installer un équipement complètement adapté au déchet. À titre d'exemple, une chaudière de capacité 2 tonnes/h fonctionnant avec des combustibles poudreux coûte entre 30 000 000 et 50 000 000 FCFA ; et un brûleur adapté à la combustion de CNSL coûte entre 2 000 000 F et 10 000 000 F.

- **Avantages environnementaux**

L'avantage principal pour les unités qui génèrent ces déchets est de valoriser leur déchet au lieu de devoir l'emmener en décharge, voire de l'abandonner dans la nature, où il entraîne des risques d'incendies, provoque la dégradation des sols, etc. Également, la substitution du bois par un combustible déchet solide agit directement en diminution de la pression sur la ressource arborée naturelle, qui peut se traduire en réduction de la déforestation.

- **Avantages socio-économiques**

La raison principale pour choisir un déchet comme combustible est l'économie engrangée par la substitution d'un combustible conventionnel, plus cher. Dans les Hauts-Bassins actuellement, les producteurs de déchets donnent leurs déchets gratuitement ou les vendent jusqu'à 12 000 FCFA par tonne. L'avantage pour eux est d'éviter les coûts de gestion ou élimination du déchet en question, et d'avoir plus de valeur ajoutée par unité de matière première.

Cogénération

- **Description technologie/procédé**

La cogénération se définit comme la production simultanée de chaleur et électricité dans un même système. Il s'agit d'ajouter un système de récupération de la chaleur résiduelle au cycle classique de génération d'électricité, qui présente à l'origine des rendements assez faibles (entre 15% et 20% de rendement électrique). Récupérer la chaleur rend le système globalement plus performant. Cette chaleur trouve des utilisations généralement dans l'industrie.

Pour produire l'électricité à partir de déchets organiques, le système le plus étendu est celui de la chaudière avec turbine de vapeur. L'installation se compose d'une chaudière, où la biomasse est brûlée complètement pour générer de la vapeur à haute pression. La vapeur est détendue ensuite dans la turbine, qui actionne un générateur électrique. La vapeur à basse pression en sortie de turbine se condense dans un système de récupération de chaleur, et repart dans la chaudière à nouveau.

- **Type de déchet accepté**

Le type de système de traitement thermique du déchet détermine les caractéristiques du déchet valorisable. En général, le déchet doit être solide et avec un taux d'humidité minimum. Le contenu en cendre élevé (matière minérale) peut poser problèmes pour la valorisation. Les déchets fibreux et ligneux sont ainsi les plus utilisés en cogénération.

- **Capacité**

Les dispositifs de cogénération chiffrent leurs capacités en fonction de la puissance électrique nominale délivrée. Celle-ci peut aller d'un minimum de 1 MW_e jusqu'à plusieurs centaines de MW_e. Bien que des modèles à partir de 500 kW_e peuvent être retrouvés sur le marché, souvent l'investissement ne se trouve pas justifié à ces échelles de puissance. En effet, le coût de ces équipements est assez élevé, ce qui rend le coût unitaire du kWh électrique généré pas concurrentiel par rapport à d'autres alternatives de production d'électricité.

Quant aux installations dans la frange haute de la fourchette, les centrales à biomasse résiduelle ne dépassent souvent pas les 20 MW, du fait des difficultés à disposer de grands gisements de déchets dans les environs.

- **Produits**

Les principaux produits sont l'électricité et la chaleur. Souvent, les utilisateurs de l'énergie produite se trouvent proches voire dans le même site que l'installation de cogénération.

Le processus produit également un résidu solide (les cendres, environ 1 à 3% de la matière en entrée) dont la composition dépend de la matière combustible en entrée. Ces cendres trouvent un marché auprès des exploitants agricoles, dans la construction routière et le dosage des ciments.

- **Rendement**

Les rendements électriques dudit système sont modérés (autour de 15% pour de petits systèmes ; le rendement est de 17% pour le système de la SNCitec). D'autre part, le taux de récupération de chaleur varie entre 33% et 80%. Le rendement global est la somme des deux contributions (électricité et chaleur). Ainsi, les schémas de cogénération sont spécialement intéressants lorsque la chaleur couvre les besoins d'un gros consommateur demandant de chaleur. Ceci peut être un processus industriel ou un réseau de chauffage urbain.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Dans les Hauts-Bassins, la seule cogénération en fonctionnement est celle de la SNCitec (chaudière et turboalternateur de 2,3 MW_e de capacité installée pour 1,16 MW_e généré en moyenne). Aucune difficulté majeure n'a été rapportée par cette structure concernant l'opération et maintenance de cette installation.

D'autres unités industrielles s'intéressent à valoriser leurs déchets afin de générer leur propre électricité (grandes usines d'anacarde et de transformation de karité).

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Les coûts de capital très élevés sont le principal frein à la généralisation de cette technologie : l'investissement varie entre 2 000 et 5 000 € par kW_e installé (1 300 000 et 3 280 000 F). À cela s'ajoute un calendrier de montage du projet et d'exécution qui peut se prolonger pendant plusieurs années, dû aux contraintes administratives pour aboutir à une installation dans les normes et obtenir les autorisations de productions d'électricité dans un marché construit autour d'un producteur national.

Le personnel chargé de l'opération de l'unité doit avoir un minimum de connaissances techniques et électriques. Un minimum de 2 personnes doit être disponible sur place à tout moment, sans compter le personnel éventuellement nécessaire pour la manutention et le conditionnement du combustible.

- **Avantages environnementaux**

La génération d'énergie utile à partir de déchets organiques est par défaut 100% renouvelable. Dans le cas de l'incinération de déchets ménagers avec récupération d'énergie, le fait qu'une fraction importante ne soit pas d'origine naturelle, il est d'usage de considérer que seulement 50% de l'énergie est renouvelable (ainsi l'établit la réglementation européenne²⁰).

- **Avantages socio-économiques**

La production d'électricité de sources propres permet à son utilisateur de diminuer les coûts d'accès à l'énergie. En effet, le coût du kW_e produit à la SNCitec est de moins de 20 F, alors que celui fourni par la SONABEL est de 114 F. Le temps de retour sur investissement se situe généralement entre 4 et 10 ans.

Une opération maîtrisée du système est essentielle pour profiter des bénéfices, en gardant le facteur de disponibilité élevé (fonctionnement de >5000 h/an), en maximisant la valeur ajoutée donnée à la chaleur, et en assurant une disponibilité élevée de la matière première avec la qualité requise.

En sus des avantages purement économiques, la génération autonome d'électricité assure la disponibilité d'électricité en indépendance du réseau national, ce qui augmente la productivité des usines. Dans certains cas, les usines arrivent à être 100% autonomes en énergie grâce à la valorisation de leurs déchets. Tel pourra être le cas pour les unités de transformation de l'anacarde, qui génèrent de grandes quantités de déchet (coques) à haut contenu énergétique. En cas de surplus d'électricité, elle peut être délivrée à un réseau captif d'utilisateurs ou bien injectée sur le réseau national. À la date d'aujourd'hui, la seule installation de cogénération à revendre son électricité à la SONABEL est celle de Fasobiogaz à Ouagadougou (voir section 3.2.3 *Biogaz* p.44). Un projet de cogénération à petite échelle fonctionnant avec des déchets de récolte avait vu le jour à Pô, mais il est en arrêt après quelques mois d'opération²¹.

Finalement, la génération avec des sources renouvelables jouit d'une très bonne image vis-à-vis du public, ce qui contribue à reverdir l'image des centres générateurs de déchets.

²⁰ Source : <http://www.enr.fr/valorisation-energetique-des-dechets>

²¹ Source : <http://www.slateafrique.com/616907/burkina-hopital-po-on-opere-a-la-coque-darachide>

Combustion dans foyers à balle de riz

Le développement de la filière riz au Burkina Faso entraîne la production de déchets que sont la balle de riz. Autrefois considéré comme un déchet sans utilité, la balle est aujourd'hui valorisée de diverses façons dont une en particulier : la valorisation combustible.

- **Description technologie/procédé**

La technologie des foyers à balle de riz a été mise en place pour la valorisation de la balle de riz. Le foyer est constitué d'un ensemble de tôles soudées et est conçu pour plusieurs tailles de marmite.



Figure 18 : Foyers à balle de riz

La balle de riz est mise dans le foyer puis la flamme est allumée à travers les trous du foyer. Au fur et à mesure du fonctionnement lorsque la flamme baisse, il faut avec la barre de fer associée, remuer à travers les trous du foyer pour que la cendre tombe afin d'être remplacée par le combustible.

- **Type de déchet accepté**

En plus de la balle de riz, la technologie rend également possible la combustion de copeaux, de sciure de bois ou de tout autre combustible poudreux.

- **Capacité/Rendement**

Pour étuver un sac de riz Paddy de 75kg soit l'équivalent de 3h d'ébullition de l'eau, il faut 18kg de bois ou 21,5 kg de balle de riz²².

- **Produits**

La combustion de la balle de riz dans le foyer fournit une énergie thermique (de la chaleur) qui sera utilisée pour la cuisson. A la fin de la combustion la cendre est récupérée pour épandage dans les champs.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Le foyer est utilisé en cuisine pour la cuisson et par les centres d'étuvage de riz pour mettre en vapeur le riz étuvé. Ils sont fabriqués à Bama dans une zone de production de riz mais se sont exportés dans les villes voisines pour être utilisés en cuisine avec les copeaux et la sciure de bois où la balle de riz est absente.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Les prix varient selon la taille du foyer et sont compris entre 25 000 et 60 000 FCFA l'unité. Il est important que le foyer soit soumis à une maintenance régulière pour optimiser sa durée de vie.

Ces foyers sont efficaces mais une personne devra rester à proximité afin de régulièrement réalimenter le foyer.

- **Avantages environnementaux**

L'utilisation des foyers préserve l'environnement de la déforestation (le bois de chauffe constituant près de 90% de l'énergie consommée pour la cuisson au Burkina Faso).

- **Avantages socio-économiques**

L'utilisation des foyers permet de réaliser des économies sur le prix du bois. Une femme étuveuse de riz dépense 1000FCFA de bois par sac de riz (contre 100 FCFA de balle de riz à la revente) et étuve en général 6 sacs par semaine soit 5400 FCFA de dépensés dans l'achat de bois par semaine²³.



Figure 19 : Foyer à balle de riz en fonctionnement

²² Source : <http://climatdeveloppement.org/wp-content/uploads/2015/04/Presentation-Projet-Balle-de-Riz-Niger.pdf>

²³ Source : <http://climatdeveloppement.org/wp-content/uploads/2015/04/Presentation-Projet-Balle-de-Riz-Niger.pdf>

3.2.2. Pyrolyse et carbonisation

Four à pyrolyse H2CP

- **Description technologie/procédé**

La technologie a été développée en 2012 dans le cadre du projet CAJOUVALOR mis en œuvre par Nitidae de 2011 à 2013, financé par la région Rhône Alpes, et dont l'objectif était l'optimisation des performances environnementales et économiques des unités de transformation d'anacarde dans la région des Hauts-Bassins au Burkina Faso. L'idée est de valoriser énergétiquement le déchet principal de ces unités que constituent les coques d'anacardes. Cette technologie transforme les coques en charbon utilisable pour diverses applications tout en produisant de l'énergie grâce à la combustion des autres produits de la pyrolyse : les gaz condensables et incondensables.

L'intérêt de la technologie pour les unités de transformation d'anacarde réside dans le fait qu'elle est simple à exploiter, faite de matériaux locaux et viable sur le plan économique.



Figure 20 : Composantes en images d'un pyrolyseur et matériel complémentaire à la COOPAKE à Orodara, une unité de transformation de cajou.

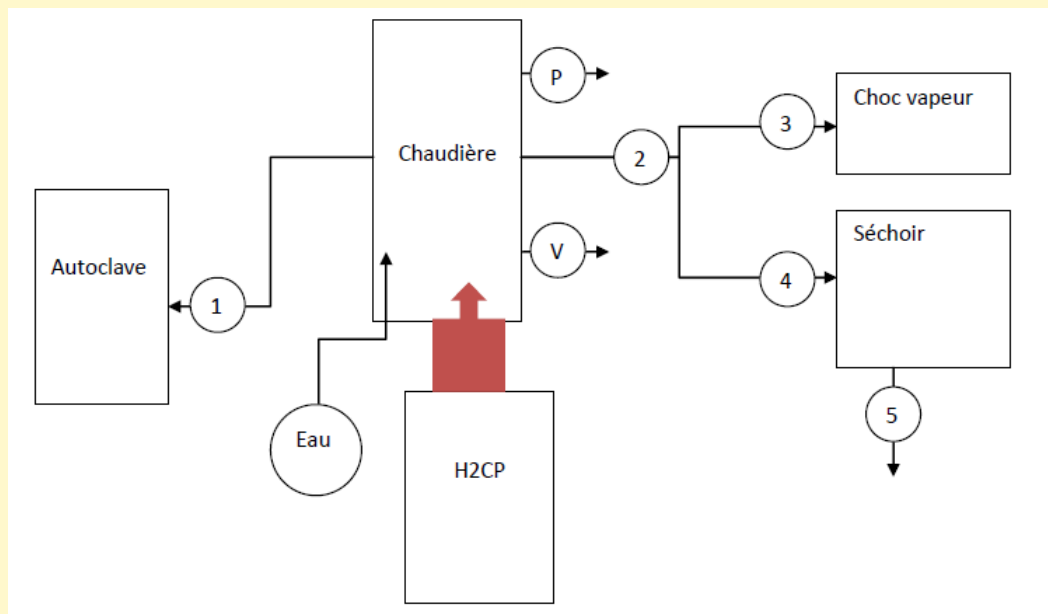


Figure 21 : Schéma d'un pyrolyseur H2CP et matériel complémentaire pour une unité de transformation de cajou.

- **Type de déchet accepté**

Le four à pyrolyse a été conçu principalement pour traiter les déchets (coques) issus de la transformation de noix de cajou. Actuellement, le four est aussi utilisé pour traiter les déchets solides (tourteaux) issus de transformation de noix de karité mais peut aussi être adapté au traitement de tous les déchets ligneux. Dans le cas du tourteau de karité, le four est utilisé comme foyer, car dans le four il y a une combustion directe.

- **Capacité et Rendement**

Actuellement ce four permet de traiter jusqu'à environ une tonne de coques en 10 heures de fonctionnement, pour produire de la chaleur pour la chaudière et produire environ 150 kg de charbon de coques d'anacarde, soit un rendement de carbonisation de 15%. La capacité de traitement des déchets varie en fonction de la taille du four.

L'énergie transmise à la chaudière par le four est l'énergie de combustion des gaz de pyrolyse (gaz condensables et incondensables).

- **Produits**

Les produits issus de la valorisation des déchets avec cette technologie dépendent du traitement (pyrolyse ou combustion) fait des déchets dans le four :

- Si on fait la pyrolyse des déchets dans le four, on obtient les gaz de pyrolyse qui subissent une combustion pour alimenter une chaudière en chaleur afin de produire de la vapeur ou pour autre utilisation et un résidu carboné qui est le charbon.
- Si on fait la combustion des déchets dans le four, on obtient de la chaleur pour alimenter une chaudière pour produire de la vapeur ou pour une autre utilisation et de la cendre.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Avec les résultats obtenus dans les unités de la transformation de cajou, la technologie est utilisée aujourd'hui dans plusieurs industries agroalimentaires pour la valorisation énergétique de leurs propres déchets ou des déchets issus d'autres industries. Parmi elles, on peut citer :

- Les industries de la transformation de l'anacarde : valorisation des coques pour remplacer le bois pour chauffer la chaudière et pour remplacer le gaz butane dans les séchoirs par la vapeur produite par la chaudière ;
- Les industries de la transformation de karité : valorisation des tourteaux secs pour remplacer l'énergie du bois par la vapeur produite par la chaudière ;
- Les industries de la transformation de la mangue : valorisation des coques d'anacarde pour remplacer le gaz butane dans les séchoirs, par la vapeur/eau chaude produite par la chaudière ;
- Les huileries de coton (raffineries) : valorisation des coques d'anacarde pour remplacer l'énergie du bois dans les chaudières par celle des coques, afin de produire la vapeur en chaudière ;

Le fait que la technologie soit simple à exploiter, faite de matériaux locaux et son utilisation adaptée au contexte du développement durable et des enjeux économiques locaux lui vaut un intérêt grandissant. La technologie est déjà diffusée dans plusieurs unités agroalimentaires au Burkina Faso, dans des unités de transformation de cajou au Bénin, au Mali et en Côte d'Ivoire (Cf. Annexe 5 Synthèse des pyrolyseurs H2CP installés p.66).

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Les besoins en investissement et en main d'œuvre varient en fonction des besoins des unités. Mais le coût d'acquisition (conception, fabrication, installation et formation) d'un four à pyrolyse varie en fonction de sa taille et est compris entre 2 500 000 FCFA à 4 000 000 FCFA. Il ne requiert pas de personnel supplémentaire que les 2 personnes déjà chargées du fonctionnement de la chaudière auquel le four est couplé.

- **Avantages environnementaux et socio-économiques**

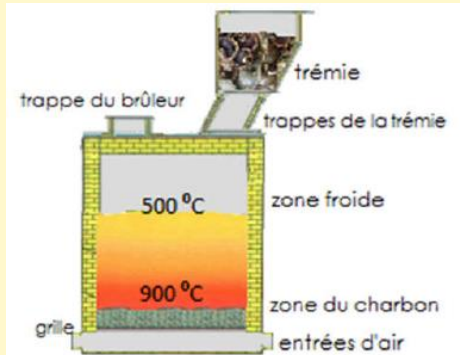


Figure 22 : Schéma d'un pyrolyseur

Les enjeux du développement de cette technologie sont multiples. Le premier intérêt est de traiter un déchet solide.

L'énergie calorifique récupérée par la postcombustion du four à pyrolyse viendrait en substitution de l'énergie produite par la combustion du bois non renouvelé. Le gain local est le renfort de la lutte contre la déforestation ainsi que l'augmentation de la performance économique des unités de transformation, le gain global est celui de la lutte contre le réchauffement climatique.

Enfin, la transformation des coques huileuses ou d'autres déchets solides en charbon permettrait de créer un revenu supplémentaire à l'unité et de venir en substitution du charbon de bois dans les foyers des cuisinières.

La fiche technique du pyrolyseur se trouve dans l'Annexe 4 p.65.

Gazogène à balle de riz

Deux gazogènes ont été installés par la SNV à Bama dans le projet Gazoriz²⁴, les deux fonctionnant avec la balle de riz. Le premier (36kW_{th}, Figure 23) devant fonctionner en appoint du système de chauffage solaire pour alimenter les étuveuses de riz. Le deuxième (22kW_e, Figure 24) est conçu pour faire fonctionner la décortiqueuse de riz. Les deux ont été mis en arrêt par la complexité des opérations et de la maintenance à réaliser.



Figure 23 : Gazogène à bale de riz, Bama



Figure 24 : Gazéificateur Infinite PG-60 avec son système de traitement de syngas, Bama

- **Description technologie/procédé**

La gazéification est un processus de transformation thermochimique en présence partielle d'oxygène produisant un gaz combustible appelé gaz de synthèse ou syngaz. Le syngaz présente de multiples possibilités de valorisation intéressantes.

L'opération de gazéification peut être scindée en 3 phases : le séchage pour évaporer l'humidité résiduelle de la biomasse ; la pyrolyse au cours de laquelle la biomasse est chauffée à des températures entre 300 et 500°C en absence d'oxygène et la gazéification en elle-même où les produits de pyrolyse vont réagir avec l'agent oxydant pour donner le syngaz.

- **Type de déchet accepté**

La technologie a été pensée pour la valorisation des résidus agricoles qui peuvent être la balle de riz, les coques d'arachide, les coques de karité ou encore les tiges de cotonnier.

- **Capacité/Rendement**

Le rendement énergétique de la gazéification est compris entre 67 et 75%. Le syngaz produit a un pouvoir calorifique généralement compris entre 4,3 et 5,7 MJ/litre.

- **Produits**

²⁴ Source : <https://snv.org/project/gazoriz-rice-husk-gasification-improved-rice-transformation-process>

Le syngaz est le produit de la gazéification. Il peut être converti en électricité via des moteurs à combustion interne et/ou chaleur via des brûleurs à syngas.

Des cendres sont récupérées à la fin du processus pour épandage dans les champs.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Le centre de Bama dispose d'un modèle qui est de fabrication locale alimenté par la balle de riz. Il produit un gaz qui sert à alimenter deux chaudières pour la production de vapeur. La vapeur produite par les chaudières alimente des cuiseurs pour mettre en vapeur le riz.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Le modèle installé au centre de Bama a nécessité un investissement de 5 millions de FCFA. Cette technologie nécessite la mise en place d'un système de gestion et un suivi de maintenance régulier pour optimiser et la durée de vie et le fonctionnement du gazogène

- **Avantages environnementaux/Avantages socio-économiques**

L'utilisation de cette technologie permet aux femmes de travailler loin des flammes et de la fumée tout en préservant l'environnement en plus de booster le rendement de production.

Petits carbonisateurs

- **Description technologie/procédé**

Le charbon est le produit solide de la pyrolyse d'une matière première. Il est en effet le « résidu » carboné restant de la décomposition à haute température de la matière. La pyrolyse est en effet un processus de dégradation très similaire à la combustion, la principale différence étant l'apport en oxygène (voir *section Four à pyrolyse H2CP p.37*). Le manque de ventilation limite la montée en température de la réaction carbone + oxygène, et évite la dégradation complète de la matière. En revanche, les matières les plus légères (« volatiles ») sont libérées. Le restant est une matière riche en carbone dit « fixe ».

La carbonisation de déchets de coques d'anacarde peut être réalisée à petite échelle et en maximisant le rendement en charbon, au moyen de fours spécifiques. La technologie diffusée récemment consiste à un four complètement métallique fourni d'une grille pour récupération du CNSL des coques, et d'une cheminée dirigeant les fumées de la carbonisation hors de la portée de l'opérateur. Le CNSL et même les fumées de pyrolyse sont utilisées au sein du réacteur pour maintenir à haute température le lit de coques pendant que le processus de carbonisation a lieu.

Cette technologie a été développée de manière conjointe entre Away4Africa BV et Fúnteni Installations et Conseil, dans le cadre du projet Switch Africa Green (2017-2018).

D'autres matières de rejet peuvent être transformées en charbon. Au Burkina, on recense d'autres expériences sur la carbonisation de tiges de coton, coques d'arachide et autres déchets verts mélangés. L'ONG SOS Énergie (Ouagadougou) et Projets Solidaires – IDE entre autres, ont pendant longtemps accompagné des groupements féminins à la mise en place de chaînes de production de ces combustibles alternatifs, avec plus ou moins de réussite.



Figure 25. Manipulation des fours de carbonisation

- **Type de déchet accepté**

Ces fours ont été conçus spécifiquement pour traiter les coques d'anacarde, qui sont particulièrement difficiles à carboniser. Il est inspiré d'autres modèles de carbonisateurs plus simples, aussi réalisés en métal et largement diffusés par ailleurs, mais qui sont conçus pour carboniser le bois.

- **Capacité**

Les carbonisateurs de ce type acceptent environ 30 kg de coques dans la barrique de carbonisation. Autour de celle-ci, 23kg supplémentaires de coques ou autres déchets (feuilles, branchages, etc.) doivent être alimentés pour amorcer la réaction. Étant donné que chaque lot prend entre 8 et 10 heures, 2 carbonisations peuvent être lancées chaque jour. Le carbonisateur permet de traiter donc environ 100kg de coques par jour.

- **Rendement**

Le rendement est de 18% pour les coques dans la barrique de carbonisation. La matière entourant cette barrique est entièrement brûlée. Le rendement global est donc de 10%.

- **Produits**

Le principal produit du processus est le charbon de coques. Celui-ci peut ensuite être compressé en briquettes (voir section *Presses à briquettes p.43*). Par ailleurs, le carbonisateur peut être configuré pour récupérer une partie du CNSL qui coule des coques.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

À l'heure actuelle, ces réacteurs ont été commercialisés dans la région des cascades à Banfora (3 carbonisateurs) et en Côte d'Ivoire (1 carbonisateur). Actuellement, l'entreprise Fúnteni et Nitidae travaillent à améliorer la conception de cet équipement, afin de le rendre plus performant et durable, et participe activement au labour de diffusion auprès des gestionnaires de coques d'anacarde. L'entreprise de gestion de déchets Sya Kini, installée à Bobo Dioulasso, est aussi en train de développer un carbonisateur de plus grande capacité actuellement et en est à la phase de tests.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

L'unité coûte 200 000 FCFA. Des batteries de 10 réacteurs minimum sont recommandées afin que le modèle d'exploitation soit rentable.

Le réacteur ne demande pas une main d'œuvre constante, mais surtout lors de la charge et décharge du réacteur et pour la supervision du processus. La taille réduite du carbonisateur permet à une seule personne de réaliser la charge, décharge et nettoyage des réacteurs en autonomie. L'ensemble des réacteurs peut être géré par une seule personne, mais pour 10 réacteurs il est souhaitable d'ajouter une deuxième à l'équipe. Aussi, afin de réaliser deux lots de charbon par jour, il faut doubler l'effectif.

Les opérateurs en poste peuvent employer le temps libre à la fabrication des briquettes de charbon (voir section *Presses à briquettes p.43*)

- **Avantages environnementaux**

L'essor d'une filière charbon de coques d'anacarde est intéressant à plusieurs niveaux : d'abord, il s'agit d'un charbon 100% renouvelable, à différence du charbon de bois, qui très souvent provient de la coupe abusive du massif forestier. Deuxièmement, cette valorisation des coques suppose l'élimination d'un déchet problématique pour les unités de transformation d'anacarde.

- **Avantages socio-économiques**

Le charbon de coques d'anacarde peut être commercialisé. Des exemples de ventes locales ont été témoignés à Bobo-Dioulasso, à 25 F la boîte de tomate. Si le charbon est compacté en briquettes, il peut être vendu par sac ou par kg. Les études de marché indiquent que le sac de 40kg de charbon (conditionné dans les « sacs de 100kg ») pourrait être vendu au même prix que le charbon de bois (entre 3500 et 5000 F/sac).

La production de charbon de coques se présente comme une opportunité en milieu rural. En effet, les coopératives de producteurs d'anacarde livrant aux usines pourraient recevoir en retour les coques d'anacarde vides, et réaliser elles-mêmes la carbonisation et briquetage pour vendre ensuite en ville.

Voir aussi *Annexe 6 : Fiche technique du « petit réacteur charbon » p.67*

Presses à briquettes

- **Description technologie/procédé**

Dans le cadre des projets CAJOUVALOR (2011-2013) et de KARITANE (2013-2015), Nitidae a développé deux types de presses : manuelle cric hydraulique et à vis motorisée. Ces presses à briquettes permettent de compacter le tourteau poudreux obtenu après séchage du tourteau pâteux et le charbon de coques issu de la pyrolyse des coques d'anacarde pour obtenir un combustible efficace et simple d'utilisation.



Figure 26 : A gauche : presse manuelle à cric hydraulique. A droite : presse à vis motorisée

- **Type de déchet accepté**

Ces presses à briquettes peuvent compacter les tourteaux de karité et le charbon de coques de cajou. Les enjeux de développement de la presse à vis motorisée sont principalement l'augmentation du rendement de production de briquettes et de rendre plus simple le process pour une exploitation plus facile.

- **Capacité, Rendement et Produits**

La presse manuelle à cric hydraulique a une capacité maximale de 160 kg de briquettes par jour, soit un rendement 20 kg/heure.

La presse à vis motorisée a une capacité de 1600 kg de briquettes par jour, soit un rendement 200 kg/heure.

Les produits issus des deux presses sont les briquettes de tourteau de karité et celles de charbon de coques de cajou qui sont utilisées dans les foyers améliorés pour la cuisson de beurre dans les torrificateurs d'amandes de karité et dans les foyers domestiques.

- **Adoption/diffusion de la technologie**

Actuellement, la presse à vis motorisée est principalement diffusée dans les unités de transformation artisanales et semi-industrielle de karité au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Ghana. (Cf Annexe 8 p.71).

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Les besoins en investissement et en main d'œuvre varient en fonction de la qualité de la tôle utilisée. Le coût d'acquisition (conception, fabrication, installation et formation) d'une presse à vis motorisée est compris entre 1 000 000 FCFA et 1 500 000 FCFA et celui de la presse manuelle à cric hydraulique est de 300 000 FCFA et requière deux personnes pour leurs exploitations. Pour la production de briquettes à grande échelle, d'autres matériels complémentaires sont nécessaires : (i) un mélangeur pour faire le mélange de la matière première (tourteau ou poussier de charbon de coques) et l'eau ; (ii) une broyeuse dans le cas des briquettes de charbon de coques.

- **Avantages environnementaux et socio-économiques**

Les presses sont utilisées dans les unités de karité pour produire des briquettes qui remplacent le bois de chauffe dans les torrificateurs ou les foyers améliorés de type karité ou alors sont commercialisées.

La transformation de ces déchets solides en briquettes permet de créer un revenu supplémentaire aux unités de transformation et de production de briquettes et de venir en substitution du charbon de bois dans les foyers des cuisinières.

La fiche technique de la presse à vis motorisée se trouve dans l'Annexe 7 p.70.

3. 2. 3. Biogaz

Biodigesteurs

- **Description technologie/procédé**

Le biogaz est un gaz combustible produit par la décomposition bactérienne de matière organique en conditions anaérobies (sans oxygène). Il est composé de méthane et dioxyde de carbone majoritairement, avec d'autres gaz comme la vapeur d'eau et le sulfure d'hydrogène.

Le système comprend principalement un digesteur où les réactions de conversion ont lieu ; un équipement de conditionnement des gaz afin de les adapter à l'utilisation en aval ; un dispositif de valorisation du gaz (brûleur, moteur, etc) et les installations nécessaires pour traiter et stocker le digestat.

Il existe une très grande variété de technologies de production de biogaz dans le marché, conçues pour s'adapter à un type et une quantité de déchet spécifique. Dans la région des Hauts-Bassins uniquement les modèles les plus rustiques ont été diffusés :

Le biodigester à dôme fixe enterré, fait en brique, (Figure 27 Figure 27 : Schéma d'implantation d'un biodigester à dôme fixe et photo de l'installation de Gebana Afrique (Bobo-Dioulasso, déchets de mangue, 2014)) dont l'utilisation est très répandue en Inde et en Chine et qui est vulgarisé au Burkina Faso par le PNB.

Le biodigester à dôme flottant semi-enterré (Figure 28), composé par un corps en plastique rigide, contenant le gaz, encaissé dans une cuve où la fermentation a lieu.

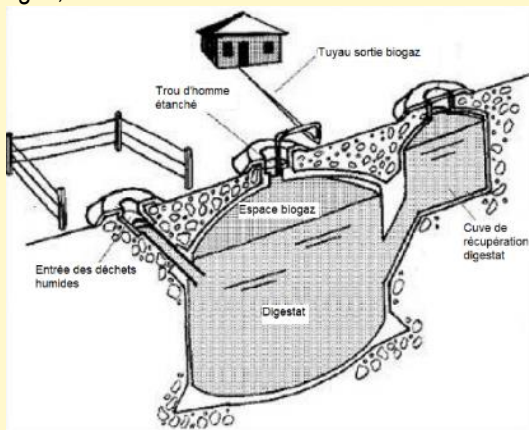


Figure 27 : Schéma d'implantation d'un biodigester à dôme fixe et photo de l'installation de Gebana Afrique (Bobo-Dioulasso, déchets de mangue, 2014)

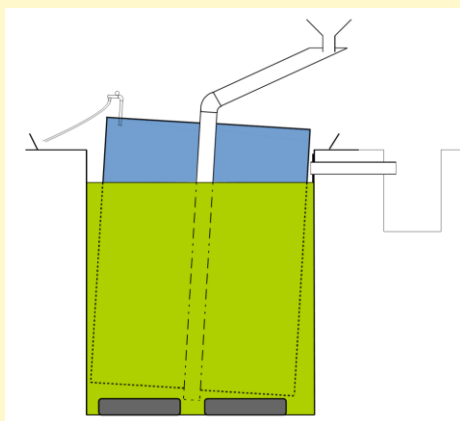


Figure 28 : Schéma d'implantation d'un biodigester à dôme flottant et photo de l'installation expérimentale réalisée par Nitidæ (Bobo-Dioulasso, tourteau liquide de karité, 2014)

- **Type de déchet accepté**

La matière première du biogaz peut avoir des origines très variées. Le fumier animal est très utilisé, et de manière générale, considéré comme une source facile pour l'obtention de biogaz. Les déjections humaines peuvent également être utilisées en appoint. D'autres types de déchets organiques plus secs, comme des rejets de cuisine, d'abattoirs ou de transformation agroalimentaire sont également appropriés à cette valorisation. Les déchets doivent être conditionnés pour être fluides, ce qui requiert parfois leur broyage et/ou l'ajout d'eau.

- **Produits**

Le biogaz peut alimenter des applications de cuisson, d'éclairage, ou encore de combustible dans des chaudières ou moteurs à gaz. À grande échelle, les systèmes de biogaz peuvent être utilisés pour produire de l'électricité. Le biogaz peut être emmagasiné en sacs flexibles étanches, voire compressé dans des cuves de stockage. Les digesteurs employés dans la région étant de petite capacité, aucune structure de stockage n'est prévue.

La matière organique sortante du processus (digestat) est un liquide qui contient encore la plupart des nutriments minéraux disponibles dans la matière première, et donc peut être utilisé comme fertilisant dans l'agriculture étant spécialement indiqué pour la maraîchéculture.

Le séchage du digestat permet de réduire son volume, d'obtenir un produit stable et facile à transporter.

En revanche, la majorité de l'azote se volatilise lors du séchage, et le pouvoir fertilisant diminue en conséquence.

Le chaulage du digestat peut être pratiqué pour obtenir un produit stabilisé, avec une réduction des organismes pathogènes, notamment des Salmonella. Il est bénéfique en cas d'épandage sur des sols acides, permettant de remonter le pH du sol.

Enfin, le compostage du digestat avec un substrat carboné (déchets verts par exemple) permet d'obtenir un amendement stable, de diminuer la salinité et le pH, et d'améliorer sa compatibilité avec les plantes.

- **Capacité**

La capacité de traitement de déchets se mesure en litres à alimenter par jour. En revanche, souvent les digesteurs sont classifiés selon le volume de rétention du fluide ou de la production journalière de biogaz.

Les rendements à biogaz sont hautement variables en fonction de la technologie choisie, la matière première à digérer et donc de l'investissement (voir Tableau 1 ci-dessous).

Tableau 1 : Comparatif des principales caractéristiques pour plusieurs types de digesteur de biogaz

Type de biodigesteur	Volume de rétention		Volume de traitement déchets		Production de biogaz		Coût	
	m ³		L/jour		m ³		F CFA	
	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi	mini	maxi
Dôme flottant	0,5	2	12,5	50	0,5	1	100 000	300 000
Dôme fixe petit format	2	10	50	200	0,4	1,6	200 000	900 000
Dôme fixe grand format	16	30	500	938	10	30	2 000 000	3 500 000
Dôme fixe avec agitation	100	200	3500	7000	60	240	17 000 000	46 500 000

- **Rendement**

La production de biogaz varie très largement en fonction des conditions d'opération du système (avec ou sans agitation, température de fonctionnement, temps de rétention, type de substrat, etc). En général elle se situe entre 0,1 à 2 m³ par mètre cube de volume digesteur et par jour (voir Tableau 1).

Chaque mètre cube de biogaz produit permet de remplacer la combustion de 1,5 à 3 kg de bois. Pour les biodigesteurs installés auprès des ménages, la participation aux économies de bois est donc importante.

En termes généraux, les petits biodigesteurs s'avèrent une solution pratique pour fournir du combustible et de l'éclairage aux ménages, spécialement dans des contextes isolés et où le recours au bois de chauffe présente des complications.

Dans la plupart des cas où le biogaz est produit à partir de déchets d'une unité de transformation agroalimentaire, le gaz est utilisé en complément des autres sources d'énergie qui alimentent l'unité en chaleur et électricité. En effet, souvent la production de biogaz n'est pas à elle seule suffisante pour combler tous les besoins de l'usine, mais participe à l'économie de ressources.

Environ 90% du volume de déchets introduit sort comme digestat. Dans les contextes ruraux et périurbains, il devient une ressource appréciée pour l'amendement des sols agricoles,

- **Adoption/diffusion de la technologie**

L'exemple burkinabè par excellence est la centrale de Faso Biogaz à Kossodo, en banlieue de Ouagadougou. Un tiers de l'énergie produite est de l'électricité. La puissance installée est de 275 kWé, et à terme doit atteindre 1 300 kWé, capables d'alimenter près de 22 000 ménages en électricité. Les deux tiers restants sont en forme de chaleur, qui est fournie directement à la brasserie et l'abattoir proches²⁵.

²⁵ Source : <https://www.fasobiogaz.com/notre-unite/>

Dans la région des Hauts-Bassins, on recense des expériences de bio-digestion du tourteau de karité (Nitidæ 2014 à Bobo-Dioulasso), des déchets de mangue et de bouse de vache sur des installations produisant ces déchets.

- Déjections animales (bovins). Le Programme National de Biodigesteurs (PNB²⁶) préconise les digesteurs à dôme fixe enterrés, à volumes entre 4 à 10 m³. À l'échelle nationale 13 000 biodigesteurs ont été installés au Faso, selon ce programme. Le président du Faso est engagé à accompagner les ménages à la réalisation et exploitation de 40 000 biodigesteurs.
- Déchets de mangue (épluchures et pulpe). Gebana Afrique à Bobo-Dioulasso avait tenté l'expérience entre 2014 et 2016 avec un biodigester à dôme fixe de 20m³. La SNV à travers le PNB a installé quelques milliers de biodigesteurs dans des zones de production de mangue, ouvrant la possibilité d'inclure les rejets de mangue dans le mélange, mais les réacteurs sont toujours conçus pour recevoir un mélange composé principalement de bouse de vache. D'autres unités de transformation de la mangue ont manifesté être intéressées à étudier l'installation de cette technologie, notamment celles de plus grande capacité. Plus récemment, un travail de recherche de l'IRSAT aurait mis au point le procédé pour produire du biogaz à partir des déchets de mangue seulement²⁷.
- Karité (tourteau liquide). Le travail expérimental a permis de valider la faisabilité de la bio-digestion des boues de barattage issues du lavage de la pâte pour la production de biogaz combustible. Ce traitement peut concerner la totalité des tourteaux liquides ou uniquement par la partie aqueuse issue de la décantation (la partie pâteuse étant valorisée par ailleurs).



Figure 29. Préparation du repas avec une cuisine à biogaz. Source : PNB-BF

L'expérience dans l'opération des biodigesteurs et leur appropriation par les bénéficiaires recommande d'accorder une attention particulière au suivi de ces installations et à la consolidation des connaissances des opérateurs (équipementiers, utilisateurs). En effet, une partie de ces installations finissent par être abandonnées. Tel est le cas par exemple du biodigester de Gebana Afrique (Figure 27), initialement utilisé pour traiter les déchets de mangue des installations de séchage annexes. La production de biogaz utilisable pour le séchage du produit, et l'élimination des déchets gênants n'auraient pas empêché l'abandon de l'équipement, qui représentait selon l'entreprise une charge de travail trop élevée.

- **Besoins en investissement et main d'œuvre**

Le type et quantité de déchets à traiter ainsi que l'utilisation finale du biogaz déterminent la taille de l'investissement, qui peut s'avérer privatif par rapport à d'autres sources d'énergie. Des fourchettes indicatives sur la taille de l'investissement sont indiquée dans le *Tableau 1 : Comparatif des principales caractéristiques pour plusieurs types de digesteur de biogaz*, ci-dessus.

Les besoins en manutention varient en fonction de la taille de l'équipement et de son degré d'automatisation. Les modèles préconisés pour les cas d'applications dans la région priorisent la durabilité des matériaux et la réduction de l'investissement, ce qui se traduit en moins de mécanisation. À titre indicatif, une personne à mi-temps peut gérer un biodigester de taille moyenne (dôme fixe grand format).

- **Avantages environnementaux**

Dans la mesure où le biogaz substitue un combustible non renouvelable, il contribue à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, et dans le cas des biodigesteurs en milieu rural, à la réduction de la pression sur la ressource arborée.

²⁶ Source : <https://www.pnb-bf.org/>

²⁷ Source : <https://www.scidev.net/afrique-sub-saharienne/biocarburants/article-de-fond/burkina-energie-mangues-15052019.html>

- **Avantages socio-économiques**

Les principaux avantages du biogaz sont sa complexité et sa dangerosité limitées, la possibilité de valoriser la biomasse humide (déchets autrement compliqués à gérer), l'utilisation facile du produit (biogaz) et la valeur ajoutée du sous-produit (digestat comme fertilisant). Les raisons pour l'adoption de cette technologie comprennent d'une part l'économie en combustible conventionnel, car souvent le combustible remplacé est le bois, pétrole ou butane ; d'autre part les gains en matière d'assainissement par l'élimination des décharges à l'air libre ; et finalement la production d'un engrais organique très efficace. Finalement, l'adoption du biogaz est synonyme de diminution des fumées lors de la cuisson, et a une incidence directe sur la prévention des maladies respiratoires attachées à la combustion du bois-énergie.

Les biodigesteurs diffusés auprès des éleveurs de bétail (PNB) parviennent à sédentariser les troupeaux, qui sont désormais gardés en zone clôturée afin de faciliter la récupération d'un maximum de déjections. Le bétail est alors élevé et nourri en conditions plus contrôlées, et la productivité par tête augmente. L'élimination des conflits avec les cultivateurs à cause de la divagation des animaux peut aussi être citée comme avantage.

Dans certains cas, le principal souci est la logistique concernant l'approvisionnement en matière première pour alimenter le digesteur.

4. Conclusion et perspectives

4.1. Adoption des technologies de valorisation de biodéchets dans les Hauts-Bassins

Lors de cette étude, quinze filières génératrices et dix-huit technologies de valorisation de biodéchets ont été recensées au travers de la rencontre d'une cinquantaine d'acteurs et de structures. Toutes ces entités participent et remplissent un rôle social, économique et environnemental prépondérant dans la vie de tous les jours dans la région des Hauts-Bassins. Malheureusement, dans l'ensemble les biodéchets de ces différentes filières ne sont aujourd'hui que très peu valorisés. Pourtant, les technologies de valorisation existent et les débouchés sont là.

Le principal frein à l'adoption de certaines technologies est leur développement à une échelle commerciale. D'une part, encore peu d'acteurs économiques décident de faire du traitement de déchets une source de valeur, ce qui ralentit la divulgation des technologies appropriées. Par exemple, le compostage ou l'utilisation de fours à pyrolyse de coques de cajou, étant deux procédés suffisamment éprouvés, ne sont pas encore pratique courante dans les milieux où ils pourraient jouer un rôle crucial dans le traitement de déchets. D'autre part, certaines technologies nécessitent encore d'être développées ou encore repensées afin de s'adapter au mieux au contexte où elles seront utilisées. Tel est le cas des procédés de valorisation des déchets de mangue, entre autres. Finalement, même si les procédés sont au point, parfois les débouchés pour les produits sortants de ces technologies n'existent pas aujourd'hui, à cause le plus souvent de la méconnaissance au niveau de son potentiel marché. L'on citera notamment le marché de l'alimentation animale et celui des combustibles, car de nombreux déchets pourraient être valorisés par ces voies si la demande pour ces produits se développait.

4.2. Des filières à haut potentiel

En vue de la formulation de politiques régionales et locales de développement durable intégrant l'économie circulaire, il paraît pertinent d'identifier les voies les plus prometteuses de mise en œuvre. Cet exercice passe nécessairement par l'estimation des impacts en fonction des actions menées.

Puisqu'il s'agit de gérer durablement les flux de matière, l'approche par filière des impacts de la gestion/valorisation des déchets organiques s'avère appropriée. Dans les Hauts-Bassins, région spécialement tournée vers l'industrialisation des activités de transformation des produits agroalimentaires, les filières sur lesquelles il semble le plus important de mettre l'accent pour la valorisation de leurs déchets sont celles indiquées en *Tableau 2*. Les critères qui ont mené à une telle classification sont :

1. Le volume de déchets d'une même nature générés par chaque filière, car plus les quantités sont grandes plus la valeur à tirer après valorisation est proportionnellement élevée ;
2. Les volumes disponibles par site, car la concentration de déchets dans un seul site facilite la valorisation efficiente ;
3. L'impact économique (pertes et manque à gagner), social (nuisances aux populations) et environnemental (impacts sur les eaux, la qualité de l'air, les émissions carbone, la déforestation, la faune et flore) du fait du non traitement de ces déchets ;
4. Les possibilités de la filière d'augmenter le volume de déchets dans un futur proche, et donc augmenter ses impacts ;
5. La disponibilité de technologies appropriées et de capacité humaine et économique pour la valorisation de ces déchets dans la région.

Filière	Quantité de déchets (tonne/an)	Quantité moyenne par site
Mangue	40 000	De 1 à 40 tonnes/jour
Anacarde	9 000	De 0,5 à 20 tonnes/jour

Karité	30 000	Principalement sur 1 seul site (et des dizaines de petits sites avec quelques centaines de tonnes/an)
Abattoir	5 000	De 1 à 10 tonnes/jour sur 3 sites
Eaux usées	1 000 000 ²⁸	Un seul site, Bobo Dioulasso

Tableau 2. Distribution des principaux gisements de biodéchets dans la région.

4. 2. 1. Mangue

La mangue est sûrement la filière qui a le plus besoin d'appui pour valoriser ses déchets aujourd'hui et ce pour les raisons suivantes. Premièrement la transformation seule produit actuellement la quantité la plus importante de biodéchets, estimés à 40 000 T/an réparties sur une période de 5 mois de mi-mars à mi-août. Certains gisements sont très conséquents et peuvent atteindre jusqu'à 40 T/j pour certaines unités, d'autres beaucoup plus petits ne dépassent pas 1 T/j. Dans les vergers, la quantité de déchets varie en fonction de la saison et n'est pas connue. Dans tous les cas le constat est le même, car toutes ces unités et vergers rencontrent des problèmes avec leurs déchets. Presque aucuns ne sont valorisés et les nuisances qu'ils entraînent font qu'ils sont évacués au plus vite dans des lieux inappropriés, cela ayant des conséquences environnementales et sur la qualité du produit lui-même du fait de la prolifération de la mouche des fruits.

Deuxièmement, la production et transformation de la mangue dans toutes ses formes est un pilier de l'économie régionale. Cependant, la compétitivité de ce secteur est menacée par la non mise en valeur des déchets ; alors même que ceux-ci peuvent devenir une ressource pour la filière elle-même, notamment à travers le compostage et la valorisation énergétique. On constate un important manque à gagner spécialement chez les industriels, car ils pourraient avoir des retours sur investissement intéressants s'ils s'intéressent aux matières aujourd'hui rejetées (quantifiées à 63% de la matière fraîche en entrée des unités de séchage). Au niveau des vergers, la qualité du produit est remise en question et la pérennité des retombées économiques pour les producteurs, qui ont de plus en plus besoin de traiter leurs vergers pour les garder productifs, n'est plus garantie. Un traitement approprié par compostage aboutirait à assainir les champs et en même temps participerait à l'entretien de leur fertilité d'une manière plus raisonnée et planifiée.

Solutions envisageables :

- 1. Plateforme de fabrication d'Alimentation animale.** La partie charnue de la mangue est un aliment approprié pour presque tout type de bétail. Même l'amandon à l'intérieur du noyau est comestible par certains. Le problème est que ces matières sont disponibles seulement en saison pluvieuse, époque à laquelle la demande des éleveurs (ovins, bovins, porcins) chute drastiquement. De leur côté, les éleveurs avicoles demandent du produit sec et en poudre ou petites particules. Or, le cheptel augmente chaque année²⁹ et on observe une tendance à l'intensification des élevages, qui conduit à une demande croissante en aliment préparé pour animaux. Le manque d'infrastructures adaptées pour transformer les déchets de la mangue est la principale barrière pour que ces matières de rejet soient recyclées dans la filière de l'embouche animale. En deuxième plan, on dénombre peu de professionnels fabricant des aliments composés (mélange de plusieurs matières, à des taux appropriés à chaque animal). Il est assez courant que l'éleveur réalise lui-même sa propre recette, en fonction de la disponibilité et des prix des matières brutes dans le marché. Ces deux aspects (manque d'infrastructure et de professionnalisation) pourraient être attaqués sous la forme de plateformes adaptées pour centraliser les biodéchets. Ces matières comprendraient principalement les déchets de mangue mais il serait possible d'intégrer d'autres matières aussi (son de céréales et légumineuses notamment). Les plateformes doivent être stratégiquement placées afin de minimiser les frais de déplacement depuis les centres de production (unités de traitement de la mangue, vergers, autres) et former des partenariats durables avec les

²⁸ Avant évaporation et relâchement des eaux

²⁹ Source : Kiendrébéogo A., Mopaté L. Y., Kondombo S. R., Kaboré-Zoungana C. Y. 2012a. *Characterization and importance of pig breeds in the pork industry of the zone of Bobo-Dioulasso (Burkina Faso, West Africa)*. Int. J. Biol. Chem. Sci. 6 (4): 1535-1547 ; et entretiens avec le représentant de la filière Bétail-viande.

producteurs de ces déchets. La technologie à mettre en place ne demande pas des connaissances de pointe ou des matériels spécifiques. Il s'agirait de systématiser le séchage de grandes quantités de déchets organiques, tout en assurant la qualité et la compétitivité prix du produit final. Finalement, il est possible qu'un travail de promotion de ce nouveau produit auprès des éleveurs et professionnels de l'embouche animale soit nécessaire dans la phase initiale. Tout indique néanmoins, que le marché est prêt à intégrer cette nouvelle provende car la demande est croissante.

2. **Plateforme de production de Compostage.** La mutualisation des efforts par la mise en place d'une unité commune de compostage des déchets de mangue, de manière analogue à celle décrite ci-dessus, représente une autre solution au problème d'assainissement des lieux de transformation et de production de la mangue. Le compostage serait aussi réalisé en mélangeant d'autres matières (déchets carbonés comme les tourteaux de karité ou les déjections animales). Il reste à déterminer dans quelle mesure le produit (compost) pourrait intéresser le secteur de la mangue lui-même, de manière à réinjecter ces matières dans les vergers. Le fait de subvenir à une demande endogène (des producteurs de mangue) serait une raison pour que les professionnels de la mangue eux-mêmes participent à la définition de la solution et aussi au partage de la valeur. Il est possible que le compost de déchets de mangue puisse intéresser d'autres filières agricoles, notamment si l'utilisation d'engrais organique était encouragée et que les prix de vente soient abordables. La production plus ou moins centralisée de compost à partir des rejets de mangue est une solution appropriée surtout au milieu rural, de par sa proximité aux utilisateurs finaux.

3. **Plateforme Jus de fruits ou ligne mobile de production de jus en zone rurale.** Une partie des mangues qui ne sont pas valorisées dans les champs serait toujours adaptée à la consommation humaine. Ces produits n'atteignent pas la commercialisation parfois par raisons de calibre, d'état de maturité, de quantités disponibles ou encore d'accessibilité des vergers. Ils pourraient toutefois être transformés en nectar au moyen d'unités mobiles de transformation, comme celle présentée en page 19 ci-dessus. Les producteurs auraient la possibilité de tirer une valeur directe de leurs mangues. Le produit extrait serait envoyé à une unité centrale pour transformation et conditionnement (plusieurs produits possibles : jus, nectar, concentré, compote, gelée...). Du point de vue du transformateur, il ne serait plus nécessaire d'avoir une ligne de conditionnement des mangues entières dans l'usine, et le risque hygiénique et les nuisances seraient maîtrisés car les déchets ne seraient plus aux abords de l'unité. Le bilan global est un plus haut taux de mangues étant valorisées en alimentation humaine, et une partie plus importante de la valeur ajoutée ancrée au niveau des vergers.

4. **Biogaz.** La partie humide des déchets de mangue peut être digérée afin de produire un gaz combustible, utilisable directement pour subvenir aux besoins des industriels, aujourd'hui grands consommateurs de gaz butane ou autres combustibles solides. Les biogaz est donc une solution spécialement intéressante pour les transformateurs/sécheurs, bien que la faisabilité économique doive être déterminée au cas par cas car les investissements sont conséquents ; et la valorisation du digestat est un élément clé de rentabilité.
D'autre côté, la biodigestion des mangues rejetées au niveau des vergers serait une opportunité de valoriser en combustible et engrais végétal ces matières aujourd'hui problématiques ; néanmoins, pour le moment son application en milieu rural rencontre certaines barrières notamment d'ordre technique.

5. **Noyaux pour Combustion.** La partie ligneuse du noyau de la mangue serait à valoriser énergétiquement, comme combustible pour les foyers ou chaudière, avec ou sans l'amande à l'intérieur. Cette valorisation devient possible une fois que le reste des matières humides ont été débarrassées, et le noyau séché. Les noyaux de mangue sont en effet utilisés à Toussiana, où de grandes quantités sont disponibles et accessibles (dans des tas de déchets en décomposition provenant des unités de séchage). À l'état actuel il est nécessaire d'attendre la saison sèche pour récupérer les noyaux dans le tas de déchets, ce qui implique un travail pénible – et à nouveau un manque à gagner pour les sécheurs de mangue, qui pourraient en faire une exploitation commerciale. Dans la mesure où uniquement la partie humide des déchets de mangue est valorisée à l'aide d'une des quatre formes citées ci-dessus, les noyaux propres

vont être un sous-produit de ces processus. Il ne restera qu'à les sécher et conditionner pour sa vente comme combustible ligneux.

Acteurs clés pour le développement des solutions :

Les solutions décrites ci-dessus ont été déployées à des stades variables, toujours à petite échelle ou échelle pilote. Elles ont déjà été prouvées valides par les acteurs de la filière et les contraintes sont connues. Des études plus approfondies seraient nécessaires pour valider l'approche basée sur la centralisation des déchets sur un même site.

En termes de disponibilité technologique et de savoir-faire, les nombreuses expériences dans les 5 domaines de valorisation susmentionnés ne font pas craindre des barrières à ce niveau. Seulement, une partie des technologies déjà éprouvées doivent maintenant être adaptées à la grande échelle, ce qui peut demander une période d'étude/mise en pratique des solutions sur place.

Il serait même possible d'envisager des centres de traitement de déchets capables de produire en même temps de l'aliment de bétail et du compost, voire aussi des jus/concentrés de mangue, en fonction des demandes du moment et de l'état des déchets à valoriser afin de tirer un maximum de bénéfice de toutes les matières.

Le secteur de la mangue est représenté dans son ensemble par l'APROMAB et par la Table sectorielle de la mangue. Par maillons, les producteurs sont réunis autour de l'UNPM-B et les transformateurs par la PTRAMAB. Il serait pertinent d'approcher chacune de ces structures car c'est toute la filière qui est touchée par la problématique des déchets. D'ailleurs, ces acteurs ayant une partie de responsabilité, suivant le principe du pollueur-payeur, ils doivent participer non seulement à la formulation de la solution mais aussi doivent s'investir pour leur réussite.

4. 2. 2. Anacarde

Le constat pour l'anacarde est plus ou moins le même que pour la mangue, avec une période de production de déchets étalée sur 12 mois et des quantités journalières moindres par site, en moyenne. La disparité des gisements est très grande (entre 0,5 et 20 tonnes/jour) mais toutes les unités de transformation signalent des problèmes de gestion de leurs déchets. L'entreposage sauvage des coques et pellicules d'anacarde entraîne des nuisances moins directes mais les conséquences environnementales sont élevées. Surtout les coques d'anacarde ont un énorme potentiel qu'il serait dommage de ne pas valoriser. Cette matière constitue en effet un combustible très riche (dont le pouvoir calorifique est supérieur au bois) et son abandon dans la nature représente non seulement un danger environnemental et un risque d'incendie, mais aussi une opportunité non saisie pour profiter d'un substitut renouvelable aux sources d'énergie conventionnelles. En dernier terme, il s'agit d'un manque à gagner pour les industriels et nuit directement leur compétitivité vis-à-vis de leurs concurrents extérieurs (indiens, vietnamiens). Les études réalisées par Fúnteni en 2018 estiment la valeur de la coque de cajou entre 100 et 120 dollars par tonne équivalente de noix de cajou brute³⁰ (alors que les cours de la noix brute se situent entre 460 et 500 dollars la tonne)³¹.

En tant que matière organique, la coque peut être traitée par compostage mais la haute teneur en huile phénolique (CNSL) ralentit notablement le processus et le rend non compétitif. Si cette huile n'est pas complètement dégradée elle nuit à la fertilité des sols. En revanche, le plus pertinent est une valorisation énergétique de la coque. Si sa combustion directe génère d'abondantes fumées noires (dus à la présence d'huile lourde), il n'est pas moins intéressant de la considérer un substitut du bois qui alimente un grand nombre de chaudières du secteur industriel. Le problème des fumées a été résolu grâce à la technologie de la pyrolyse, qui n'est qu'une combustion étagée permettant de brûler au maximum les composants volatiles des coques. Il s'agit d'une technique qui parvient à transformer une matière difficile à traiter en deux produits combustibles : les gaz de pyrolyse pour la chaleur industrielle, et le charbon (sous-produit) pour les ménages. À plus grande échelle, il est intéressant de séparer par pressage l'huile des coques en vue de la récupérer pour utilisation combustible ou une combustion dans une unité de cogénération afin de permettre la production parallèle d'énergie thermique et électrique.

³⁰ Source : Rapport ACA Environmental study of waste management in cashew processing in eight African countries, FIC 2018

³¹ Source : statistiques n'kalô, juin 2019

Solutions envisageables :

1. **Promotion de la technologie de Four à pyrolyse H2CP.** Si quelques industriels de taille moyenne se sont désormais tournés vers la coque de cajou pour alimenter leurs chaudières, spécialement à Bobo-Dioulasso, on est toujours loin de parler d'une utilisation généralisée des fours à pyrolyse H2CP. Or cette technologie a démontré être adaptée à plusieurs fins thermiques : chaudières pour huileries, séchoirs de mangue, process de l'anacarde. Toute industrie de taille petite et moyenne peut en général substituer la consommation de bois ou de gaz butane facilement par l'introduction de fours à pyrolyse de coques d'anacarde. Encore d'autres secteurs pourraient en bénéficier, comme les boulangeries. Le savoir-faire des fours à pyrolyse H2CP est même exporté depuis Bobo-Dioulasso vers les pays voisins. Cependant, la mauvaise presse dont la coque d'anacarde souffre mène une majorité d'acteurs à penser que le traitement thermique approprié n'est toujours pas techniquement possible. D'autres ont gardé en tête que les fours à pyrolyse sont à une phase pilote, alors que depuis 2016 ces dispositifs sont fabriqués à l'échelle commerciale et ce par plusieurs équipementiers différents. Augmenter la visibilité de la technologie serait un pas crucial pour sa promotion. Il serait aussi pertinent de sensibiliser les acteurs concernés au potentiel énergétique, économique et environnemental de la coque d'anacarde, et de promouvoir les liaisons de relations de symbiose industrielle entre différentes filières, sans oublier que ceci peut éventuellement nécessiter une phase de développement technologique pour l'adaptation. L'accompagnement des professionnels qui travaillent à leur conception, installation et opération afin de créer une base solide de connaissances sera finalement gage de satisfaction des industriels et du bon fonctionnement de ces équipements dans le temps.
2. **Développement et diffusion des technologies de Petits carbonisateurs.** La coque d'anacarde peut être carbonisée sans que les gaz ne soient valorisés dans une chaudière. Les technologies disponibles pour le moment ont une capacité limitée, et alors que la demande pour ce type de technologies augmente, Fúnteni et Nitidæ sont en cours de développement de solutions permettant la carbonisation de plus grandes quantités de coques, dans ses installations expérimentales à Bobo-Dioulasso. Tout un réseau de charbonniers peut être formé pour valoriser les coques des petites et moyennes unités d'anacarde en charbon. Ensuite, le charbon peut être transformé en briquettes à l'aide des presses déjà disponibles.
3. **Développement d'un marché pour le CNSL combustible.** Lorsqu'une quantité conséquente de coques est disponible (>4 000 tonnes de coques/an), il devient faisable de mettre en place une unité industrielle de séparation de l'huile de coques. Les deux produits (huile et tourteau) peuvent en ce moment être valorisés comme combustible, le premier en substitution du fioul (combustible de grandes chaudières) et le deuxième comme combustible ligneux (que l'on peut carboniser et façonner en briquettes). L'extraction de l'huile peut être réalisée par l'unité de transformation d'anacarde elle-même, ou par un tiers qui se chargera de transformer les coques d'une ou plusieurs unités. Cette dernière option suit la logique de centraliser les déchets dans un seul centre de traitement, afin d'externaliser les coûts, réaliser des économies d'échelle et permettre l'émergence d'opérateurs spécialisés en ce type de produit. Au fur et à mesure où de nouvelles unités de grande taille devront voir le jour (voir en page 11 ci-dessus), il deviendra de plus en plus évident que les coques doivent être traitées d'abord par extraction de CNSL avant d'utiliser les sous-produits comme combustibles.
4. **Cogénération alimentée par des coques d'anacarde.** Dans un futur proche, une ou plusieurs unités de la région atteindront la capacité individuelle de 10 000 tonnes de noix brute par an. À partir de ce moment il deviendra intéressant qu'elles se dotent d'une centrale de cogénération dans son sein, afin de subvenir à leurs besoins thermiques et électriques. Une majorité des coques générées, ou encore le tourteau issu de l'extraction d'huile, irait alimenter la centrale à cogénération. L'initiative de ce type de projets correspond en principe aux unités de transformation, mais ceux-ci ne seront réalisables que si le cadre est favorable, d'abord en termes de facilités pour franchir les étapes réglementaires requises.

Acteurs clés pour développer ces solutions :

La filière anacarde aussi est structurée et les deux principaux organes de représentation des transformateurs au niveau national, ANTA-BF et le CBA, siègent à Bobo-Dioulasso. Associer ces structures aux campagnes de promotion des technologies appropriées aura l'effet de promouvoir l'appropriation de ces techniques, et de la logique de l'économie circulaire, dans leur sein.

À la différence des technologies de valorisation de déchets de mangue, il est nécessaire de bâtir un certain savoir-faire spécifique pour l'utilisation de ces technologies. Le chemin est déjà parcouru en ce qui concerne les fours H2CP mais pour le reste des technologies le manque de connaissance technique peut ralentir le déploiement de ces technologies. Dans tous les cas, y compris les fours H2CP, il est nécessaire de construire une filière d'équipementiers formalisée. Une opportunité passerait par intégrer des formations techniques dans les écoles et lycées professionnels (comme il l'a déjà été fait, pour le H2CP, dans le cadre du projet Agrovalor en Côte d'Ivoire³²).

Enfin, le dimensionnement à échelle réelle des installations de valorisation des coques d'anacarde doit être réalisé par des spécialistes en procédés thermiques.

4.2.3. Karité

Dans les unités industrielles, la gestion de ces déchets n'est pas un problème car il est aisé de trouver des acheteurs pour le tourteau solide ; et car le procédé industriel ne génère pas d'eaux usées. Ce sont les dizaines d'unités transformant le karité avec un processus artisanal ou semi-industriel, qui inclut l'étape de barattage, qui produisent des quantités importantes d'eaux usées très chargées en matière organique. Le déversement de ces eaux peut générer des nuisances vis-à-vis du voisinage. La solution adaptée dans ces cas est la digestion anaérobie pour la production de biogaz, précédée d'une étape de décantation afin de récupérer un maximum de fraction solide.

Chez les grands industriels, les acheteurs viennent généralement de l'étranger pour le tourteau alors même que l'utilisation sur place de ces déchets pourrait avoir des conséquences positives. En effet les tourteaux de karité ont un potentiel énergétique important qui remplacerait dans bien des cas, après briquetage pour les foyers ou en combustion directe dans les industries, le bois.

Solutions envisageables :

1. **Technologies efficaces de transformation et Presses à briquettes pour combustible domestique ou industriel.** Les transformateurs de karité ayant mécanisé *a minima* leur procédé se trouvent rapidement avec un surplus de tourteau de karité. En effet, si des technologies efficaces sont employées dans le processus de production du beurre de karité (telles que des foyers et torréfacteurs améliorés, des presses à briquettes ou encore des bacs de décantation), les volumes de tourteau récupérés suffisent pour alimenter à eux seuls tous les besoins en chaleur de la chaîne de transformation. Le tourteau dans les petites exploitations est souvent façonné sous forme de boulettes ; cependant, il est possible de fabriquer des briquettes d'une forme standard, nécessitant moins de travail, et qui brûlent de manière plus efficace et dégagent moins de fumée. Ces briquettes sont utilisables autant dans le processus de transformation (torréfaction, cuisson, raffinage) que dans des foyers domestiques – dans lequel cas leur vente procure une source supplémentaire de revenus.
Aujourd'hui, peu de petits transformateurs du karité ont adopté des outils de transformation efficace. Ceux-ci sont toujours déficitaires en combustible et doivent avoir recours au bois de chauffe.
Hormis la généralisation souhaitable de ces technologies chez les transformateurs artisanaux et semi-industriels, à grande échelle aussi toute une chaîne commerciale de production de briquettes pourrait être mise en place pour valoriser les milliers de tonnes de tourteau sec disponible afin de valoriser sur place les tourteaux déshuilés qui sont aujourd'hui exportés ailleurs.
2. **Cogénération alimentée par les tourteaux de karité.** Des unités de production d'électricité associées aux grands centres de transformation de karité pourraient voir le jour, pourvu que les mêmes conditions qui ont déjà été évoquées pour l'anacarde (ci-dessus) soient réunies.
3. **Biodigesteurs des effluents liquides.** Lorsque les eaux sales sortant du barattage créent un problème, la solution d'assainissement la plus appropriée est la mise en place d'un biodigester afin de donner un traitement biologique à ces effluents. Ce dispositif n'est pour l'instant pas implanté dans aucun des centres de transformation de la région.

³² Projet mis en œuvre par Nitidæ, avec cofinancement de l'AFD, FIRCA et Recyclivre. Lien web :

Acteurs clés pour développer ces solutions :

La Table karité réunit la plupart des acteurs organisés transformant le beurre de karité. Il serait judicieux de s'appuyer sur cet organisme afin d'atteindre les transformateurs artisanaux et semi-industriels dans une éventuelle campagne de promotion/accompagnement à l'adoption des technologies efficaces.

Actuellement, dans le secteur industriel on ne compte qu'un gros acteur dans le marché (car tout le tourteau industriel est acheminé vers l'usine d'IOF pour extraction à l'hexane). C'est donc avec IOF à Bobo qu'il faudrait évaluer la possibilité de former une chaîne de fabrication de briquettes.

4. 2. 4. Abattoirs

Aujourd'hui les déchets des abattoirs ne sont que très peu traités et valorisés. Les principaux problèmes de ces manques sont les conséquences environnementales et sanitaires que cela engendre. Ces déchets, solides ou liquides, risquent d'entraîner des contaminations des cours d'eau, des nappes phréatiques et même des animaux et êtres humains vivant ou travaillant à proximité. Les abattoirs, situés en zone urbaine très proches des lieux d'habitation et dotés d'une infrastructure d'assainissement minimale, deviennent de véritables sources de tout type d'organismes nuisibles et posent désormais un problème de santé publique.

Solutions envisageables :

1. **Biogaz.** La production de biogaz à base de déchets humides (carcasses, viscères) d'abattoir est déjà une réalité à Ouagadougou. Récemment des études ont été mises en œuvre pour déterminer la faisabilité de cette solution à Bobo-Dioulasso, par FasoBiogaz. Une des contraintes est la disponibilité de volumes suffisants de déchets. Encore une fois, la mise en place d'un biodigester peut être une opportunité pour co-digérer ensemble plusieurs types de biodéchets humides. Les déchets animaux devraient être débarrassés des plastiques et autres impropres, souvent présents dans les panses des animaux abattus.
2. **Plateforme de d'Elevage d'asticots pour engrais et ramassage effectif des déchets.** L'élevage d'asticots s'avère être une formule efficace de valorisation d'une bonne partie des déchets d'abattoir, mais il est actuellement réalisé dans des conditions très précaires, et le secteur n'est pas encore complètement développé. Accorder à ces acteurs un espace approprié pour réaliser leur activité, et en parallèle assurer le ramassage et élimination hygiénique des déchets non valorisés, éviterait que les déchets animaux se trouvent à un moment simplement déversés dans l'espace public comme c'est le cas aujourd'hui.

Acteurs clés pour développer ces solutions :

Les Mairies sont responsables de l'exploitation des abattoirs et sont garantes de l'assainissement des zones habitées. Les intéressés dans la valorisation des biodéchets d'abattoir (acteurs privés dans le domaine du biogaz, éleveurs d'asticots et autres) peuvent faire partie active de la mise en place des solutions. Une politique claire des mairies en faveur de la création de structures d'assainissement complémentaires et de la facilitation à l'implantation des acteurs intéressés, serait déterminante. Les acteurs techniques et institutionnels pourront se joindre au processus de formulation de solutions.

4. 2. 5. Boues des eaux usées

Il n'existe qu'un seul site de traitement des eaux usées actuellement dans la région, à Bobo Dioulasso, même si un autre devrait faire son apparition dans les années à venir à Houndé. Ce site traite 2600 m³/jour, provenant du tout à l'égout des quartiers concernés et des camions citerne. La gestion de ces déchets ne pose pas aujourd'hui de problème majeur mais ceux-ci pourraient être valorisés de manière plus efficace que par épandage direct.

Solutions envisageables :

1. **Biogaz ou Compostage.** Un traitement biologique des boues permettrait d'un côté leur stabilisation afin d'obtenir un engrais sain, et dans le cas du biogaz aussi une source d'énergie pour utilisation thermique

dans le processus de traitement lui-même ou bien au profit d'un autre besoin de chaleur. La digestion des boues d'eaux sales pourrait également se faire en combinaison avec d'autres déchets liquides, comme indiqué dans les sections antérieures.

2. **Élargissement de la couverture du système de traitement des eaux usées.** A voir les évolutions prévues du système de collecte et de traitement des eaux usées dans chacune des communes. Une étude sur les priorités en termes d'interventions d'assainissement dans la ville, afin qu'une plus grande partie des déchets des eaux grises soit convenablement gérée, devrait être menée. A Bobo il est prévu d'augmenter le réseau de tout à l'égout à de nouveaux quartiers alors qu'à Houndé une station d'épuration des eaux usées devrait voir le jour dans les années à venir.

Acteurs clés pour développer ces solutions :

Les services engagés dans la gestion des eaux usées sont essentiellement l'ONEA et les Mairies. Il sera nécessaire d'engager des études plus poussées visant à déterminer les actions prioritaires, le bilan coûts-bénéfices et les schémas organisationnels qui assureront la durabilité de ces solutions, et qui pourraient s'inscrire tant dans une logique de gestion publique ou de marché.

4.3. Perspectives et recommandations

La région des Hauts-Bassins a tous les atouts pour devenir une région modèle dans la gestion de ses ressources. Le présent travail a mis en avant un nombre de technologies déjà développées au sein de la région qu'il serait avantageux de promouvoir à un stade supérieur. Spécifiquement :

1. Dans la mesure où cette utilisation ne soit pas en compétition avec des opportunités de valorisation alimentaire (à prioriser), les technologies touchant à une valorisation combustible des biodéchets sont à promouvoir en priorité. En effet, l'introduction de nouvelles sources d'énergie a une incidence directe sur le bien-être des populations et sur la coupe abusive des arbres. Nombre d'initiatives individuelles ont été décrites qui mériteraient un accompagnement afin de voir leurs déploiements complets dans la région et même devenir des exemples ailleurs, comme c'est déjà le cas avec le rayonnement de la technologie H2CP pour l'anacarde : de Bobo Dioulasso vers déjà 3 autres pays de la sous-région.
2. La digestion biologique des déchets (par compostage et biodigestion), car elles sont très facilement adaptables aux différents contextes et s'adaptent aussi bien à des contextes low-tech que des plus mécanisés. Finalement, les produits (digestat, compost) sont directement liés à la résilience des populations face au changement climatique et l'épuisement des ressources, dont les impacts se font déjà ressentir. Une panoplie de déchets (mangue, eaux usées urbaines, déchets d'abattoir) peut être traitée par ces méthodes.

En termes généraux, la promotion de ces technologies au sein des principales filières génératrices de déchets, pourrait passer par l'établissement d'une politique publique mettant en avant les Meilleures Techniques Disponibles (MTD). En effet, lors de l'analyse des possibilités technologiques pour une activité déterminée, il est souvent priorisé des critères d'ordre économique, ce qui aboutit au choix de technologies n'ayant pas ou peu d'effet positif sur le plan social et/ou environnemental. Ceci résulte en filières productives peu efficaces et génératrices d'une grande quantité de déchets nuisibles. Le concept de MTD renvoie, pour chaque domaine d'activité, à la technique qui satisfait au mieux les critères de développement durable. Il s'agit de mettre en avant les technologies actuellement au point présentant le meilleur équilibre entre développement social, économique et environnemental. Les politiques publiques de développement industriel et urbain intègrent de plus en plus souvent la notion de MTD, dans certains pays elles sont transcrites en lois obligeant tout porteur de projet à démontrer qu'il a fait recours à une MTD. Les autorités rédigent, pour des secteurs cible ayant un impact sur la santé des populations et/ou des ressources en eau, l'air et la terre, des documents de référence où les technologies disponibles sont énumérées et les MTD sont indiquées pour chaque cas³³. Ces guides sont à respecter et forment une base d'évaluation par les organismes d'inspection compétents dans chaque cas. Pour la mise en place de ce type de politiques sur le

³³ Pour exemple, les documents de référence relatifs à ces technologies en France sont dans <https://aida.ineris.fr/guides/directive-ied>

plan régional il serait nécessaire d'étudier d'abord quelles sont les compétences et le pouvoir de levier en la matière des collectivités ainsi que des organes administratifs régionaux.

Également, une prise de position stratégique de la part des communes et du Conseil Régional serait souhaitable. De cette feuille de route découleraient des actions telles que la communication en positif sur la gestion efficiente des ressources et l'économie circulaire, assortie de mesures incitatives, la création de centres spécialisés dans le traitement, voire l'établissement d'un standard environnemental obligeant les pollueurs à traiter leurs déchets avec les Meilleures Techniques Disponibles.

Le rôle du Conseil Régional dans la définition de la stratégie d'économie circulaire doit être de rester en avant-garde et d'être source de propositions tout en stimulant le dialogue multi-acteurs, au sein des organes régionaux, municipaux mais aussi auprès de plus grandes instances. Le Conseil a l'opportunité de s'appuyer sur ses homologues de la région AURA afin de créer une conscience transversale de développement durable au sein des collectivités. Ceci se traduira par le renforcement des capacités des acteurs institutionnels clés pour le développement de la stratégie économie circulaire.

Annexe 1. Acteurs pertinents rencontrés

Structure	Domaine	Description	Personne	Contact	Lieu
Sani Cosmétique	Cosmétique	Réalise des tests sur la distillation d'huiles essentielles d'épluchures de mangue et sur l'extraction d'huile des amandes de mangue.	Naamwin Romaric MEDA. Co-fondateur, Président	naamwinsobawfu@gmail.com sani.sas.bf@gmail.com 57597153	Rue 22.78, cité AZIMMO, secteur 22, Ouagadougou
Premices	Cosmétique	Il a une presse et a déjà fait des expérimentations d'extraction à froid d'huile des amandes de mangue	Abraham Millogo	millogoabraham@yahoo.fr 70250119 - 76694341	Ouagadougou
-	Gazogène	A aidé à concevoir le gazogène à balle de riz	Dr Yé	70709141	Ouagadougou
PNB (Programme National Biodigesteur)	Biodigesteurs	Conception et installation de biodigesteurs à dôme fixe (entièrement maçonné et semi-enterré) et à fonctionnement continu (alimentation quotidienne). Il consomme essentiellement des déjections animales fraîches (bouse de vache, crottin de porcs, fiente de poule mélangé à de l'eau). Des toilettes peuvent être connectées à nos biodigesteurs pour les ménages qui le désirent. Il peut être adapté pour la méthanisation des résidus de fruits ou les restes alimentaires.	Gwladys Sandwidi. Responsable technique	tsb2@pnb-bf.org 76061310	Ouagadougou
Anatrans	Usine d'anacarde. Sous-produits : CNSL et aliments bétails	L'entreprise Anatrans produit du CNSL à partir de ses coques de cajou et de l'alimentation animale et de l'huile à partir de ses amandes rejetées	Harm Voortman	hvoortman@anatrans-bf.com	Bobo Dioulasso
FilSah	Filature du coton	Produisent une cinquantaine de tonne de déchets de types poussière/fines liées aux 5000MT de coton nettoyés	Salif KONATE Directeur comptable	filsah@fasonet – ksalif02@yahoo.fr 20975347	Bobo Dioulasso
Chambre régionale d'agriculture	Alimentation humaine	Ils veulent acquérir une ligne mobile de fabrication de jus de fruit	Ouattara Secrétaire Général	72377462	Bobo Dioulasso
UNERIZ (union nationale des étuveuses de riz)	Etuvage du riz.	Accompagnement à la création des fours à balle de riz	Ouedraogo Alimata, Secrétaire permanente	spuneriz@gmail.com 78427674	Bobo Dioulasso
Zono Soudure	Fabricant de four à balle de riz	Fabrication de foyers à balle de riz. Utilisation d'autres combustibles fins possible (copeaux et sciure de bois...) Prix varient selon la taille de 25 000 à 60 000 FCFA. Avantages : combustibles poudreux Inconvénients : détérioration du matériel par la flamme au fur et à mesure de l'utilisation, nécessité de maintenance, il faut être attentif pour remuer afin de faire descendre le combustible. Le foyer est utilisé pour la cuisine et pour la mise en vapeur du riz. Entre 1 et 1/2 sac de paille est nécessaire pour une cuisson complète.	M Zono, soudeur	78700116	Bama

Restaurants de Endeavour Mining	Restauration	Restaurants de la mine de Houndé. 500 à 2000kg/j de déchets : restes de repas et restes de fruits et légumes. Prétraitement par le service HSE de la mine qui consiste en un tri pour enlever tout ce qui est déchet plastique et autres déchets impropres à la consommation des animaux puis récupération par un groupement d'éleveurs de porcs « Dieu dirige » pour alimentation animale	Bondé Désiré, superviseur de la mine	67398167	Houndé
Association Dieu Dirige	Elevage porcin	15 membres de l'association se répartissent les déchets alimentaires des restaurants de la mine Endeavour Mining pour alimenter leurs porcs. Deuxième tri à leur niveau pour enlever tout ce qui est sachet plastique et déchets non-biodégradables. Epannage de l'excrément de porc dans les champs.	Mme Bonkian Jeanne, présidente	76196517	Houndé
SCOOPS Neema	Beurre de charité	Production de beurre de charité par barattage semi-industriel. Déchets produits : boues de barattage qui sont transformés en combustibles après formation de boules et séchage au soleil (3 à 5 jours). Ces boules sont utilisées comme combustible dans la cuisine et dans le processus de transformation (la torréfaction) des amandes de charité.	Mme SOME/Kambou Sikelle, directrice	scoopneema@gmail.com 76280919 - 76261574	Houndé
ONEA	Eaux usées	Station de collecte des eaux usées à Bobo. Les déchets produits sont les boues de décantation	M Kabore Directeur Régional	71083188	Bobo Dioulasso
PETRAMAB	Plateforme des transformateurs de mangue du Burkina	Regroupe une centaine d'unité de transformation dans le pays dont 70 dans les Hauts-Bassins. Rencontrent de grands problèmes pour la gestion de leurs déchets	Ouattara Mamadou, Président	76589415	Bobo Dioulasso
Innovation Technologique Incinérateurs	Incinérateurs	Fabrique d'incinérateurs pour tous types de déchets	Salif J. Piere Tondassé, Directeur	dondascopredo@yahoo.fr 71239939 78899912	Bobo Dioulasso
Lycée technique professionnel de Bobo Dioulasso	Jus de fruits	Détiennent une ligne mobile de fabrication de jus de fruits permettant de traiter les pommes de cajou ainsi que les déchets de mangue	Guel Salif, professeur, Responsable de la ligne	76616032	Bobo Dioulasso, Yegueré Secteur 22
Mme Bostal	Séchage de mangue, jus de fruits	Unité de mangue qui fait du jus avec ses déchets (noyaux et pulpe) sur la ligne mobile du lycée technique professionnel de Bobo. Autres sous-produits à base de mangue aussi (confitures etc)	Mme Bostal, gérante	75814545	Bobo Dioulasso, Lafiabougou
Trans-Co-Aliments	Jus de fruits (pomme de cajou)	Fais de nombreux jus de fruits sur la ligne mobile du lycée technique professionnel de Bobo et particulièrement du jus de pomme de cajou	Moussa Gue, directeur	70804095 76268028	Bobo Dioulasso
Wend Panga	Séchage de mangue, alimentation bétail	Fabrique des aliments bétail en petite quantité avec les déchets de mangue de l'unité. Déchets séchés au soleil ou dans les fours avec des claies adaptées avec un filet fin pendant 2 à 3h. Puis broyés grâce à un broyeur manuel. Mélange 50% déchets de mangue séchées et broyés – 50% de farine de Néré (1000F le sac de 50kg environ). Des tests ont aussi été fait avec des peaux de mangues qui étaient restées dans un milieu anaérobie (une fosse couverte) pendant 4 à 8 semaines. L'aliment produit avec ces peaux suivant la recette ci-dessus a été accepté par les animaux.	Pousga Kiendrebéogo	Pousgak2@gmail.com 63 14 21 82 / 74 19 35 01	Bobo Dioulasso, Oueszzin Ville

Dafani	Transformation de fruit tropicaux (mangue), jus de fruits	Problèmes dans la gestion de leurs déchets de mangue (1500MT/an sur 4 mois). Tous les déchets (mangues déclassées, peaux et noyaux de mangue) sont mélangés et stockés dans une grande fosse de 60 x 8 x 4 mètres. A la saison sèche, ils y mettent le feu autant que possible et avant la nouvelle saison des mangues ils curent la fosse et mettent le mélange de cendre et de noyaux non décomposés dans les terrains alentours.	Diakité, Chef de service encadrement et développement	70 08 57 90	Orodara
Abattoir frigorifique de Bobo Dioulasso	Abattage bovins, porcins et ovins. Sous-produits : asticots pour alimentation animale	Les déchets solides de types contenus stomacaux sont étalés à même le sol au sur des bâches et mélangés avec du sang et des poils. Ce mélange est laissé à l'air libre pour que les mouches puissent venir pondre dedans. Après 72h les asticots naissent. Ces asticots sont ensuite vendus aux élevages avicoles qui les mélangent avec du son de maïs pour nourrir leurs volailles. Les restes sont vendus pour épandage dans les champs à intervalle réguliers.	Sawadogo Justin, Responsable	78892426	Bobo Dioulasso, secteur 12
INERA	Alimentation animale	Ont menés des recherches sur la valorisation des déchets de la mangue en alimentation animale grâce à des mélanges avec des matières sèches. Publication de plusieurs études	Timbilfou Kiendrebeogo, chercheur	timbilfou@gmail.com 70223003	Bobo Dioulasso
SN Citec	Huile et tourteaux de coton	Valorisent leurs coques de coton en énergie thermique et électrique. La combustion de 21 000 MT de coque (PCI = 3750 kcal/kg) dans 2 chaudières différentes : • Une chaudière consommant 14 000 MT/an et produisant de l'énergie thermique pour le process • Une chaudière consommant 7 000 MT/an et alimentant un turbo-alternateur servant à produire de l'électricité à un coût de 15-20F/kWh. Ce turbo-alternateur a une puissance totale de 2,7MW mais la quantité de coques de coton disponibles ne permet de l'utiliser qu'à hauteur de 1,3MW. Le mélange des 15 000 MT de coques restantes avec le tourteau de coton et le soap stock (obtenu lors de la neutralisation de l'huile) afin de produire un aliment pour les animaux.	Fortuné BAKO, directeur général adjoint	fortune.bako@sncitec.bf 20972550/51 - 70215611	Bobo Dioulasso
Groupelement SOCOP Zemstaaba	Riz	Transformation du riz. Produisent 50 kg/j de déchets (balle plus riz brisée) qu'ils vendent aux éleveurs.	Valian Kadigueta, Responsable	77680242	Houndé
Noghofi	Compost	Fabrication de compost bio. Capacité de traitement de déchets de 100MT tous les 3 mois grâce à 20 bacs de compostage de 5MT chacun. Leur compost est fait de : feuilles de Nebie issues de l'agriculture, paille cultivée sur leur site et excréments de bœufs collectés auprès d'éleveurs de grande capacité de la zone. Les principaux problèmes pour augmenter leur production sont l'approvisionnement en déchets biodégradables ainsi que le manque de machines pour préparer les déchets au compostage et particulièrement un broyeur. Peut dispenser des formations en compostage pour les entreprises créatrices de déchets qui voudraient se lancer. La formation dure une semaine.	Abdoulaye Sidibe, gérant	76528931	Darsalamy / Bobo Dioulasso
Production énergie BAMA avec SNV	Energie / gazification	Gazeification de la balle de riz pour servir à la production d'énergie pour l'étuvage du riz	M Bationo	78010016	Bama
Menuiserie Bois	Bois	Produisent des déchets de bois (environ 500kg/mois) qui sont ensuite achetés par des femmes pour combustion dans des fours à balle de riz	OUATTARA Mamadou	70 35 77 05	Bobo Dioulasso

Coopake	Transformation anacarde, séchage de mangue, séchage de peau d'orange, séchage de citron	179MT/an de déchets de mangue produits, citron 37 tonnes transformés, Orange 199 tonnes de déchets produits (ratio 7kg d'orange pour 1 kg de peau) Valorisation : Construction de bassin (fosse à compost) pour le stockage des déchets dans le but d'en faire du compost. Utilisation des coques d'anacarde dans un pyrolyseur pour création d'énergie thermique	Souleymane Konate, Gérant	76515574	Orodara
Association Dounia	Transformation du Manioc	Le groupement transforme 2 à 4MT/jour de manioc brut. Les principaux déchets solides sont les épluchures, tiges, feuilles et racines mais ne posent pas trop de problèmes car sont vendus/donnés pour alimentation animale direct (porc et bétail). Les épluchures peuvent se conserver 2 à 3 jours sans séchage. Les déchets liquides sont plus problématiques et concerne l'eau fermentée issue de la transformation de l'attiéké. Eaux odorantes qui sont seulement relâchées en milieu urbain et dérangent le voisinage.			Orodara
Groupement Relwende	Décorticage d'arachide	Groupement de 60 femmes qui décortiquent des arachides. Les coques et pellicules forment des tas devant les unités qui restent jusqu'à l'hivernage. Elles sont récupérées pendant l'hivernage par les agriculteurs pour faire du compost dans des fosses fumières ou en épandage dans les champs. Les pellicules sont mélangées à ce tas de coques. Les feuilles sont conservées pendant l'hivernage. Elles sont séchées pour nourrir les animaux (boeufs, mouton porcs) pendant la saison sèche.	Sawadogo Aminata, responsable	57640817	Houndé
RPBHC	Production de beurre de karité	45 MT/an de déchets sous forme de tourteaux. Le tourteau est pressé sous forme de briquettes grâce à une briqueteuse électrique afin d'alimenter le process en énergie thermique, principalement la torréfaction des amandes et l'ébouillantage du beurre.	Oumar Tiémogo CISSE, coordinateur		Bobo Dioulasso

Annexe 2. Développeurs technologiques et équipementiers

Structure	Types de technologie développés ou fabriqués	Lieu	Contact
INERA	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale à base de déchets de mangue 	Bobo Dioulasso	Timbilfou Kiendrebeogo, chercheur timbilfou@gmail.com +226 70223003
NITIDAE	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale à base de déchets de mangue Pyrolyse H2CP 	Bobo Dioulasso	contact@nitidae.org +226 73168337 +226 64802009 www.nitidae.org
FUNTENI	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation animale à base de déchets de mangue Extraction d'huile de CNSL Pyrolyse H2CP Carbonisation 	Bobo Dioulasso	info@funteni.com +226 73217342 +33 626948813 www.funteni.com
NoghoFi	<ul style="list-style-type: none"> Compost 	Bobo Dioulasso	Abdoulaye Sidibe, gérant 76528931
Zono soudure	<ul style="list-style-type: none"> Four à balle de riz 	Bama	M Zono, soudeur 78700116
ASBF	<ul style="list-style-type: none"> Pyrolyse H2CP Carbonisation 	Bobo Dioulasso	Boni Boni, soudeur 63991670 - 67212122
ASIS	<ul style="list-style-type: none"> Pyrolyse H2CP Carbonisation Presses à briquettes 	Bobo Dioulasso	Didier Ouedraogo, soudeur 70151183 - 65058576
Nakou Production	<ul style="list-style-type: none"> Presses à briquettes 	Bobo Dioulasso	Boukary Nakolemda nakouproduction@gmail.com 70183543 - 76661840
PNB-BF (Programme National des Biodigesteurs)	<ul style="list-style-type: none"> Biodigesteurs 	Ouagadougou	Gwladys Sandwidi. Responsable technique tsb2@pnb-bf.org 76061310 www.pnb-bf.org
H2E	<ul style="list-style-type: none"> Biodigesteurs 	Bobo Dioulasso	Mamadou Korbeogo, soudeur 70716571
SNV	<ul style="list-style-type: none"> Gazogène à balle de riz 	Bobo Dioulasso	Martin Van Dan mvandan@snv.org

Green cross	<ul style="list-style-type: none"> • Compost et Activeurs de compost 	Ouagadougou	greencross.burkinafaso@gmail.com +226 70 20 41 61
--------------------	---	-------------	--

Annexe 3. Investissement et coût d'exploitation d'une unité de valorisation des déchets de la mangue en alimentation animale

Les données du document publié par le Dr Tiendrebéogo servent de base pour mettre en place un modèle économique en considérant 100 jours de production. Pour le PMS : 1 183 kg/jour d'épluchures de mangues utilisée, soit 118,3 tonnes pour une activité complète. Pour le PPS : 1 333 kg/jour de mélange d'épluchures et de pulpes de mangue, soit 133,3 tonnes pour une activité complète ; soit un total de 252 tonnes de déchets de mangue humides valorisées pour obtenir 185 tonnes de provende de mangues

CAPEX - Investissement

Les investissements considèrent un espace de stockage du produit fini (hangar et dalle), et une surface couverte avec des cailloux sauvages (mais elle pourrait être dallée avec un investissement plus important).

Pour les quantités de déchets considérées, la surface de séchage est grande : 1 733 mètres carrés. L'espace de séchage ne ferait pas partie des investissements mais des charges d'opération, si on considère que le terrain est en location.

L'investissement initial total est estimé à 9 291 975 FCFA.

CAPEX - Equipment permanent	Unités	P. unitaire [FCFA]	Total [FCFA]
Aménagements : hangar	1	1 093 750	1 093 750
Aménagements : stockage, m²	56	1 000	56 000
Aménagements : hangar séchage, m²	1733	1 000	1 732 500
Broyeuse trieuse	1	1 750 000	1 750 000
Malaxeuse	1	1 975 000	1 975 000
Moulin	1	1 800 000	1 800 000
Cuvettes (100L)	4	10 000	40 000
Autres investissements			-
Coûts financiers	10%		844 725
Total CAPEX			9 291 975

OPEX - Coûts d'exploitation

Deux types de provende sont produits : le type « PMS » contenant seulement les peaux de mangue (épluchures) et le son de maïs ; et le type « PPS » qui contient en plus la pulpe de mangue. Les coûts de production ont été calculés à 76 et 107 FCFA/kg de provende. Les ventes à réalisées considèrent 30% de marge de bénéfice, soit des prix par kg de 99 et 139 FCFA respectivement pour les provendes PMS et PPS. Pour indication, le mélange vendu à Bobo-Dioulasso à destination de l'alimentation de volaille est vendu entre 240 et 280 FCFA/kg. Le tourteau de coton, prisé par les éleveurs de ruminants, est vendu entre 112 et 135 FCFA/kg.

Le résultat d'exploitation annuel serait ainsi de 5 071 724 FCFA. Le temps de retour sur investissement (TRI) serait de 2 ans.

OPEX - Coûts de production, annuel	Unités	P. unitaire [FCFA]	Total [FCFA]
Peau de mangue, tonnes	118	-	-
Peau de mangue + pulpe, tonnes	133	-	-
Son de maïs, tonnes	141	75	10 537 500
Personnel	3	50 000	1 100 000
Transport matière première, FCFA/tonne	141	1 000	140 500
Terrain (location)	12	50 000	600 000

Tenue de travail	3	5 000	15 000
Bâche plastique séchage (5*5m)	63	5 000	315 000
Bâche plastique hangar (5*5m)	8	5 000	40 000
Eau, L	20 000	1	20 000
Electricité, kWh	15 720	108	1 697 760
Sacs plastiques	7 631	200	1 526 250
Fils et aiguilles		100	30 800
Maintenance, FCFA/mois	4	25 000	100 000
Dotation aux amortissements	1	656 575	656 575
Autres dépenses courantes			-
Total OPEX			16 779 385

Annexe 4. Fiche technique du four à pyrolyse H2CP

Fiche technique du four à pyrolyse

High Calorific Cashew Pyrolyser : Valorisation des coques d'anacarde



Objet : Produire proprement de l'énergie et du bio-charbon à partir de coques d'anacarde tout en améliorant les conditions de travail des ouvriers.

Production :

- Jusqu'à 1 T de coques traitées par jour
- Jusqu'à 150 kg de bio-charbon produit par jour
- 500 kW
- Couplé à une chaudière verticale ou horizontale : Production de vapeur pour le process.

Economie :

- Un déchet valorisé
- Valeur commerciale du bio-charbon
- Coût de l'achat du bois et du gaz

Environnement :

- Gestion durable des déchets
- Suppression des fumées de combustion
- Diminution des émissions de GES



Mode d'intervention :

- Analyse des besoins
- Fabrication du matériel adapté
- Installation et formation des employés

Matériel complémentaire :

- Chaudière
- Autoclave de cuisson des noix
- Séchoir d'amande
- Autre équipement nécessitant de la chaleur (cuve de traitement d'huile, séchoirs de fruits...).

Annexe 5. Synthèse des pyrolyseurs H2CP installés

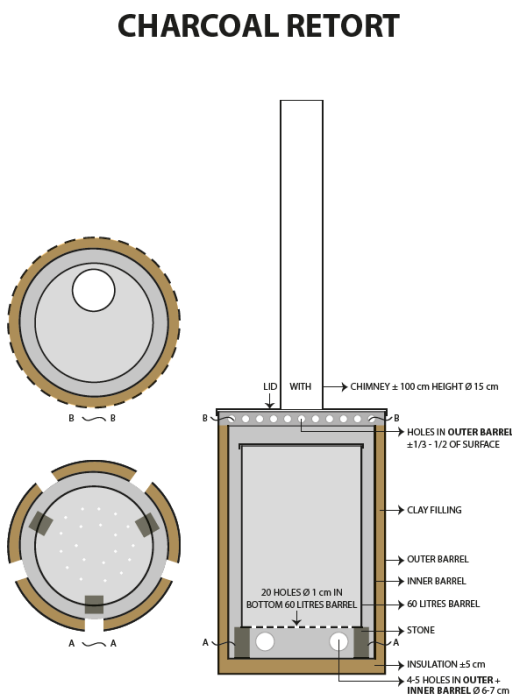
NO	Nom de l'unité	Ville	Pays	Dimensions H2Cp (hxD)	Date de mise en service	Utilisation
1	Gebana Afrique	Bobo-Dioulasso	BF	150x150	mars-16	Cajou - cuisson
2	Gebana Afrique	Bobo-Dioulasso	BF	140x130	févr-17	Cajou - choc thermal et séchage
3	GTransCa	Bobo-Dioulasso	BF	140x130	sept-17	Cajou
4	GIE YANTA	Bobo-Dioulasso	BF		mai-14	Cajou
5	Tensya Taga	Taga	BF	140x130	sept-17	Cajou
6	Huilerie Céleste	Bobo-Dioulasso	BF		oct-16	Huile coton
7	Huilerie Habibou	Bobo-Dioulasso	BF			Huile coton
8	Huilerie Tondé	Bobo-Dioulasso	BF			Huile coton
9	KaKe-5	Savalou	Bénin	125x120		Cajou
10	Nad&Co	Tchaourou	Bénin	125x120		Cajou
11	Agroplateforme	Koumantou	Mali			Cajou
12	Sobery	Bouaké	RCI		août-19	Cajou - cuisson
13	Africa Négoce	Bouaké	RCI	180x150		Cajou
14	COPABO	Bondoukou	RCI	140x130		Cajou
15	Gebana Afrique	Bobo-Dioulasso	BF		févr-19	Séchage mangue
16	COOPAKE	Orodara	BF	130x130	mai-17	Cajou
17	Huilerie Traoré	Bobo-Dioulasso	BF			Huile coton
18	SITAB		BF			
19	UGF/CDN	Réo	BF		déc-18	
20	Fédération NUNUNA	Léo	BF		août-18	
21	CaSa	Bouaké	RCI			
22	STCPA	Ferkéssédougou	RCI			

Annexe 6. Fiche technique du « petit réacteur charbon »

La production du charbon à partir de coques d'anacarde peut se faire dans un réacteur spécifiquement conçu pour cela. Le type de réacteur efficace, mais adapté aux conditions locales, est basé sur un processus batch. La conversion des coques en charbon est **18%** de la masse.

Le réacteur

Le réacteur charbon est fait avec des matières premières locales. Une barrique de 200 litres forme la base du réacteur. A l'intérieur de la barrique un récipient métallique est posé, qui a une **capacité de 29,6 kg (cinq seaux) de coques**. Cela résulte en 5,4 kg de charbon.



Le processus et la manipulation

Le processus est un processus *batch* (par lots) qui **prend 8 à 10 heures**. Le charbon sortant est complètement libre de substances nuisibles.

1. Le récipient interne est rempli des coques.
2. L'espace entre le récipient interne et la barrique est remplie avec un combustible (mélange des coques avec l'herbe). Le feu est démarré dans cet espace.
3. La barrique est fermée lorsque le gaz échappe.
4. Lorsque le processus est terminé, les coques carbonisées doivent se refroidir pendant environ 6 heures. Cela se fait dans la barrique fermée. Il est possible de verser les coques dans un autre récipient qui est hermétiquement fermé, pour permettre au réacteur de tourner un autre batch.
5. Après le refroidissement, les coques carbonisées sont prêtes pour la combustion.

Il est possible de faire **2 lots par jour**.

Les coques carbonisées peuvent être utilisées comme combustible directement.

Si souhaité, les coques carbonisées se transforment en briquettes par un pressage, à la main ou avec une presse mécanique. Un liant (amidon de manioc) est ajouté pour cela. Si le réacteur est alimenté avec du tourteau de coques, il est impératif d'en produire des briquettes.

Le produit : charbon de coques d'anacarde

Le charbon de coques est plus léger que le charbon de bois, car les coques qui sont la matière première sont moins denses que le bois. Pourtant, c'est grâce à cela que **le charbon de coques est plus facile à allumer que le charbon de bois**. Le charbon de coques brûle aussi plus vite que le charbon de bois, et de ce fait **il chauffe l'eau plus vite**. Lors de son utilisation, il faut logiquement mettre plus de quantité que pour le charbon de bois. C'est pour cela que son prix de vente dans sachet ou boîte de tomate, est plus petit que le charbon conventionnel : 25F la boîte de tomate, contre 50F pour la boîte de charbon de bois.

Le charbon de coques est donc **idéal pour des cuissons rapides : préparation du thé, chauffage de l'eau, grillades**.

Pour une cuisson qui allie les avantages des deux types de charbon, **il est tout à fait possible de mélanger le charbon de coques au charbon de bois**, ce qui va accélérer la cuisson.

Une solution pour faire le charbon de coques plus lourd c'est sa densification, en forme de briquettes. Les briquettes peuvent être vendues au même prix que le charbon de bois.

Les substances nocives contenues dans les coques d'anacarde disparaissent pendant la production du charbon. Il est quand-même possible qu'il dégage une petite quantité de fumée dans les premières minutes de combustion. Celle-ci n'est pas dangereuse pour la santé, et contribue à l'allumage plus rapide.

La consommation de 1 kg de charbon de coques remplace entre 0,7 et 1,2 kg de charbon de bois, selon le foyer³⁴. Ce qui a un effet indirect sur la réduction de la déforestation, car la consommation de charbon de bois est diminuée. De plus, les coques étant un déchet polluant, par kg de charbon nous traitons 10 kg de déchets de coques, qui autrement allaient polluer le sol.

Le rendement économique et les hypothèses

À l'aide de l'outil informatique, vous pouvez calculer les rendements de votre modèle d'affaires pour une production de charbon à base de ce type de réacteurs – ou d'autres ! **N'hésitez pas à nous contacter pour avoir un appui et conseil personnalisé pour développer votre plan d'affaires. C'est complètement gratuit.**

Pour obtenir une production rentable, il est conseillé de prendre **minimum 10 réacteurs**. Considérant un rythme de travail de 25 jours par mois, pendant toute l'année, et une production de deux lots par jour, il est possible d'avoir une production totale de **32 tonnes de charbon** par an.

Les investissements

Les équipements suivants sont nécessaires :

Dénomination	Coût estimatif
Réacteurs , l'unité	200 000
Structure de stockage : hangar de 4x2m	20 000
Équipements de manutention : une brouette, une pelle, un grattoir, barrique 200L, d'autres petits récipients	56 000
Consommables : sacs PP, gants et cache-nez, eau	92 000

Avec un dispositif de 10 réacteurs, les coûts d'investissement sont de **2 168 000 FCFA**.

Une dalle pour permettre le séchage et étalage du charbon est hautement recommandée.

Le charbon de coques ayant un marché avec cette forme les équipements de fabrication des briquettes sont optionnels. Pour une fabrication manuelle des briquettes, les matériels sont les suivants : un marteau, un pilon et mortier, des moules métalliques. Le tout est estimé à 20 000. Les consommables sont le gommy blanc et l'eau.

Les charges d'opération :

³⁴ Résultats des Tests d'Ébullition de l'Eau comparatifs, entre charbon de bois et charbon d'anacarde. Pour bien comparer les combustibles, le même foyer est utilisé pour chaque test.

- La matière première : les coques d'anacarde n'ont pas une valeur économique. Le prix considéré est 0. Mais cette situation est liée à l'absence de valorisation économique des coques dans les usines. Si cela se développe, les usines vont plutôt donner du tourteau de coques de manière gratuite, ce qui est plus facile à carboniser, et peut se vendre en briquettes.
- Le combustible d'initiation du feu : pour chaque réacteur charbon, il faut brûler environ 23,5 kg de coques et/ou autres déchets comme feuilles, branches, etc.
- Le personnel : le réacteur ne demande pas une main d'œuvre constante, mais surtout lors de la charge et décharge du réacteur et la supervision du processus. Une personne peut faire la charge, décharge et nettoyage des réacteurs à chaque fois. **Pour faire deux lots de charbon par jour, il faut 2 personnes.** Pour le briquetage manuel, les mêmes personnes peuvent s'en occuper pendant l'opération des réacteurs. Une somme forfaitaire de 50.000 CFA/mois est prise comme référence. L'activité peut se faire tout au long de l'année.
- Le transport : les coûts d'acheminement des coques depuis l'usine vers le site de production de charbon dépendent de la distance entre les deux. Pour minimiser ces coûts, le meilleur est de choisir un site de production de charbon non loin d'une usine. Le transport du produit charbon vers les clients est aussi important, mais le charbon étant moins lourd que les coques ce coût est moins important. Un coût de 500 FCFA/tonne est considéré dans notre estimation.
- Consommables : pour la manipulation et la sécurité du personnel, du matériel à hauteur de 95 000 FCFA/an est estimé (voir détails dans le Tableau ci-dessus).

Les revenus :

Le prix de vente s'aligne avec le prix du charbon sur le marché en détail. Prix de vente de la tonne de charbon :

- Pour le charbon vendu au détail, un prix de 83 000 FCFA/tonne est pris comme référence. Cela correspond à un prix de **25F par boîte de tomate**.
- Pour les industriels, le prix moyen est 67 000 FCFA/tonne, mais les prix varient entre 60.000 et 79.980 FCFA/tonne. Le prix dépend surtout de la saison et de la disponibilité du charbon sur le marché³⁵. Les industriels sont preneurs de charbon de moins bonne qualité que les ménages, mais souvent leur préférence est pour les briquettes. Ceci permettrait d'écouler les stocks de charbon présentant des défauts (pas bien carbonisé).

L'hypothèse dans notre exemple est que 80% de la quantité est vendue pour le marché au détail et 20% aux industries.

³⁵ Source: Rapport étude de marché pour les briquettes carbonisées de l'anacarde au Burkina Faso, juillet 2017

Annexe 7. Fiche technique de la presse à vis motorisée

In waste we trust

Fiche technique de la presse à vis motorisée

Objet : Compacter le tourteau poudreux de karité et de charbon de coques de cajou sous forme de briquettes combustible pour utilisation en foyers de cuisson et torréfacteur.

Production :

- 200 kg de briquettes sèches par heure
- 2 opérateurs
- Moteur 380 V – 1,5 à 2 CV

Economie :

- Un déchet valorisé
- Plus de bois à acheter
- Valeur commerciale des briquettes

Environnement :

- Gestion durable des déchets
- Lutte contre la déforestation
- Diminution des émissions de GES



Mode d'intervention :

- Analyse des besoins
- Fabrication du matériel adapté
- Installation et formation des employés

Matériel complémentaire :

- Fosses de décantation améliorée pour récupération du tourteau
- Aire de séchage
- Foyers améliorés
- Torréfacteurs améliorés

Annexe 8. Synthèse des presses à vis motorisée installées

Structures	Branche d'activité	Localisation	Nombre de presses Installées	Déchets valorisés
UGPPK-H	Karité	Bobo-Dioulasso	1	Tourteau de karité
SEEPAT	Commercialisation de briquettes de karité et de charbon de coques d'anacarde	Bobo-Dioulasso	1	Tourteau de karité Charbon de coques d'anacarde
UGF/CDN	Karité	Réo	1	Tourteau de karité
Fédération NUNUNA	Karité	Léo	2	Tourteau de Karité
FUAPROKA	Karité	Ouagadougou	2	Tourteau de karité
WOMIGNON	Karité	Ferkessedougou (RCI)	1	Tourteau de karité