



Ministère du Commerce,
de l'Industrie et de l'Artisanat



Rapport intermédiaire 18/06/2021

Etude portée par le Conseil Burkinabè de l'Anacarde.

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

Etude de faisabilité Valorisation de la coque de noix de cajou Burkina Faso



info@funteni.com

+226 73217342
+33 (0)6 26948813

Secteur 16, Bobo Dioulasso,
Burkina Faso

Simon VILLARD
Assane BAMOGO



contact@nitidae.org

+226 73168337
+226 64802009
+33 (0)9 73661017

Secteur 16, Bobo Dioulasso,
Burkina Faso

Julia ARTIGAS SANCHO

SOMMAIRE

Sommaire.....	2
Glossaire.....	4
Introduction	5
1 Gisements de coques et impacts	7
1.1 Quantités de coques actuelles et en 2024	7
1.1.1 Capacité installée et prévision de transformation en 2021	7
1.1.2 Prévision de capacité installée de transformation d'ici 2024	7
1.1.3 Prévisions des quantités de coques à traiter en 2024	8
1.1.4 Coûts logistiques du transport de coques	9
1.2 Mode de gestion actuel	10
1.2.1 Combustion en chaudière	11
1.2.2 Entreposage.....	13
2 La coques et ses sous-produits.....	15
2.1 Description de la coque et de ses sous-produits.....	15
2.1.1 Coques.....	15
2.1.2 CNSL	16
2.1.3 Tourteau de coque déshuilé.....	19
2.1.4 Charbon de coques.....	19
2.2 Potentiels marchés.....	20
2.2.1 CNSL	20
2.2.2 Tourteau de coques	27
2.2.3 Charbon de coques.....	32
2.2.4 Electricité.....	33
3 Méthodes et scénarios de valorisation	34
3.1 Méthodes de valorisation	34
3.1.1 Extraction mécanique.....	34
3.1.2 Carbonisation – pyrolyse.....	35
3.1.3 Production d'électricité	37
3.2 Scénarios	38
3.2.1 CNSL + tourteau	39
3.2.2 CNSL + charbon	42
3.2.3 CNSL + électricité + charbon	44
3.2.4 CNSL + électricité	46
3.2.5 Electricité + charbon.....	48

3.2.6	Electricité.....	50
4	Proposition de voie valorisation.....	51
4.1	Justification du choix : scénario 1 : extraction mécanique.....	51
4.2	Premiers éléments de dimensionnement d'une unité d'extraction mécanique.....	54
	Annexe 1 : Liste des structures rencontrées lors de l'étude.....	58
	Annexe 2 : Capacité de transformation d'anacarde installée et prévisions de transformation en 2021. Etude réalisée par Nitidae.....	60
	Annexe 3 : Capacité de transformation d'anacarde installée en 2021. Etude réalisée par ANTA-BF	61
	Annexe 4 : Résines de CNSL pour revêtement de surface.....	62

GLOSSAIRE

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

ARSE : Agence de Régulation du Secteur de l'Energie

CBA : Conseil Burkinabè de l'Anacarde

CNSL : Cashew Nut Shell Liquid

CNSL-T : CNSL technique

cSt : centistokes

DDO : Distillate Diesel Oil

EXW : Exwork

FCFA : Francs CFA

FOB : Free On Board

HFO180 : Heavy Fuel Oil 180

j : jour

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

kW_e : kilowatt électrique (unité de puissance)

L : litre

m³ : mètres cubiques

MJ/kg : mégajoules par kilogramme (énergie par unité de poids)

MT : tonne

MW : mégawatt

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

RCN : noix de cajou brute

T : tonne

INTRODUCTION

L'anacardier est une espèce arboricole originaire du Brésil qui a été apportée en Afrique, comme essence de reforestation, depuis les années 1970 du fait de ses qualités d'adaptation à des conditions pédologiques et climatiques difficiles. Aujourd'hui, l'anacardier est principalement cultivé pour sa noix. Chaque année, 45 000 ménages produisent sur 255 000 hectares (ha) près de 100 000 tonnes de cajou au Burkina Faso. Plus précisément, la production a atteint 95 000 tonnes en 2019, en hausse de 11,8% par rapport à 2018. La transformation locale est encore timide mais elle progresse. De 5 000 tonnes en 2017, elle a grimpé à 9 000 tonnes en 2019¹.

L'augmentation prévue de la transformation dans le pays dans les années à venir va faire se multiplier les déchets liés à la transformation et principalement la coque de noix de cajou qui en est le principal.

Au travers de cette étude le but est de trouver des voies de valorisation implémentables et viables économiquement localement. Pour cela nous avons procédé comme suit :

1. Détermination des volumes actuels de coques produites et de leur voies d'utilisation/évacuation
2. Détermination des quantités les plus probables de coques produites à horizon 2024 et par situation géographique
3. Caractérisation de la coque et de ses différents sous-produits afin de comprendre de quels produits actuellement disponibles sur le marché ils se rapprochent
4. Comparaison des potentiels produits auxquels la coque et ses sous-produits pourraient se substituer et leurs prix
5. Analyse des potentiels marchés et clients pour chacun des produits que l'on peut tirer de la coque
6. Explication des différentes méthodes de valorisation sur le plan technique
7. Analyses économiques de différents scénarios (06) de valorisation pouvant croiser plusieurs méthodes de valorisation et plusieurs produits et donc plusieurs potentiels marchés. Détermination des fourchettes de coût de reviens, de coûts de vent et donc de bénéfices pour chacun de ces scénarios
8. Proposition du ou des scénarios les plus rentables et les plus viables avec quelques premiers éléments de dimensionnement pour les scénarios retenus

Pour obtenir toutes ces informations, de nombreuses visites ou rencontres ont été organisées comme détaillé dans l'*Annexe 1 : Liste des structures rencontrées lors de l'étude* p.58, que ce soit avec des structures productrices de coques, des potentiels clients ou des structures étatiques d'accompagnement et de structuration.

En fonction des retours du Comité Technique de Suivi, un de ces scénarios sera approfondi dans la suite de l'étude avec notamment :

- Chiffrage précis de l'unité de valorisation : OPEX, CAPEX et besoins en fonds de roulement
- Analyse des mécanismes incitatifs du Code des investissements qui pourraient profiter à la mise en œuvre du projet
- Etablissement du plan d'affaire
- Analyse de sensibilité : détermination des paramètres clés de rentabilité
- Proposition d'un plan de financement et du statut de l'unité

¹www.cba.bf/index.php/component/k2/item/419-la-campagne-de-commercialisation-2020-de-la-noix-de-cajou-ouverte-au-burkina

- Analyse des opportunités de financement par des tiers : PTF nationaux, internationaux et secteur privé
- Choix et justification du statut proposé pour l'unité de référence
- Établissement du Plan de financement

1 GISEMENTS DE COQUES ET IMPACTS

1.1 Quantités de coques actuelles et en 2024

1.1.1 Capacité installée et prévision de transformation en 2021

A l'heure actuelle les capacités de transformation maximale d'anacarde au Burkina Faso sont estimées à environ 30 000MT/an avec des quantités prévues de transformation avant la campagne et pour 2021 d'environ 17 000 MT/an. Cela nous donne des taux de charge des unités d'environ 60%, bien qu'avec de grosses disparités suivant les unités.

En décomposant les capacités et les prévisions de transformation par localité et par région on obtient le tableau ci-dessous. Celui-ci nous montre que la très grande majorité des capacités se trouvent dans les Hauts-Bassins avec 76% et particulièrement à Bobo Dioulasso qui a lui seul concentre 66% des capacités de production du pays, notamment via une grande unité et trois moyennes. Orodara concentre quant à elle presque 10% des capacités de transformation du pays grâce à plusieurs groupement semi-artisanaux.

Banfora arrive en seconde position notamment grâce à une moyenne unité de production mais celle-ci rencontre actuellement des difficultés financières et ne peut tourner à plein régime.

Les autres localités/régions ne concentrent que des capacités de transformation minimales aujourd'hui à notre connaissance.

Tableau 1. Capacité maximale et prévision de transformation par localité et par région en 2021²

Région	Localité	Capacité maximale (MT RCN/an)	% des capacités maximales installées par localité	% des capacités maximales installées par région	Prévision de transformation 2021 (MT RCN/an)
Hauts-Bassins	Bobo-Dioulasso	20 300	66,7%	76,7%	14 635
	Diéri	100	0,3%		85
	Orodara	2 930	9,6%		770
Cascades	Banfora	5 000	16,4%	23,0%	1 670
	Bérégadougou	2 000	6,6%		585
Boucle du Mouhoun	Lanfiéra	100	0,3%	0,3%	85
Total		30 430			17 830

1.1.2 Prévision de capacité installée de transformation d'ici 2024

Dans le cadre de la dynamisation des filières à fort potentiels de création de richesse et d'emploi, le Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat a lancé l'« Initiative Anacarde » en vue d'améliorer

² Annexe 2 : Capacité de transformation d'anacarde installée et prévisions de transformation en 2021. Etude réalisée par Nitidae p.57 et Annexe 3 : Capacité de transformation d'anacarde installée en 2021. Etude réalisée par ANTA-BF p.58

le niveau de transformation de la filière au Burkina Faso. Dans cet optique l'axe n°1 porte sur la mise en place de 24 unités de transformation d'ici 2024 et réparties selon le tableau ci-dessous.

Tableau 2. Planification de la mise en place de nouvelles unités de transformation de transformation de la noix d'anacarde d'ici 2024³

10 000 T de noix	5 000 T de noix	500 T de noix	Total/Région	Capacité noix (T)
Région des Hauts-Bassins				
02	03	02	07	36 000
Région des Cascades				
-	02	02	04	11 000
Région du Sud-Ouest				
-	-	02	02	1 000
Région du Centre-Ouest				
-	-	02	02	1 000
Région du Centre				
	01	02	03	6 000
TOTAL GENERAL			18	55 000

La capacité nouvellement mise en place prévue d'ici 2024 au Burkina Faso est donc de 55 000 MT de noix brute transformée par an dans un scénario ambitieux et optimiste. Une fois de plus la région des Hauts-Bassins et des Cascades seront fortement représentées avec des estimations d'installation respectivement de 65% et de 20% du total. Ces valeurs sont des prévisions et seront bien évidemment dépendants des investisseurs et des entrepreneurs qui voudront s'installer.

Si l'on additionne les 30 000 MT de capacités maximales déjà installées et les 55 000 MT de prévisions de mise en place on obtient des **quantités théoriques installées en 2024 de 85 000 MT de noix par an**. De ce total les Hauts Bassins représentent la plus grande majorité avec 70% des capacités comme résumé dans le Tableau 3 ci-dessous.

1. 1. 3 Prévisions des quantités de coques à traiter en 2024

Comme vu dans le *Tableau 1. Capacité maximale et prévision de transformation par localité et par région en 202*, les unités sont en général loin d'atteindre le 100% de leur capacité maximale de transformation et ils atteignent même plutôt entre 40 et 60% selon les années. De plus les prévisions ambitieuses de l'« Initiative Anacarde » ne sont pas forcément vouées à être réalisées à 100% d'ici 2024 vu la forte concurrence des autres pays transformateurs, notamment asiatiques et Ivoirien.

Trois scénarios ont donc été envisagés d'ici 2024 :

- **Optimiste** avec des transformations effectives annuelles de 85 430 MT de noix par an dans le pays,
- **Moyen**, correspondant à 50% du scénario optimiste, avec des transformations effectives annuelles de 42 715 MT de noix par an dans le pays,
- **Pessimiste**, correspondant à 25% du scénario optimiste, avec des transformations effectives annuelles de 21 358 MT de noix par an dans le pays,

³ Conçu à partir de la Plaquette « Initiative Anacarde » du Ministère du Commerce, de l'Industrie et de l'Artisanat

Pour chacun des scénarios, les quantités de coques produites ont été estimées avec un rendement de 70%.

Tableau 3. Quantités estimatives de noix brutes transformées et de coques produites en 2024 et par région, selon trois scénarios

			Scénario optimiste		Scénario moyen		Scénario pessimiste		% des capacités installées par région
	Capacité maximale nouvellement installée 2020-2024 (Prévision, MT RCN/an)	Capacité maximale installée 2021 (MT RCN/an)	Capacité maximale installée 2024 (MT RCN/an)	Volume théorique coques produites (MT/an)	Production estimative 2024 avec taux de charge de 50% (MT RCN/an)	Volume théorique coques produites (MT/an)	Production estimative 2024 avec taux de charge de 25% (MT RCN/an)	Volume théorique coques produites (MT/an)	
% de coques				70%		70%		70%	
Hauts-Bassins	36 000	23 330	59 330	41 531	29 665	20 766	14 833	10 383	69%
Cascades	11 000	7 000	18 000	12 600	9 000	6 300	4 500	3 150	21%
Sud-ouest	1 000	-	1 000	700	500	350	250	175	1%
Centre-ouest	1 000	-	1 000	700	500	350	250	175	1%
Centre	6 000	-	6 000	4 200	3 000	2 100	1 500	1 050	7%
Boucle du Mouhoun	-	100	100	70	50	35	25	18	0%
Total	55 000	30 430	85 430	59 801	42 715	29 901	21 358	14 950	
Total de coques produites par jour au Burkina Faso (si 300 jours de production par an, MT/j)				199		100		50	
Total de coques produites par jour dans les Hauts Bassins (si 300 jours de production par an, MT/j)				138		69		35	
Total de coques produites par jour à Bobo Dioulasso (si Bobo correspond à 90% des volumes des Hauts Bassins, si 300 jours de production par an, MT/j)				125		62		31	

Le tableau montre aussi les quantités produites par région, les Hauts Bassins représentant presque 70% du volume totale quel que soit le scénario. On peut considérer que ces volumes se partageront entre Bobo Dioulasso et Orodara, et d'après les capacités installées actuelles qui suivent une répartition de 90%-10% respectivement dans la région, on estime que Bobo Dioulasso concentrera 60% des activités de transformations du pays. Cela correspond à des volumes annuels de coques de 18700 MT et a des volumes journaliers de 62 MT **selon le scénario moyen**, et Orodara 10%.

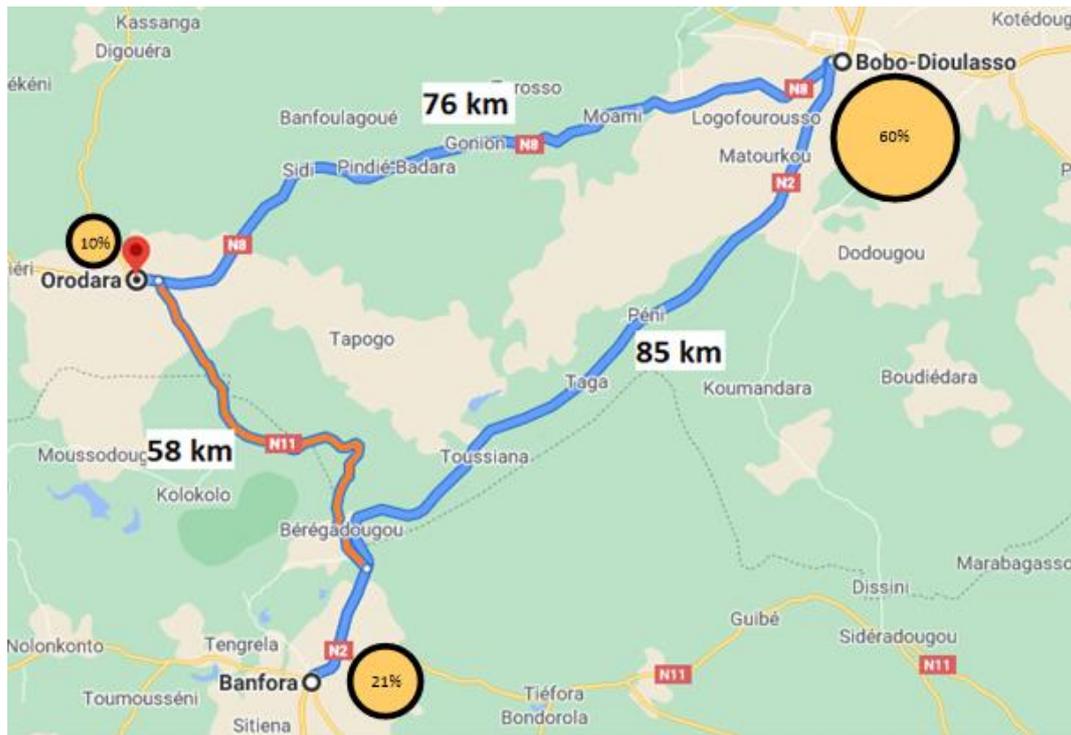
1.1.4 Coûts logistiques du transport de coques

Les 3 principaux pôles de la transformation d'anacarde sont Bobo Dioulasso, Banfora et Orodara. Au niveau géographique :

- Bobo Dioulasso et Orodara sont séparées de 76 km de route goudronnée.
- Bobo Dioulasso et Banfora sont séparées de 85 km de route goudronnée.
- Orodara et Banfora sont séparées de 58 km dont 45 km de piste.

Figure 1. Carte du réseau routier existant, des distances et des pourcentages de capacités de transformation d'anacarde entre les villes de Bobo Dioulasso, Orodara et Banfora. ⁴

⁴ Carte Google Maps modifié par Fúnteni Installations et Conseil



Légende : Les routes goudronnées sont représentées en bleu et les pistes en orange

Le prix du transport de marchandises entre les trois villes de Bobo Dioulasso, Orodara et Banfora est à peu près équivalent et se situe entre 20 000 et 25 000 FCFA/MT de marchandise, sans compter les sacs, le chargement et le déchargement. En comparaison, le transport intra-urbain se situe aux alentours de 1500 à 3000 FCFA/MT⁵.

Le transport depuis d'autres localités plus éloignées est supérieur.

En considérant que la coque n'est pas une marchandise avec une grande valeur ajoutée et le coût du transport interurbain il semble à première vue assez compliqué et peu rentable de transporter les coques d'une ville à l'autre pour les transformer. De plus le transport intra-urbain peut se réaliser en vrac par l'intermédiaire de camion bennes ce qui évite d'avoir à payer pour chaque trajet les sacs plus le chargement et le déchargement qui sont estimés à 4500 FCFA/MT⁶, contrairement au transport interurbain. **L'hypothèse faite est que l'unité de valorisation des coques potentiellement la plus rentable serait une unité ne s'approvisionnant qu'en coques sur une distance très proches et donc venant de la même localité.** Pour la suite des calculs cette hypothèse a donc été utilisée en prenant en considération seulement la ville de Bobo Dioulasso, plus grand pôle producteur de coque d'anacarde du pays. Les différentes conclusions pourront être adaptées afin de répliquer le modèle dans d'autres localités moins productrices de coques.

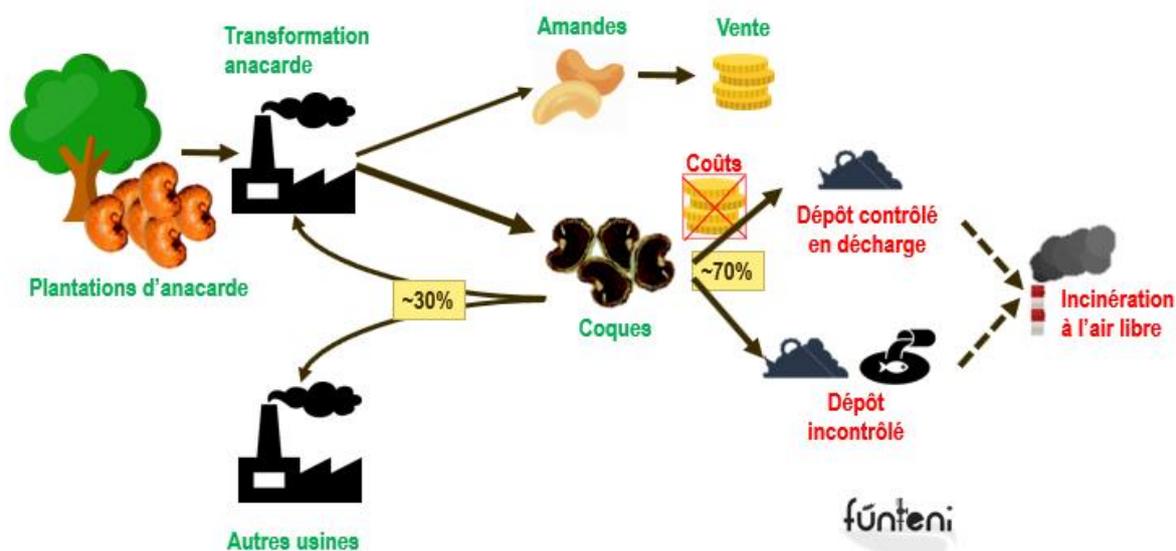
1.2 Mode de gestion actuel

Aujourd'hui au Burkina Faso il n'existe que deux possibilités pour les transformateurs d'anacarde de se débarrasser de leurs coques : **la combustion en chaudière** ou **l'entreposage**, qu'il soit en décharge contrôlée ou incontrôlée.

⁵ Prix moyen avec différents transporteurs de Bobo Dioulasso

⁶ Prix moyen de la manutention de sacs à Bobo Dioulasso

Figure 2. Gestion actuelle des coques d'anacarde au Burkina Faso⁷



1.2.1 Combustion en chaudière

En général ces transformateurs d'anacarde brûlent une partie de leurs coques en chaudière, généralement entre 5 et 25 %, afin de produire l'énergie thermique et la chaleur nécessaire à la transformation. Cette énergie est principalement utilisée au niveau des cuiseurs et des fours mais peut aussi être utilisée en cas de production mixtes.

Une part de plus en plus importante mais néanmoins toujours assez faible d'autres unités industrielles ou semi-industrielles viennent elles aussi récupérer ces coques gratuitement au niveau des différents gisement afin d'alimenter aussi leurs chaudières en remplacement des combustibles traditionnels tel le bois.

La combustion est soit effectuée de manière **directe** en chaudière, soit à travers de la **pyrolyse**.

La combustion directe est en générale assez mal vue car très salissante et endommageant. En effet l'huile contenue dans la coque étant assez longue à brûler, une partie de celle-ci s'échappe sous forme de fumée noire, acide et chargée en particules si les températures et les méthodes de combustion ne sont pas adaptées. Ces fumées ont comme conséquence d'abimer et d'encrasser les chaudières ainsi que de produire des fumées irritantes en cas d'inhalation. De plus, la coque ayant un pouvoir calorifique très élevé et bien au-dessus des combustibles solides traditionnels, elle peut endommager la structure des chaudières classiques qui ne peuvent supporter une telle chaleur. Ces aspects ont fait que la combustion de la coque d'anacarde a une assez mauvaise réputation et que les rares personnes qui sont prêtes à les utiliser comme combustible ne sont aujourd'hui pas prêtes à payer pour ces coques.

Figure 3. Dégagement de fumées suite à une combustion incomplète des coques d'anacarde en chaudière⁸

⁷ Fúnteni Installations et Conseil

⁸ Fúnteni Installations et Conseil

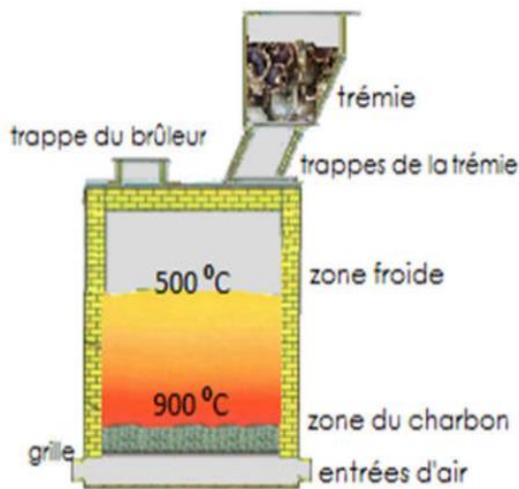


La combustion par pyrolyse permet, elle, de diminuer les effets néfastes que nous venons d'évoquer pour la combustion directe. Le principe de la pyrolyse est que les coques sont portées à haute température en l'absence d'oxygène pour éviter leur combustion directe dans un pyrolyseur. Les matières volatiles, dont le CNSL, vont se gazéifier et s'échapper par le haut du pyrolyseur où elles seront brûlées au niveau du bas de la chaudière pour produire de la vapeur⁹. Si la pyrolyse est bien réalisée les émissions de fumées sont comparables voir inférieure à celles de combustibles solides plus classiques comme le bois. En fin de cycle il est ensuite possible de récupérer les parties solides et carboniser dans le pyrolyseur : le charbon de coques d'anacardes, qui pourra être utilisé dans diverses applications car là aussi sans fumées ni odeurs caractéristiques.

Figure 4. Schéma et photo du fonctionnement d'un pyrolyseur¹⁰

⁹ Practical Action Afrique de l'Ouest _produits dérivés de l'Anacarde- Julia Artigas Sancho

¹⁰ Nitidae



Ce principe de combustion pour la coque d'anacarde est relativement récent mais tend à se développer de plus en plus du fait de sa propreté. Malheureusement celui-ci ne fonctionne pour l'instant que pour des chaudières verticales et donc assez petites, consommant de l'ordre de 1000 à 1500 kg/j de coques et non pour les chaudières horizontales de plus grandes capacités ce qui empêche les grands consommateurs et potentiels gros clients d'y avoir accès.

1. 2. 2 Entreposage

Environ 70% des coques produites sont entreposées dans la nature, soit dans des zones contrôlées par la mairie ou par des particuliers en accord avec la mairie, soit dans des dépôts sauvages.

Dans les faits, **les grands transformateurs** situés en ville signent des accords afin de pouvoir entreposer ces coques légalement dans des sites agréés par la mairie (publiques ou privés) via des particuliers qui s'occupent de la logistique. Cela permet à ces transformateurs d'être couvert en cas de problèmes (départ d'incendie, plaintes des riverains, contrôle des autorités compétentes etc.). Dans ce cas le coût de l'évacuation pour les transformateurs se situe entre **7000 et 8000 FCFA/MT de coques**.

Figure 5. Entreposage de coques en zone périurbaine sur un site de la mairie au niveau du péage route de Bama, Bobo Dioulasso¹¹

¹¹ Fúnteni Installations et Conseil



Quant aux **transformateurs de taille intermédiaire**, ils passent en général des contrats avec des particuliers qui évacuent leurs coques sur des sites souvent privés et non agréés par la mairie ce qui fait que leurs coûts d'évacuation sont plus faibles et se situent entre **4000 à 6000 FCFA/MT**.

Enfin les **petites unités de transformation**, artisanales, stockent en générale leurs coques à proximité, dans des zones urbaines ou péri-urbaines afin de réduire les coûts de transport au maximum.

Figure 6. Entreposage de coques en zone urbaine, Bobo Dioulasso¹²



L'entreposage dans des sites non adaptés entraîne de nombreux problèmes sociaux, écologiques et de sécurité. Ces coques utilisent des espaces qui sont ensuite inexploitable pendant de nombreuses années, pour cultiver par exemple, du fait de leur très lente biodégradation, principalement dû à la présence de CNSL acide dans les coques. Naturellement ou non et volontairement ou non, il n'est pas rare que ces stocks de coques prennent feu, dégageant d'épaisse fumées noires irritantes pour les populations environnantes. De plus, du fait du pouvoir calorifique très important de ces coques et des volumes entreposés qui peuvent atteindre plusieurs centaines voire milliers de tonnes, il est presque impossible de contrôler ces feux faisant craindre pour les habitations voisines.

¹² Fúnteni Installations et Conseil

2 LA COQUES ET SES SOUS-PRODUITS

2.1 Description de la coque et de ses sous-produits

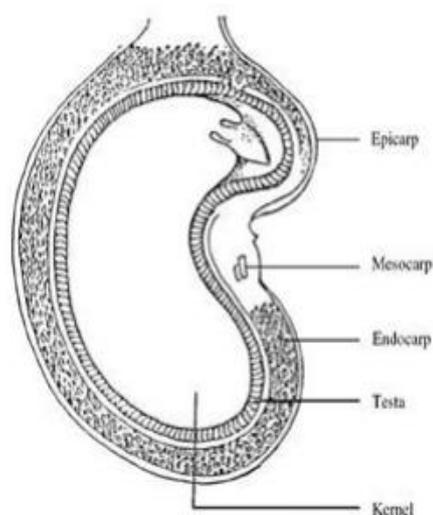
La noix d'anacarde se décompose comme suit en moyenne : 21% d'amandes, 70% de coques brutes et 3% de pellicule, le reste correspondant à de l'humidité et des rejets.

2.1.1 Coques

Obtention

La coque d'anacarde représente environ 70% de la noix brute. Considérée jusque-là comme un déchet gênant pour les industries de transformation d'anacarde, elle est issue du décorticage des noix de cajou afin d'en extraire l'amande comestible. Ces coques sont très salissantes et en générale stockées dans des endroits définis avant leur combustion ou leur évacuation.

Figure 7. Photo et schéma d'une coque d'anacarde



Caractéristiques physico-chimiques

Les caractéristiques physico-chimiques de la coque d'anacarde montrent qu'elles contiennent près de 82% de matières volatiles, 16% de carbone fixe et moins de 3% de cendres comme indiqué ci-dessous. De plus son pouvoir calorifique inférieur (PCI) est supérieur à 20 MJ/kg, ce qui est assez élevé pour un combustible végétal solide pour lesquels ces valeurs se situent plus aux environs de 17-18 MJ/kg.

Tableau 4. Caractéristiques physico-chimiques de la coque d'anacarde

Caractéristiques	Humidité (%)	Matières volatiles (%)	Carbone fixe (%)	Cendres (%)	PCI (MJ/kg)	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	S (%)	Cl (%)
Valeurs	9,9	81,6	16	2,6	21,3	56,4	7,1	33,5	0,6	0,10	0,01

Comme vu précédemment, l'utilisation de la coque brute est un défi assez complexe à relever. Il est souvent intéressant de séparer la partie liquide, le CNSL, et la partie solide, le tourteau, afin de pouvoir utiliser plus facilement ces deux sous-produits.

2. 1. 2 CNSL

Obtention



Figure 8. CNSL ou baume de cajou

La coque est constituée d'environ 25 à 30% de baume de cajou ou CNSL (Cashew Nut Shell Liquid). On recense trois méthodes différentes pour l'extraction du CNSL des coques d'anacardes : la méthode mécanique, la méthode chimique et la méthode thermique. L'extraction à froid (méthode mécanique et chimique) permet l'obtention d'un CNSL dit « naturel » dans un premier temps, qui est riche en acide anacardique (environ 70% de la masse extraite) et qui pourra ensuite être transformé en CNSL dit « technique ». En opposition, l'extraction à chaud (méthode thermique et chimique) donne directement un CNSL technique qui est composé en majorité de cardanol. Le cardanol est le résultat d'une décarboxylation que subit l'acide anacardique contenue dans le CNSL naturel sous l'effet de la chaleur à des températures avoisinant 150°C à 200°C.

Le Tableau 5 fait une comparaison des composants chimiques majeurs du CNSL selon le mode d'extraction.

Méthode mécanique : L'extraction mécanique est la plus couramment utilisée au niveau industriel. Cette méthode consiste à mettre les coques de noix de cajou brutes, dans une presse à vis puis exercer une pression afin de libérer le CNSL contenu dans les coques du tourteau déshuilé. Le procédé de pressage est influencé par les paramètres tels que la pression appliquée, la température, l'humidité, ainsi que la taille des particules. Par ce procédé on obtient du CNSL naturel notamment riche en acide anacardique. Ensuite ce CNSL passe dans un réacteur en température pendant plusieurs heures afin de se transformer en CNSL technique.

○ Avantages :

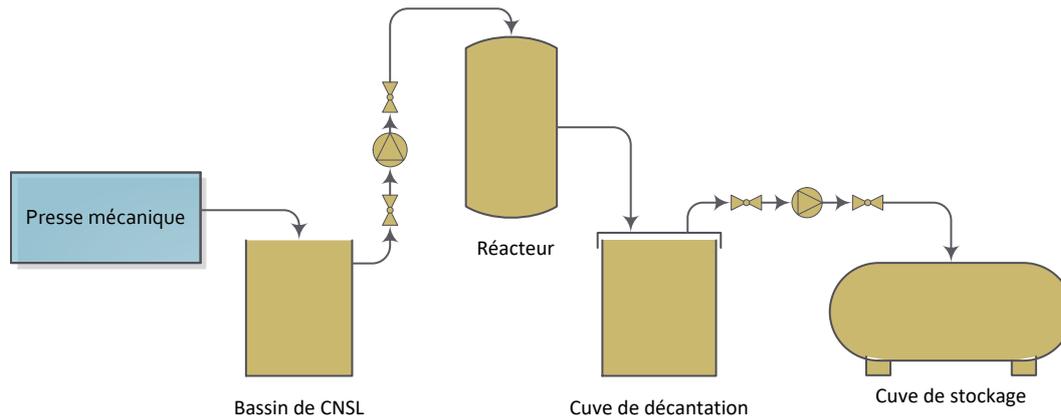
- Possibilité de traiter de grandes quantités
- Taux d'extraction est d'environ 2/3
- Temps d'extraction assez rapide
- Technologie simple et peu coûteuse

○ Inconvénients :

- La qualité du CNSL est dépendante des conditions d'extraction

Figure 9. Process simplifié d'extraction mécanique du CNSL technique¹³

¹³ Fúnteni Installations et Conseil



Méthode chimique : Il s'agit d'un processus d'extraction par solvants. Au vu des faibles quantités produites, cette méthode est principalement exploitée au niveau analytique. Parmi tous les solvants utilisables, l'acétone a les meilleurs rendements d'extraction.

Il existe également l'extraction par fluide supercritique utilisant du dioxyde de carbone. Cette méthode d'extraction consiste à mélanger les coques avec du dioxyde de carbone à haute pression. Le CNSL est dissout dans le dioxyde de carbone et lorsque la pression est relâchée, le dioxyde de carbone redevient sous forme gazeuse en libérant le CNSL.

- Avantages :

- Qualité moins influencée par le milieu extérieur
- Bon rendement

- Inconvénients :

- Temps d'extraction long
- Technologie complexe et coûteuse
- Technologie dangereuse
- Besoin de très grandes unités pour être rentable

Méthode thermique : Il s'agit de la méthode traditionnelle pour l'extraction du CNSL. Trois méthodes de torréfaction existent : la cuve ouverte (ou méthode du cuiseur solaire), le tambour de torréfaction et la méthode de « l'huile chaude ».

Cette dernière est plus adaptée à la collecte du baume de cajou. Le principe mis en œuvre dans cette méthode consiste à immerger les coques dans du CNSL à haute température (185-190°C). La chaleur va endommager la structure de la coque et faire que l'huile va commencer à suinter. Cette huile est ensuite récupérée directement dans le bain où elle était immergée.

- Avantages :

- Technologie simple avec la méthode de l'huile chaude

- Inconvénients :

- Faibles rendements
- Besoin de forts apports calorifiques
- Qualité du CNSL moindre
- Dégagement de fumées
- Technologie complexe avec la méthode sous vide

Caractéristiques physico-chimiques

Le CNSL est une résine phénolique caustique constituée d'acide anacardique, de cardanol et de cardol à des proportions variables selon son état. Le Tableau 5 fait une comparaison des composants chimiques majeurs du CNSL selon ces 2 états principaux :

Tableau 5. Composants chimiques du CNSL selon son état

Composition	CNSL naturel (%)	CNSL technique (%)
Acide anacardique	71,0-82,0	1,1-1,8
Cardanol	1,2-9,2	60,0-68,0
Cardol	3,8-20,1	15,0-18,1
2-methylcardol	1,6-3,9	1,0-3,3
Autres	0-2,0	0-7,4

La Figure 10 représente la structure chimique des principaux composants du CNSL et le Tableau 6 ses principales caractéristiques physico-chimiques.

Figure 10. Structure chimique des principaux composants du CNSL¹⁴

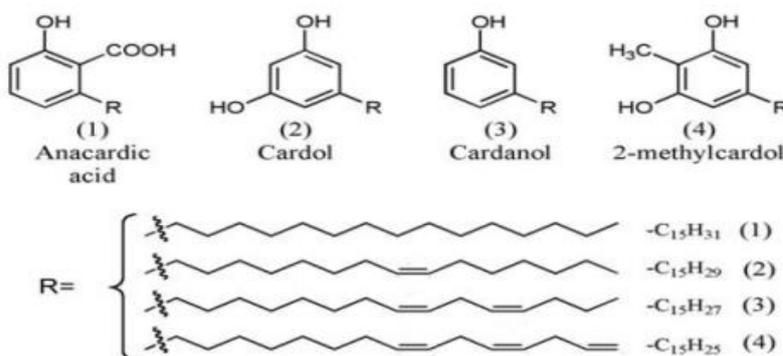


Tableau 6. Propriétés physico-chimiques du CNSL

Caractéristiques	Masse volumique à 15°C (kg/m ³)	Viscosité 40°C (cSt)	PCI (MJ/kg)	Point éclair (°C)	Indice d'acidité (mgKOH/g)	Indice de cétane	Cendres (%)	Humidité (%)
CNSL naturel	933	55	35-40	193	38	-	<1	<1
CNSL technique	960	88	37	226	32	33	<1	<1

Les caractéristiques remarquables de cette huile sont sa viscosité, son acidité et son PCI. L'acidité élevée de l'huile fait qu'elle a un pouvoir corrosif assez élevé et peut donc potentiellement endommager les surfaces en contact. Sa viscosité élevée fait qu'il peut parfois être nécessaire de la réchauffer pour la fluidiser pour une utilisation optimum. Enfin son PCI est très élevé, se rapprochant des combustibles liquides conventionnels comme le gasoil ou le fioul lourd par exemple.

¹⁴ Rapport fin d'études « Valorisation du baume de cajou comme combustible » Y.BAGUIGNAN (Fullwell Mill & 2iE)

2. 1. 3 Tourteau de coque déshuilé

Obtention

Le tourteau de coque est obtenu à partir de la coque après extraction du CNSL par extraction mécanique. Un rendement généralement accepté est de 75% de tourteau par rapport à la coque. Il est actuellement difficile d'obtenir des échantillons de ce produit dans la région du fait de la quasi non transformation de la coque d'anacarde mais ce produit a déjà de nombreux marchés en Inde par exemple et est là-bas disponible en quantité pour les industriels.



Figure 11. Tourteau de coque d'anacarde

Caractéristiques physico-chimiques

Tableau 7. Caractéristiques physico-chimiques du tourteau de coque¹⁵

Caractéristiques	Matières volatiles (%)	Carbone fixe (%)	Humidité (%)	PCI (MJ/kg)	Cendre (%)	Densité (kg/m ³)
Tourteaux	69,3	19,3	10,4	17	1	481,8

Bien que ses propriétés calorifiques (PCI) ne soient pas aussi élevées que la coque brute elle-même, dû à l'extraction du composant calorifique le plus élevé qui est le CNSL, les tourteaux ont encore un PCI d'environ 17 MJ/kg, le rapprochant des combustibles solides traditionnels comme le bois, les coques et les tiges de coton ou encore la balle de riz (cf. *Tableau 11 : Tableau comparatif des combustibles solides courants au Burkina Faso* p.28). Aussi ces valeurs de densité, d'humidité ou de taux de cendre sont des valeurs assez courantes pour un combustible solide.

2. 1. 4 Charbon de coques

Obtention

La carbonisation est un processus chimique de combustion incomplète de certains solides soumis à une chaleur élevée en absence d'oxygène. Sous l'action de la chaleur, la carbonisation élimine l'hydrogène et l'oxygène du solide, de sorte que le charbon restant est composé principalement de carbone. Il existe différents procédés, du plus artisanal à des méthodes plus industrielles pour obtenir ce charbon. Les méthodes actuellement connues et utilisées au Burkina sont assez artisanales et pour des échelles assez faibles. Ce sont principalement des carbonisateurs améliorés formés de cylindres métalliques.

¹⁵ Cashew Nut Shell Cake characterization. KANCO SOUTHWEST ENTERPRISES



Figure 12. Carbonisation de tourteau de coque



Figure 13. Briquettes de charbon de coque

Caractéristiques physico-chimiques

Tableau 8. Caractéristiques physico-chimiques du charbon de coque¹⁶

Caractéristiques	PCI (MJ/kg)	Densité charbon brut (kg/m ³)	Densité briquettes (kg/m ³)	Humidité (%)
Charbon de coque	31,11	350	920	4,02

Comme tout charbon, le charbon de coque a un PCI élevé, presque 1,5 fois plus que la coque elle-même et 2 fois plus que le tourteau.

La densité des briquettes dépend de la technologie de briquetage. Leur solidité dépend aussi bien du taux de compression que du % de liant incorporé au mélange. La majorité des briquettes sont plus denses que le charbon de bois et de fait appréciées pour leur combustion plus lente.

2. 2 Potentiels marchés

Il existe de nombreux marchés à l'international pour les différents sous-produits de la coque mais les recherches se sont principalement accés sur les débouchés locaux. En effet l'expérience montre qu'il est difficile pour les produits burkinabés de se situer sur les marchés mondiaux, premièrement à cause du prix du transport pour expédier ces produits et deuxièmement de par la volatilité des prix.

L'exemple du CNSL est le plus flagrant. Son prix de vente à l'international étant basé sur celui du pétrole, son prix varie très fortement en fonction du marché. En Mars 2020, le prix du baril était très faible et d'environ 20 dollars, comparé à près de 70 dollars en Mai 2021. Le coût du transport vers les marchés finaux asiatiques étant assez stables, la plupart du coût de vente était du coup dépensé en transport, rendant les bénéfices et la compétitivité à ce moment-là impossibles pour les fabricants africains.

2. 2. 1 CNSL

Les 3 principales utilisations du CNSL sont l'utilisation comme matière première dans des industries chimiques, en combustion dans des moteurs comme ceux des groupes électrogènes et en combustion dans des brûleurs.

¹⁶ Study of Carbonization for Cashew Nut Shell. Sanger S.H., Mohod A.G., Khandetode Y.P., Shirame H.Y. and Deshmukh A.S.

2. 2. 1. 1 CNSL combustible

<p style="text-align: center;"><u>Forces</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Prix intéressants • Faible empreinte environnementale • Facile à produire • Bon pouvoir calorifique 	<p style="text-align: center;"><u>Faiblesses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Inconnu du public • Propriétés différentes des combustibles les plus classiques
<p style="text-align: center;"><u>Opportunités</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • De nombreux potentiels consommateurs • Des grands volumes d'utilisation des consommateurs 	<p style="text-align: center;"><u>Menaces</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Risque sur les équipements • Besoin de R&D • Equipements non adaptés

Le CNSL peut être utilisé en tant que combustible, soit dans des moteurs à combustion, soit dans des brûleurs, qui sont les deux applications les plus courantes des combustibles liquides. Il peut venir se substituer aux combustibles classiques, qu'ils soient de type hydrocarbures ou huiles végétales, car il a un pouvoir calorifique équivalent et proche de 40 MJ/kg. Mais de par sa viscosité assez élevée qui est une propriété très importante pour un combustible liquide, le CNSL, en l'état et sans modification des installations, ne peut substituer que des huiles de viscosité équivalentes ou supérieures, concrètement le HFO180 et les huiles de vidange.

Tableau 9. Tableau comparatif de différents combustibles liquides utilisés au Burkina Faso par rapport au CNSL¹⁷

Spécifications	CNSL	Heavy Fuel Oil 180 (HFO180) *	DDO	DIESEL	Huile de vidange	Huile de jatropha
Masse volumique à 15°C (kg/dm ³)	0,93 - 0,96	0,92 - 0,99	0,83 - 0,85	0,82 - 0,89	0,95	0,90
Viscosité à 40°C (cSt)	55 - 88	80 - 180 (50°C)	5,9 - 15	1,6 - 5,9	48,31	
Point d'éclair (°C)	>193	>66	> 66	> 61	-	
Pouvoir calorifique inférieur (KJ/kg)	>37000	>40000	44 700	45 000	40 000	41 200 ¹⁸
Teneur en cendre (%)	1	< 0,10	-	-	-	
Teneur en eau (%)	< 1	< 0,5	-	-	-	
Indice d'acide (mg KOH/g)	> 32	< 2,5	-	4,32	-	1,1

¹⁷ Caractéristiques et prix des fioul hydrocarbures fournis par la SONABHY

¹⁸ Etude de deux solutions d'utilisation de l'huile de Jatropha curcas dans le moteur diesel à injection directe. SAYON SIDIBE, GILLES VAITILINGOM, JOËL BLIN

Prix SONABEL (FCFA/L)	-	217	326	486	-	
Prix autres Clients (FCFA/L)	-	415	505	565	100	500

* *Le Heavy Fuel Oil 180 (HFO180) est un combustible lourd acheté en droiture par la SONABEL et certaines mines au Burkina Faso afin de faire tourner des groupes électrogènes de très grande capacité (> 1 MW électrique).*

Au niveau des coûts d'achat on peut voir de très grandes différences de prix. Les **huiles de vidange** sont très peu chères à l'achat, 100 FCFA/l, car de qualité moindre et disponibles en petit volumes, ce qui fait que peu de personnes se sont lancées dans son utilisation de peur des ruptures de stock et le marché n'est donc pas très développé. Les huiles de vidange sont principalement récupérées au niveau des stations essences mais aussi au niveau des différents garages par des collecteurs-revendeurs indépendants, ce qui fait que la disponibilité de ce produit est assez aléatoire.

Les combustibles fournis par la SONABHY (HFO180, DDO et gasoil), bien qu'ayant des pouvoir calorifiques assez proches, ont des prix assez différents et qui peuvent varier suivant le client final. En effet la SONABEL, afin de pouvoir rester compétitive, bénéficie d'aides de l'état au niveau des prix d'achat des carburants. Sans rentrer dans les détails, celles-ci sont de 198, 179 et 79 FCFA/l respectivement pour le HFO180, le DDO et le gasoil.

Combustible pour la SONABEL

La plupart des unités de production d'électricité de la SONABEL sont aujourd'hui des groupes électrogènes de grande taille alimentés en combustible fossiles comme le DDO et le HFO180. L'unité de production de Bobo 2 est équipée de 5 moteurs de puissance effective de 3MW électrique et de 4 moteurs de puissance effective de 10MW électrique. La consommation journalière de ce site est estimée à 278 m³/jour. Le DDO est en général utilisé pour le lancement des moteurs et qu'ils arrivent jusqu'à une certaine température puis le HFO180 prend le relais, sauf en cas de rupture de stock.

Le HFO180 est un fioul lourd fournit par la SONABHY en droiture (non stocké sur des sites SONABHY au Burkina). Ce fioul est assez caractéristique par sa viscosité élevée qui est de 180 centistokes à 50°C (voir *Tableau 9. Tableau comparatif de différents combustibles liquides utilisés au Burkina Faso par rapport au CNSL p.21*). Afin de diminuer sa viscosité et d'augmenter sa qualité, ce combustible est traité sur site à l'aide de centrifugeuses afin de retirer l'eau et les boues visqueuses (4 à 10%) avant d'être préchauffé entre 100 et 120°C pour injection aux moteurs. La SONABEL achète ce combustible 217 FCFA/l grâce aux financements de l'état qui correspondent à 198 FCFA/l car le prix normal d'achat pour les particuliers de ce combustible, les mines par exemple, est de 415 FCFA/l. Avec une consommation de 278 m³/j de combustible, la SONABEL Bobo 2 dépense 60 millions en combustible et l'état finance à hauteur de 55 millions de FCFA/j.

Le CNSL est un biocombustible qui a des caractéristiques assez proches du HFO180, notamment la viscosité et le pouvoir calorifique qui sont deux des principaux.

Tableau 10. Comparaisons des spécifications du CNSL avec les combustibles utilisés par la SONABEL Bobo 2¹⁹

Spécifications	CNSL	Heavy Fuel Oil 180 (H.F.O 180) *	DDO
Masse volumique à 15°C (kg/dm ³)	0,93 - 0,96	0,92 - 0,99	0,83 - 0,85
Viscosité à 40°C (Cst)	55 - 88	80 - 180 (50°C)	5,9 - 15
Point d'éclair (°C)	>193	>66	> 66
Pouvoir calorifique supérieur (KJ/kg)	>41000	>43000	-
Pouvoir calorifique inférieur (KJ/kg)	>37000	>40000	44 700
Teneur en cendre (%)	1	< 0,10	-
Teneur en eau (%)	< 1	< 0,5	-
Indice d'acide (mg KOH/g)	> 32	< 2,5	-
Prix SONABEL (Fcfa/L)	-	217	326
Prix autres Clients (Fcfa/L)	-	415	505

Une des possibilités explorées avec les responsables de la SONABEL Bobo 2 serait de substituer une partie de ce HFO180 par du CNSL. Soit le CNSL pourrait remplacer 100% ou presque du HFO180 dans un des petits moteurs, soit le CNSL pourrait être incorporé à des pourcentage situés entre 0 et 10% dans l'ensemble des moteurs. A titre d'exemple un petit moteur de 3MW consomme 17 m³/j, soit 710l/h.

Bien évidemment avant de mettre un nouveau combustible dans ces groupes électrogènes, des tests devront être effectués afin d'évaluer l'impact sur leurs fonctionnements. Principalement des mesures très régulières devront être effectuées sur les rejets gazeux, les eaux de refroidissements et les composants du moteur (culasse, piston, injecteurs etc.) à très court, moyen et long terme.

Combustible pour d'autres industries

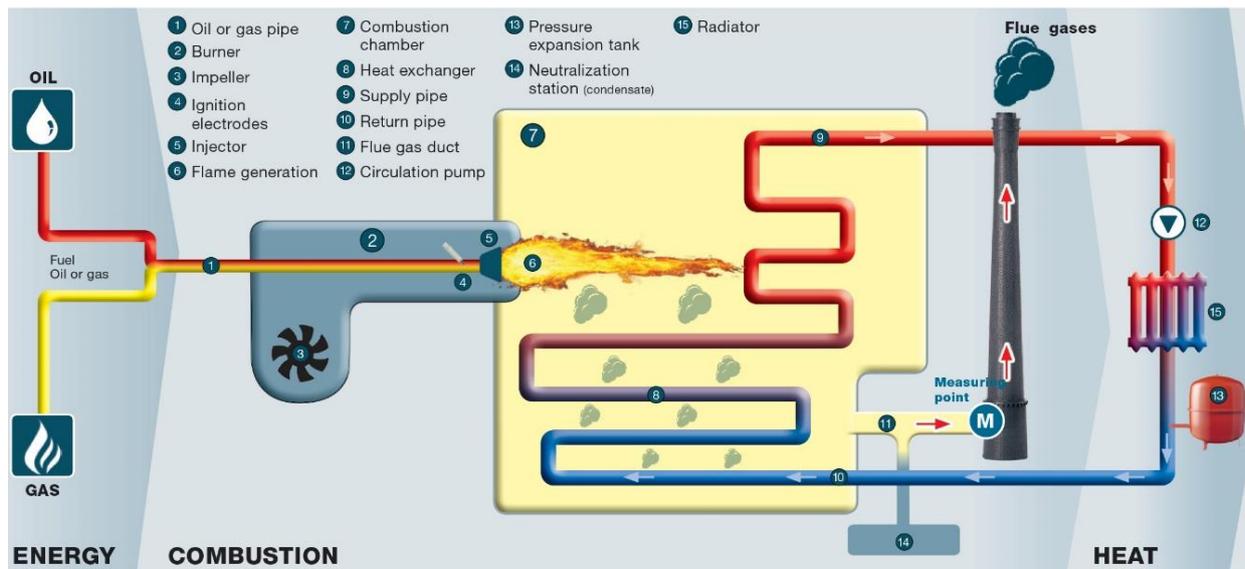
Comme mentionné ci-dessus, quelques autres entreprises utilisent actuellement du HFO180 pour faire fonctionner leurs groupes électrogènes de grande capacité. Ce sont principalement les mines et leurs consommations en combustible n'ont pas pu être estimées mais ces compagnies pourraient aussi très bien consommer du CNSL si des tests sont concluants, d'autant plus que leur prix d'achat du HFO180 est de 415 FCFA/l.

L'autre possibilité de combustion du CNSL est à travers de **brûleurs** qui alimentent des chaudières industrielles à vapeur. Les industries ne possédant pas de combustibles solides pour alimenter leurs chaudières et produire les vapeurs se penchent en général vers les combustibles liquides hydrocarbures comme le gaz, le gasoil, le DDO ou le HFO.

La fonction du brûleur est de mélanger dans une proportion correcte combustible et comburant, d'enflammer ce mélange et maintenir la combustion afin de produire de la chaleur. Cette flamme sert à chauffer une chaudière qui produira de la vapeur pour alimenter le processus de l'unité en question.

Figure 14. Schéma de principe de fonctionnement d'un brûleur industriel

¹⁹ Caractéristiques et prix des fioul hydrocarbures fournis par la SONABHY



Dans les alentours de Bobo Dioulasso on peut entre-autres citer des industries comme la SAP Olympic, SN SOSUCO, Brakina, Dafani ou encore de nombreuses huileries qui utilisent des bruleurs à combustibles liquides utilisant en général du DDO. Les consommations varient d'une unité à l'autre mais sont en général supérieures à 1000l/j. Le DDO étant plus fluide que le CNSL (cf. *Tableau 9. Tableau comparatif de différents combustibles liquides utilisés au Burkina Faso par rapport au CNSL p.15*), ces brûleurs ne sont le plus souvent pas adaptés au CNSL. Par contre il existe sur le marché des brûleurs adaptés aux huiles visqueuses comme le HFO180 et qui sont en théorie capables d'utiliser sans difficulté du CNSL comme combustible. Ces brûleurs sont aussi capables de bruler des huiles de vidanges usagées, ce qui est déjà réalisé par l'huilerie LODOUM sise à Bobo Dioulasso par exemple. On peut assez facilement imaginer que ces différents consommateurs de DDO remplacent leur bruleur afin de pouvoir maintenant utiliser du CNSL à un moindre coût, le prix des brûleurs étant en général assez raisonnable du fait de la faible complexité de ceux-ci. En cas de rupture d'approvisionnement en CNSL, ces bruleurs peuvent aussi utiliser du DDO en secours donc le risque est assez limité.

Le principal inconvénient de l'utilisation du CNSL en chaudière est donc l'achat d'un nouveau brûleur mais aussi l'encrassement plus rapide des chaudières, entrainant un entretien plus régulier afin d'effectuer un ramonage du foyer, des tubes de fumée et de la cheminée.

Finalement, l'OACI a récemment publié une étude où elle considère le CNSL comme une des matières premières aptes à sa conversion en vue d'obtenir du biocombustible pour les avions²⁰.

2. 2. 1. 2 *CNSL non combustible*

Forces

- Prix intéressants
- Propriétés intéressantes
- Facile à produire

Faiblesses

- Inconnu du public

²⁰ Étude de faisabilité sur le développement de carburants d'aviation durables. OACI, 2018.

Opportunités

- Développement de nouvelles industries chimiques au Burkina Faso

Menaces

- Besoin de beaucoup de R&D
- Peu de potentiels consommateurs
- Quantités faibles des potentiels consommateurs

Polymères/Adjuvants

Le CNSL a d'innombrables applications possibles dans le domaine chimique et industriel. En effet le CNSL peut être utilisé comme matière première pour la fabrication dans le domaine de l'automobile (liquides de friction, frein et embrayage), comme agent vulcanisant dans le caoutchouc ou encore comme durcissant dans la fabrication de peinture et de résines. En tant que polymère phénolique, les résines de CNSL produisent des revêtements très résistants. Les peintures et vernis à base de CNSL créent des couches sur les surfaces les protégeant contre la corrosion et les rayures, et étant en même temps élastiques, très brillantes et montrant une adhésivité supérieure à la surface. Tandis que les résines à base de CNSL sont sombres, les revêtements à base de cardanol sont transparents et compatibles avec des colorants. Le CNSL est également un composé de choix pour élaborer des résines époxy biosourcées (voir *Annexe 4 : Résines de CNSL pour revêtement de surface* p 62).

Il offre donc de très nombreuses possibilités pour le développement et la fabrication d'autres polymères mais du fait du faible taux d'industrialisation au Burkina, il est compliqué de trouver en nombre suffisant des industries intéressées pour utiliser en quantité importante du CNSL comme matière première dans leur process. Les principales industries envisagées étaient la SAPEC pour la fabrication des peintures et la SAP Olympic pour la fabrication de caoutchouc pour les pneumatiques, chambres à air et tapis.

La **SAPEC** nous a fait savoir qu'elle n'utilisait plus de phénols, la molécule de base composant le CNSL, dans ses peintures. En effet une directive européenne déconseille l'utilisation de matières phénoliques volatiles dans les peintures du fait de leur pouvoir cancérigène supposé et la SAPEC a décidé de suivre cette recommandation en enlevant tout produit phénolique de ses formulations.

La **SAP Olympic** pourrait avoir des intérêts à l'utilisation du CNSL en remplacement de l'huile minérale naphthénique actuellement importé mais malheureusement cela ne concerne que des volumes relativement restreints, de l'ordre de 5 m³/mois. De plus il faudrait qu'il fasse passer à cette huile de substitution toute une batterie de tests poussés afin de s'assurer que la qualité de leurs produits ne seraient pas altérés à court, moyen et long terme. Ce débouché semble donc pour l'instant assez difficile d'accès.

Produit phytosanitaire

Le CNSL, de par sa nature acide, est un fongicide. En effet plusieurs recherches ont montré, notamment en Inde ou au Brésil, que le CNSL pouvait avoir des effets positifs sur la limitation du développement de certaines maladies végétales ²¹. Le CNSL est dans ce cas utilisé selon des formulations et des compositions bien précises liées au parasite que l'on cherche à éradiquer. La plupart de ces recherches sont assez récentes et peu d'applications de terrain sur le long terme ont pour l'instant été suivies.

Au Burkina Faso, aucune étude n'a aujourd'hui été menée sur l'efficacité du CNSL sur des espèces précises de parasite touchant les vergers et les cultures locales. Des organismes comme l'INERA ou le

²¹ Studies on use of Cashew Nut Shell Liquid (CNSL) in Biopesticide and Biofertilizer par C. Vasanth Pandiyan, Gunasekaran Shylaja, Gokul Raghavendra Srinivasan et Sujatha Saravanan, 2020

CIRDES sont en général les mieux placés pour effectuer ce type de recherches liées à l'agronomie. Il est donc compliqué à l'heure actuelle de conseiller l'utilisation du CNSL pour ces applications sans avoir des recommandations très précises et appliquées.

Le CNSL peut aussi être utilisé comme revêtement de surface afin de protéger le bois²². Son application selon certaines formulations permet de protéger le bois des effets du soleil et de la pluie dans le temps mais aussi des moisissures ou des termites, comme c'est le cas actuellement avec des résines industrielles ou de l'huile de vidange. Cette application est très intéressante vu le prix et la provenance du bois, mais malheureusement le traitement n'est pas une pratique très répandue aujourd'hui et il reste donc tout à faire pour développer ce marché. Enfin les quantités utilisées seraient potentiellement assez faibles.

Marché international

A l'international, le prix du CNSL fluctue selon le prix du pétrole et est donc à présent très instable. Il est à noter qu'actuellement (Mai 2021), le prix du baril de pétrole étant assez haut et atteignant les 70 dollars par baril, la demande en CNSL à l'international a fortement augmentée, comme son prix.

Les demandes se situent aujourd'hui à des prix entre 360 et 400 dollars/MT de CNSL, FOB Abidjan. En considérant les coûts de transport entre 100 et 120 dollars/MT jusqu'à Abidjan et d'emballage de 40 dollars/MT, cela laisse au transformateur un prix de revient situé entre 200 et 260 dollars/MT de CNSL actuellement, soit entre 107 000 et 140 000 FCFA/MT.

2. 2. 1. 3 Positionnement de marché

Nous n'allons pas considérer la vente de CNSL visant des utilisations non énergétiques. Comme il a été exposé en 2.2.1.2 *CNSL non combustible*, l'industrie burkinabè ne s'intéresse pas beaucoup à ces types de produit comme matière première, ou en achèterait en très faible quantité. Nous pouvons dire de même pour de potentiels consommateurs dans la sous-région. Aussi, des applications intéressantes comme les produits phytosanitaires ne sont pas pour le moment prêtes sur le plan commercial et de ce fait il est risqué de se prononcer sur un éventuel plan d'affaire avec ces débouchés.

D'un autre côté, la vente de CNSL à l'export pourrait aussi être intéressante, en fonction des prix sur le marché international assez fluctuant. Finalement, le cardanol, produit de la distillation du CNSL, est vendu à des prix très intéressants (entre 700 et 900 dollars par tonne FOB – soit 376 000 à 484 000 FCFA), et pourrait être plus profitable que le CNSL. Mais pour cela des installations plus complexes et une autre étude de marché à l'international serait nécessaire afin d'évaluer les tenants et les aboutissants d'un tel marché.

Enfin au niveau de la vente comme biocombustible, celui-ci étant actuellement inconnu du grand public, une stratégie « fournisseur de services énergétiques » pourrait être adoptée dans un premier temps afin de rassurer le client, dans laquelle le vendeur du combustible (l'unité de référence, un sous-traitant) propose en même temps des services d'accompagnement tels que la fourniture de brûleurs adaptés au CNSL.

²² Synthèse de résine pour revêtements de surface à base de CNSL: sous-produit de la filière anacarde au Burkina Faso, 2iE, Aïchatou BOUKARI IBRAHIM

2. 2. 2 Tourteau de coques

Le principal marché des tourteaux non-comestibles est en général la combustion, soit directement, soit après mise en brique, soit après carbonisation (cf. 2.2.3 *Charbon de coques* p.32). En effet le tourteau de coque a des caractéristiques calorifiques très proches des combustibles traditionnels tel le bois comme indiqué dans le *Tableau 11 : Tableau comparatif des combustibles solides courants au Burkina Faso* p.28. Le tourteau de coque ayant encore des résidus de CNSL, de l'ordre de 7% à 10%, il semble compliqué de pouvoir le brûler dans des foyers domestiques en lieu et place du bois pour la cuisine par exemple du fait des fumées caractéristiques du CNSL.

Par contre ce tourteau de coque peut tout à fait être brûlé dans des chaudières industrielles car dans ce cas-là l'émission de fumée est moindre dû aux très hautes températures de combustion dans ces chaudières et à l'absence de voisins direct.

2. 2. 2. 1 Tourteau de coque combustible

Forces

- Prix intéressants
- Faible empreinte environnementale
- Grandes quantités disponibles
- Facile à produire
- Propriétés intéressantes et proches des combustibles classiques

Faiblesses

- Risque sur les chaudières
- Fumées

Opportunités

- De très grands consommateurs potentiels

Menaces

- Peu de grands consommateurs de biomasse

Tableau 11 : Tableau comparatif des combustibles solides courants au Burkina Faso

Spécifications	Coque cajou	Tourteau de coque cajou	Charbon de coque de cajou	Bois de chauffe	Charbon de bois	Coque coton	Tige de coton	Coque / balle de riz	Son de riz	Tourteau de Jatropha	Tourteau karité déshuilé	Bagasse de canne à sucre
PCI (KJ/kg)	21 300	17 000	31 110	~18 000	~32 000	15 900	17 400	12 559	16 920	18 000	15 050	~8 000
Densité (kg/m ³)	385	481	920	-	-	143,2		154,85	317,94	-	-	
Prix moyen (FCFA/MT)	-	-	-	28 546	64 776	-	45 000	-	-	-	~10 000	

Il est à noter que les prix des combustibles indiqués sont des prix moyens mais varient selon les saisons. A titre illustratif, le prix moyen de vente de la tonne de charbon de bois est de 64 000 CFA/MT, mais peuvent varier entre 60 000 et 79 980 FCFA/MT. Le prix dépend surtout de la saison et de la disponibilité du charbon sur le marché.

Prix de vente de la tonne de bois : le prix moyen est de 28 546 CFA/MT, mais les prix varient entre 17 500 et 47 500 CFA/MT selon la période de l'année.²³

²³ Prix obtenus auprès de différents commerçants en gros de la ville de Bobo Dioulasso

Combustible pour la SN CITEC :

La SN CITEC dispose de 2 chaudières à combustibles solides d'une capacité de 2MT/h chacune de combustible, soit une consommation maximale de 96 MT/jour, 10 mois par an. Ces chaudières servent à produire de l'énergie thermique pour le process mais aussi de l'énergie électrique via un turbo-alternateur d'une puissance maximale de 2.7 MW électrique. La SN CITEC a toujours brûlé les coques de coton issues de leur production pour produire leur énergie thermique et électrique. Mais actuellement la priorité est mise à la réintégration de ces coques dans le tourteau de coton à destination de l'alimentation bétail car plus rentable que la combustion et la production d'énergie. Cela fait que les chaudières ne tournent pas à plein régime mais plutôt à 50% de leurs capacités maximales.

Pour combler ce déficit en combustible, la SN CITEC avait fait des tests avec des **tiges de cotonnier** qu'elle payait 45 FCFA/kg rendu usine. Ces tiges devaient au préalable être broyées avant d'être convoyées vers les chaudières. L'expérience n'avait pas été concluante car les tiges étaient difficiles à convoyeur avec la configuration actuelle mais surtout car les tiges étaient trop poussiéreuses, cela abimant la chaudière et les risques d'incendies dans les équipements de nettoyage étant trop grands.

D'autres tests avaient été réalisés avec des **coques d'anacarde**, mais ce combustible étant environ 50% plus calorifique que les coques de coton, les chaudières (principalement leurs grilles) avaient été endommagées car non adaptées et les fumées qui en émanaient avaient été considérées gênantes.

Il semblerait que si la SN CITEC trouvait un combustible de substitution, elle pourrait complètement réintroduire ses coques de coton dans les tourteaux d'alimentation animale, ce qui ferait qu'elle pourrait potentiellement **acheter 30 000 MT/an de tourteau de coques d'anacarde**. Des discussions ont déjà été entamées dans ce sens et la SN CITEC serait déjà prête à effectuer des tests avec 50MT de tourteau de coque d'anacarde afin de faire fonctionner une de leur chaudière pendant 24h avec, afin de voir les conséquences sur l'alimentation de la chaudière, les dégagements de fumées et l'impact sur la chaudière elle-même (encrassement, détérioration). Malheureusement actuellement aucun tourteau de coque d'anacarde n'est disponible dans les environs pour réaliser ces tests.²⁴

Combustible pour la SN SOSUCO :

La SN SOSUCO quant à elle a 3 chaudières haute pression à combustibles solides alimentées en bagasse et 2 chaudières à combustibles liquides DDO. Les 3 chaudières à combustible solide peuvent alimenter :

- Les broyeurs de canne à sucre,
- 2 turbines électriques de 1700 kVA (1.36 MW électrique) chacune sur 3 disponibles,
- Et d'autres applications de chauffage dans le process comme l'évaporation, le raffinage et la mise en morceau

Elle a assez de bagasse pendant la grande campagne qui dure de Décembre à fin Mars pour alimenter toutes ces organes et en a même un peu en excédent pour faire tourner une turbine électrique en Avril-Mai pendant la mini campagne où les broyeurs ne sont plus utilisés. Ensuite les chaudières à biomasse sont arrêtées de Juin à début Décembre et les chaudières à DDO prennent le relais pour alimenter en énergie thermique les autres applications de chauffage mentionnées ci-dessus.

Pendant la campagne les consommations de bagasse en chaudière sont d'environ 550 MT/jour d'où il reste encore 50 à 100 MT/jour en plus stockées pour la mini campagne, les pannes et le redémarrage de la campagne suivante. Quand les chaudières à combustible solide ne fonctionnent pas, de Juillet à

²⁴ . Des échanges sont en cours afin de voir la possibilité avec Anatrans de relancer leur presse pour réaliser des échantillons de tourteau de coque à distribuer

Novembre, les 2 chaudières à combustible liquides consomment 2x2400 soit 4800 l/j de DDO soit des coûts de combustible de presque 2 500 000 FCFA/jour sur 4 à 6 mois pour les autres applications de chauffage

- Une des propositions que nous voyons serait que la SN SOSUCO pourrait se fournir en tourteau de coques d'anacarde pendant la campagne afin de faire tourner la 3eme turbine et revendre cette électricité à la SONABEL (si les chaudières peuvent absorber de plus grandes quantités de combustible).
- Elle pourrait aussi se fournir de tourteau de coques pendant la mini campagne et même pendant une partie de l'intercampagne (hors entretien des chaudières et turbines) afin de produire de l'électricité plus longtemps pour eux-mêmes, éventuellement en revendre une partie à la SONABEL et **surtout économiser sur les consommations de DDO dans leurs chaudières** à combustible liquide en les arrêtant et en les remplaçant par le fonctionnement des chaudières à biomasse.

Combustible pour d'autres industries :

Les autres potentiels clients pour ce marché, ayant des déficits en combustibles et ayant des systèmes de combustion adaptés dans la zone sont principalement les huileries de coton et les boulangeries. Les quantités qu'elles pourraient acheter sont aujourd'hui difficilement estimables et il faudrait une enquête de terrain poussée pour cela mais il est sûr que si le prix du tourteau de coque d'anacarde est plus faible que celui du bois pour un même apport calorifique, nombreuses seraient les unités petites, moyennes ou grandes intéressées par ce combustible.

Pour certaines ce combustible serait sûrement utilisable directement alors que pour d'autres d'éventuelles modifications du foyer seraient à prévoir, notamment l'alimentation ou la grille.

2.2.2.2 Tourteau de coque non combustible

<u>Forces</u>	<u>Faiblesses</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Grandes quantités disponibles • Facile à produire 	<ul style="list-style-type: none"> • Cher • Peu d'expérience pratique
<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
<ul style="list-style-type: none"> • De nombreux potentiels consommateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Peu de recul sur les impacts agronomiques à long terme

Actuellement la seule autre voie de valorisation envisageable est l'amendement organique des sols et comme produit phytosanitaire. Selon ce que témoignent de récents travaux de recherche réalisés à Bobo-Dioulasso, le compost à base de coques d'anacarde a permis des améliorations de 5 à 30,58% du rendement coton graine par rapport au témoin sans apport d'amendement organique²⁵. Des chercheurs mozambicains auraient également développé des méthodes de compostage des coques d'anacarde qui limiteraient le contenu en phénols mais qui seraient assez actives pour limiter le développement d'aflatoxines dans des cultures comme l'arachide.

²⁵ Mémoire fin d'études « Effets du compost à base des coques d'anacarde sur les paramètres végétatifs et le rendement du cotonnier dans les conditions de culture biologique », Traoré Issouf, INERA, 2017

Ceci est une piste très intéressante mais malheureusement nous manquons d'informations claires et d'exemples de terrain à long terme sur les apports que le tourteau pourrait avoir, positifs ou négatifs. Il semblerait que la dégradation naturelle soit encore une fois très longue, car le tourteau est très riche en lignine et il reste environ 10% de CNSL bien que l'on ait enlevé la majorité de celui-ci, et pourrait entraîner des risques d'accumulation des tourteaux et d'étouffement des sols. Il convient de souligner ici que, pour produire du compost de qualité, les meilleures conditions se trouvent dans la plupart des cas en mélangeant plusieurs matières, de manière à avoir une composition équilibrée en éléments nutritifs et permettre de dégrader l'ensemble bien plus vite que si ce n'était fait séparément. Il s'agirait alors d'envisager le mélange du tourteau de coques avec d'autres substrats, comme les restes de mangue ou de tourteau de karité. Nitidæ et ses partenaires ont réalisé des expériences de compostage de tourteau de karité en mélange avec plusieurs matières, dont du tourteau de coques d'anacarde. Les résultats sont assez encourageants : le compost composé d'un mélange tourteau de karité avec des rejets de mangue et du tourteau de coques a une composition plus équilibrée que lors du mélange avec des coques de coton, de la paille de riz ou des déchets de marché²⁶. Il était d'ailleurs le mélange testé le plus facilement rentable.

Actuellement il existe plusieurs sociétés proposant des engrais organiques, de type compost ou autre, dans le marché burkinabè. L'on citera seulement quelques-uns, comme Nogho Fi à Bobo-Dioulasso, Aromh et Belwet surtout dans le plateau central, mais ce dénombrement n'est pas exhaustif. Il existe de plus en plus une dynamique de marchandisation des déjections animales, facilitée par la multiplication des petits élevages industriels (volaille, porc, ruminants), qui rend ces matières plus disponibles. Les producteurs-mêmes se mettent à en produire, ou du moins continuent à garder les restes de matière organique pour épandage en début de saison de pluies. Ces pratiques témoignent de l'intérêt qu'ils portent à la fertilisation par intrants organiques. Les principaux acheteurs d'engrais organiques sont les maraîchers et les producteurs fonctionnant en circuit biologique, sans oublier les producteurs de coton. Toutes ces spéculations multiplient leurs rendements sous application d'amendement organique – certains producteurs de coton pouvant ajouter jusqu'à 3 tonnes/ha de compost ou fumier.

Auprès des producteurs professionnels de fertilisants organiques, les prix varient entre 5 000 et 10 000 FCFA/sac de 40kg pour le compost (soit 125 000 à 250 000 FCFA/MT) et entre 14 000 et 17 000 FCFA/sac de 50kg pour les engrais (soit 280 000 à 340 000 FCFA/MT). Cependant les prix sont beaucoup moins élevés s'il s'agit de productions villageoises : le compost pouvant se vendre autour de 2 000 FCFA le sac de 40kg (50 000 FCFA/MT). Le fumier animal serait au contraire plus apprécié car donnerait des effets plus rapides (quoique moins durables). Il peut être vendu à des prix concurrençant ceux du compost villageois.

2. 2. 2. 3 *Positionnement de marché*

Il semble clairement plus simple de cibler le marché du tourteau en tant que combustible, en détriment de celui des engrais organiques. En effet, le tourteau serait simplement vendu en l'état, sans aucun traitement voire presque aucun conditionnement (si vendu à des grands clients industriels il pourrait être même livré en vrac), à environ 30 000 FCFA/tonne. Les prix de vente de engrais organiques sont en revanche plus intéressants, mais il faut rappeler que pour produire 1 tonne de compost ou d'engrais il faut mettre de 0,5 à 2 tonnes de tourteau (en fonction de la proportion du mélange de tourteau de coques avec d'autres substrats). Le coût logistique pour s'approvisionner en d'autres intrants ainsi que les coûts de production (retournement, humidification) doivent être déduits des bénéfices présumés de la vente. Également, il serait nécessaire d'assurer un marché assez porteur capable d'absorber les importantes quantités de compost/engrais potentiellement produites avec le tourteau de coques. Les périmètres maraîchers en périphérie de Bobo-Dioulasso, ou encore les producteurs de riz des plaines irriguées de

²⁶ Mémoire de BTS Agricole « Valorisation des tourteaux de karité par compostage en fosse », Michel Ouali, 2014. CAP Matourkou. RONGEAD, CIRDES, CIRAD,

Bama ou de Banfora pourraient être les principaux débouchés si les prix de vente sont alignés à ceux du fumier ; mais dans ce cas les prix de vente sont autour de 50 000 FCFA/MT. Avec ces prix, non seulement les coûts de production mais aussi les coûts de logistique (transport du produit, marges détaillant) rendent rendre cette option peu attrayante.

Ainsi, si l'on se concentre sur une vente de tourteau-combustible, afin de pouvoir toucher des clients et s'introduire sur le marché, il faudra vendre le tourteau moins cher que le bois pour inciter à changer vers ce combustible. Il faudra aussi prévoir un accompagnement afin d'appuyer les clients dans ce changement car des modifications pourraient être à prévoir sur leur chaudière, comme la méthode d'alimentation, l'adaptation de la grille ou de la ventilation. Il doit être noté que ces combustibles n'étant aujourd'hui pas présents sur le marché burkinabè, aucun équipementier ou structure technique n'est prêt à proposer un accompagnement au client, chose qui pourrait constituer un frein à l'adoption de ces produits, ajouté aux craintes habituelles des consommateurs lorsqu'il s'agit de changer de combustible. Une stratégie « fournisseur de services énergétiques » pourrait être adoptée, dans laquelle le vendeur du combustible (l'unité de référence, un sous-traitant) propose en même temps des services d'accompagnement tels que le changement des grilles des chaudières afin de les rendre aptes à la combustion du tourteau, des prestations de maintenance régulière et curative, etc. Ainsi, des contrats de fourniture de combustible assortis d'accompagnement technique pourraient être passés avec le client, ayant pour effet de rassurer ce dernier et de diminuer les risques pour lui.

Au fur et à mesure que les combustibles dérivés de la coque d'anacarde deviendront connus sur le marché, l'unité de référence pourra, si elle le souhaite, se détacher de cette activité « accompagnement », qui nous semble dans un premier temps essentiel afin de garantir l'accès au marché de ses produits.

2. 2. 3 Charbon de coques

2. 2. 3. 1 Charbon de coque comme combustible

<u>Forces</u>	<u>Faiblesses</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Prix • Impact environnemental 	<ul style="list-style-type: none"> • Complicé à produire • Qualité moindre
<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
<ul style="list-style-type: none"> • De nombreux potentiels consommateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommateurs exigeants

Combustible pour utilisation domestique :

Actuellement l'utilisation du charbon est principalement d'ordre domestique du fait de son aspect pratique et de son coût élevé. L'achat par des particuliers en petit nombre fait que le marché est extrêmement parcellé et satellisé et donc que pour écouler une grande quantité de ce charbon il faudra toucher un grand nombre de personnes. Ceci implique le recours à des circuits de vente plus élaborés (revendeurs, grossistes) et à des stratégies de vente qui tireront les prix du produit ExW vers le bas ; au moins au début pour faciliter l'insertion de ce produit dans le marché. Le secteur de la restauration peut également être visé : restaurants, grilleurs de viande et poisson. Tout ce public a en commun la cuisson des aliments comme utilisation principale du charbon.

Une des principales contraintes concernant ce marché est l'acceptation d'un nouveau produit, les utilisateurs étant fortement habitués à leur utilisation quotidienne du charbon de bois. Il faudra bien évidemment que le produit de substitution, le charbon de coque d'anacarde, soit moins cher mais surtout

qu'il brûle à la même vitesse, ait la même taille, sente la même odeur ou encore s'allume de la même manière. Certaines de ces contraintes semblent surmontable en mettant le nouveau charbon sous d'autres formes, par exemple de briquettes ou de granulés, mais il est en général très difficile d'arriver exactement au même résultat ce qui fait qu'au final l'acceptabilité de ces produits est très longue.

Un autre aspect à prendre en compte est le fait que les prix et la disponibilité du charbon de bois sont très variables suivant la saison. A titre illustratif, le prix moyen de vente de la tonne de charbon de bois est de 64 776 CFA/Mt, mais peuvent varier entre 60 000 et 79 980 FCFA/Mt. Le prix dépend surtout de la saison et de la disponibilité du charbon sur le marché.

Le plus grand avantage de ce marché serait d'ordre écologique et environnemental en diminuant les coupes de bois sauvages et donc en participant à la lutte contre la déforestation et la dégradation du couvert forestier, qui est de plus en plus mis sous pression afin de répondre à des besoins croissants en combustible.

2. 2. 3. 2 Positionnement de marché

Le charbon de coque d'anacarde n'étant pas connu du grand public et les clients devant être très nombreux pour écouler de grands stocks, car petits consommateurs, un grand travail de vulgarisation et de marketing devra être effectué auprès des ménages pour les inciter à consommer ce nouveau charbon qui aura forcément une qualité un peu différente du charbon de bois auquel ils sont habitués. Ce travail demandera une grosse présence d'équipes de vente sur le terrain et on peut imaginer qu'au début la commercialisation sera assez lente et il sera difficile d'écouler de grands volumes. Mais si ce produit plaît à la population et que son prix est intéressant, le bouche à oreille pourrait aussi rapidement permettre de toucher un nombre important de personnes.

2. 2. 4 Electricité

<u>Forces</u>	<u>Faiblesses</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Impact environnemental 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologie complexe • Puissance relativement faible • Coût d'investissement élevé
<u>Opportunités</u>	<u>Menaces</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Marché existant 	<ul style="list-style-type: none"> • Un seul client

Il est possible de produire de l'électricité suivant différentes techniques (cf. 3.1.3 *Production d'électricité* p.37), que ce soit avec les coques ou leur tourteau. La partie de cette électricité non utilisée pourrait être revendue à la SONABEL comme c'est le cas pour certains producteurs indépendants.

Actuellement il n'y a pas de prix de rachat par la SONABEL régie par décret ministériel, quel que soit le type d'électricité produite (solaire, hydroélectrique, thermique avec hydrocarbures ou thermique avec biomasse) pour les producteurs indépendants bien que l'ARSE, Agence de Régulation du Secteur de l'Energie, sous tutelle du Ministère de l'Energie, soit en train de travailler sur toutes ces questions. Aujourd'hui les producteurs indépendants passent des accords bilatéraux directement avec la SONABEL et les prix de vente sont négociés au cas par cas.

Par exemple la centrale thermique à fioul lourd AGGREKO sise à Ouagadougou a passé un accord pour un prix de vente de 74.8 FCFA/kWh HT et les coûts de production des centrales thermiques de la SONABEL se situent entre 76 et 80 FCFA/kWh HT²⁷. Il est à noter que le combustible utilisé par ces centrales, le HFO180, est financé à hauteur de 48% par la SONABHY (cf. *Tableau 9. Tableau comparatif*

²⁷ Avis conforme n°2019 001 /ARSE/CR Relatif à la demande de licence de production d'électricité de la société AGGREKO

de différents combustibles liquides utilisés au Burkina Faso par rapport au CNSL p.21) pour arriver à ces coûts de reviens.

Le prix d'achat de l'électricité solaire se situe lui aux alentours de 50FCFA/kWh d'après nos recherches. Cette électricité est souvent moins chère à produire mais ne peut malheureusement être disponible qu'à certaines heures de la journée et est dépendante des aléas climatiques, d'où son prix de rachat plus faible.

D'après les différents échanges que nous avons eus, le prix de revente pourrait dans notre cas se situer dans une fourchette de **60 à 65 FCFA/kWh HT**.

3 MÉTHODES ET SCÉNARIOS DE VALORISATION

3.1 Méthodes de valorisation

3.1.1 Extraction mécanique

Comme expliqué dans le paragraphe 2.1.2.CNSL p.16, la méthode d'extraction du CNSL la plus adaptée et la plus répandue, notamment pour transformer de grandes quantités, est l'extraction mécanique.

Cette méthode consiste à mettre les coques de noix de cajou brutes dans une **presse à vis** puis exercer une pression afin de libérer le CNSL contenu dans les coques. On récupère d'un côté la partie liquide, le CNSL naturel, et de l'autre côté la partie solide, les tourteaux déshuilés. Ensuite le CNSL passe dans différents tamis et bacs de décantation afin d'enlever une première partie des boues liées au pressage. Puis le CNSL naturel est envoyé vers un **réacteur** en température d'environ 150°C pendant plusieurs heures afin de se transformer en CNSL technique grâce à une réaction de décarboxylation. Ce réacteur est lui-même alimenté en chaleur par une chaudière à biomasse (tourteau ou coques). Une autre étape de décantation est nécessaire afin de séparer les boues générées dans le générateur du CNSL technique.

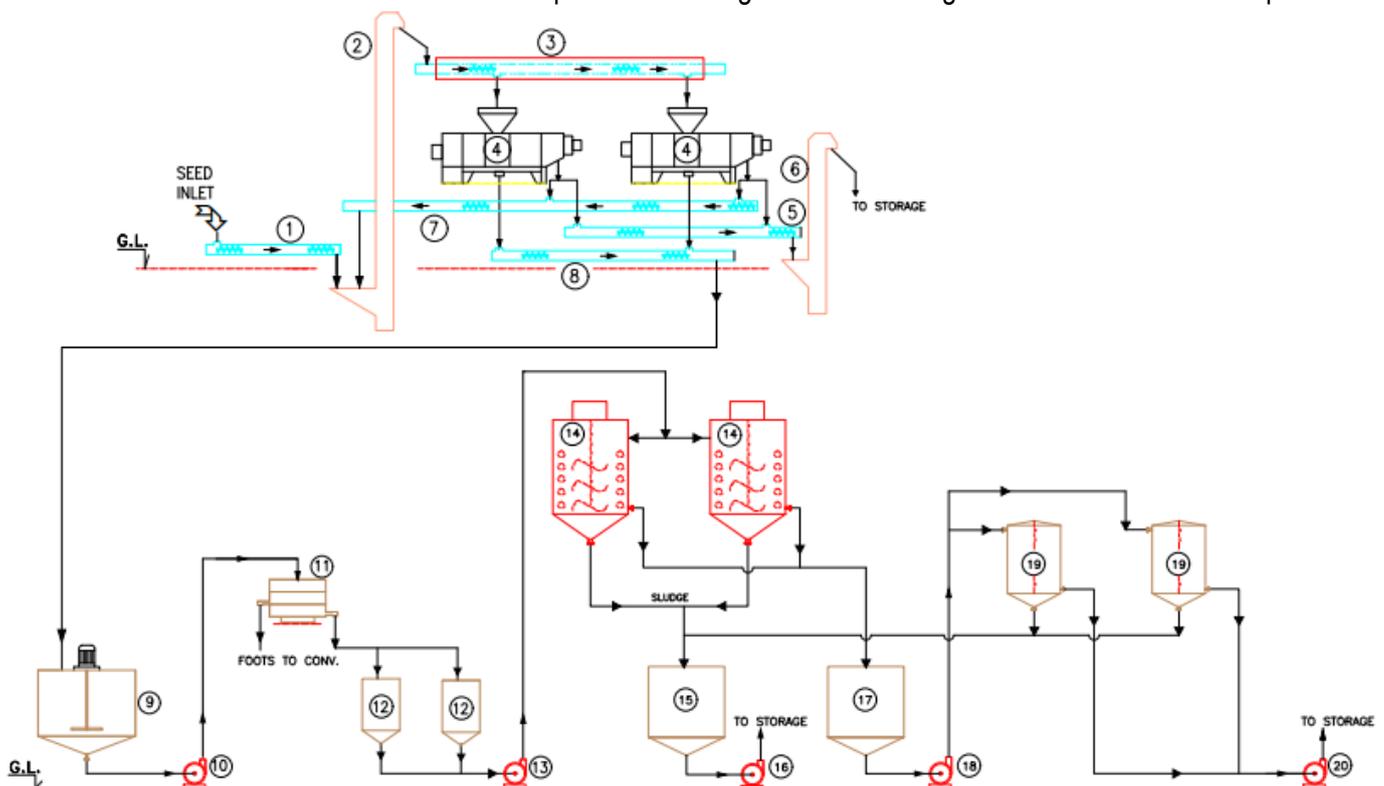


Figure 15 : Process complet de production de CNSL technique par extraction mécanique²⁸

On estime que pour 1000 kg de coque d'anacarde, on obtient en moyenne 750 kg de tourteau, 200 kg de CNSL technique et 40 kg de boues soit des rendements respectifs de 75%, 20% et 4%. Le reste est perdu sous forme de CO2 et d'humidité.

Les caractéristiques de la matière première et des produits obtenus sont celles indiquées en 2.1. Description p.15.

Actuellement très peu d'informations sont disponibles quant au devenir des boues. Celles-ci pourraient aussi bien être considérées comme un déchet que comme un produit de vente suivant les marchés que l'on aura trouvé. En général la boue est utilisée comme combustible dans des conditions assez particulières (four de déshydratation du clinker dans des cimenteries par exemple) et requière des équipements prêts à accepter tout type de combustible. Un exemple que les boues peuvent faire l'objet d'échanges commerciaux, les boues des combustibles hydrocarbures que la SONABEL Bobo 2 produit grâce à ses centrifugeuses sont achetées par des ghanéens qui les exportent ensuite pour une utilisation inconnue à notre niveau, mais cette piste serait à explorer davantage.

<p style="text-align: center;"><u>Forces</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Assez simple d'un point de vue technique et donc très robuste • Se rapproche d'assez près de l'extraction d'huile de coton, très connue et maîtrisée dans le pays • Peut traiter de très grandes quantités de coques avec une quantité de main d'œuvre faible et peu qualifiée • Prix d'investissement en équipements assez faible, environ 3 à 3.5 millions de FCFA par tonne de coque traitée par jour EXW et de l'ordre de 4.5 millions de FCFA par tonne de coque traitée par jour, installé sur site. 	<p style="text-align: center;"><u>Faiblesses</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Energivore en électricité, environ 50 kWh par tonne de coque traitée
<p style="text-align: center;"><u>Opportunités</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel local déjà qualifié pour ce type d'équipement 	<p style="text-align: center;"><u>Menaces</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Prix de vente du CNSL trop bas à l'international • Méconnaissance des produits qui rendent difficile l'écoulement dans le marché domestique

3.1.2 Carbonisation - pyrolyse

La coque ou les tourteaux de coque, à l'instar de toute matière de type ligneux, se prête bien à sa transformation par carbonisation. Le processus subi en ce moment est une pyrolyse, c'est-à-dire une transformation thermochimique qui équivaut à une combustion incomplète : l'agent comburent (l'air) y est introduit dans le réacteur de pyrolyse en très faible quantité, seulement assez pour alimenter des

²⁸ Schéma fourni par la société Kumar Metal Industries

réactions de dégradation de la matière qui dégageront de la chaleur pour retro-alimenter le processus de conversion. Les réactions de pyrolyse se produisent dans des plages de température entre 600 et 800°C généralement. La matière finale, le charbon, est le produit de ces réactions de dégradation thermique, qui peuvent prendre plusieurs heures à se compléter sur toute l'étendue de la matière à carboniser.

Les réactions de pyrolyse sont des réactions qui vont dans le sens d'appauvrir la matière en contenu en hydrogène et oxygène. Par conséquent, il se dégage des gaz carbonés relativement riches en hydrogène (chaînes courtes), en plus des composés carbonés les plus volatils contenus dans la matière première. Ces gaz de pyrolyse sont aussi appelés « gaz pauvre » ou encore « gaz de synthèse » car ils sont inflammables bien que présentant un pouvoir calorifique assez bas. Les molécules conformant ces gaz s'inscrivent dans un éventail assez large, allant des petites molécules (dihydrogène, monoxyde de carbone, etc) à des molécules plus lourdes et condensables (pour le cas de la coque, les molécules du CNSL se volatilisent et partent dans cette phase gaz). Les gaz de pyrolyse peuvent être considérés un combustible et utilisés comme tels – c'est d'ailleurs ce qu'il arrive dans les fours de pyrolyse H2CP installés dans plusieurs unités agroindustrielles de la zone (voir

Figure 4 ci-dessus).

Aussi, comme sous-produit de ces réactions de dégradation il est récupéré un liquide pyrolytique riche en hydrocarbures qui pourrait avoir un intérêt industriel (base pour synthèse chimique) ou en tant que pesticide d'origine naturelle. À ce stade la recherche n'est pas suffisamment avancée pour proposer des voies commerciales pour sa valorisation ; cela reste une opportunité en latence, et un sujet pour la recherche appliquée au niveau national.

Il existe dans le monde des installations de carbonisation à moyenne et grande échelle qui correspondent aux volumes de matière à carboniser considérés dans cette étude (de l'ordre des 10 000 à 20 000 tonnes/an, en fonction qu'il s'agisse du tourteau de coques ou des coques). Généralement les rendements à charbon sont maximisés en recyclant les gaz de pyrolyse dans le processus, au lieu de les laisser s'échapper dans l'atmosphère (comme il est fait pendant la carbonisation traditionnelle). Les plus grands dispositifs peuvent utiliser une partie de ces gaz pour actionner une petite centrale de production d'électricité. La grande majorité de ces technologies n'a été conçue que pour produire du charbon à partir du bois, ou du bambou. La difficulté accrue de carboniser les coques est leur contenu en huile phénolique (CNSL) qui risque de condenser dans le lit à carboniser et créer des zones froides si les transferts de chaleur ne sont pas homogènes. Lorsque le tourteau est à carboniser, la compacité du tas peut également rendre complexe la circulation des gaz nécessaire à la carbonisation. Nitidæ est en cours de conception de carbonisateurs qui pourraient carboniser jusqu'à 4 tonnes de coques en une journée.



Figure 16. Installation expérimentale de carbonisation en parallèle réalisée par Nitidæ à Bobo-Dioulasso.

3. 1. 3 Production d' électricité

La biomasse peut être utilisée comme source d'énergie pour produire de l'électricité. Pour cela, le système le plus étendu est celui de la chaudière couplée à une turbine de vapeur. L'installation se compose d'une chaudière, où la biomasse est brûlée complètement (combustion) 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. Ainsi, le système peut fonctionner en cogénération, qui se définit comme la production simultanée de chaleur et électricité dans un même processus. 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 (autour de 20% de rendement électrique). Récupérer la chaleur rend le système globalement plus performant. Cette chaleur trouve des utilisations généralement dans l'industrie.

La technologie de valorisation par combustion a, nonobstant, ses limites. Notamment, elle est assez onéreuse, spécialement pour les petites échelles. Les rendements énergétiques des systèmes chaudière-turbine-alternateur sont meilleurs avec de plus grandes machines (de l'ordre de la centaine de MW de capacité). Ce qui augmente sensiblement le coût unitaire de l'unité énergétique (kWh), s'il s'agit de produire quelques MW de puissance seulement, comme il l'est pour notre cas de figure. Par exemple, en valorisant 20 000 tonnes de coques, il serait possible de produire à peine 2,5 à 3 MW de puissance électrique continue²⁹.

Il est dans ce cas intéressant de considérer d'autres méthodes de valorisation pour produire l'électricité. La gazéification est la méthode alternative la plus répandue pour la biomasse à des échelles allant de la centaine de kW à quelques MW. Il s'agit d'une voie thermochimique, tout comme la combustion et la pyrolyse. Comme cette dernière, la gazéification s'apparente à une combustion incomplète où le dosage de l'air est très limité, afin de garder une atmosphère peu oxygénée et promouvoir la dégradation de la matière solide vers la forme de gaz. Les températures de travail de la gazéification sont supérieures à celles de la pyrolyse, de 800 à 1000°C environ, ce qui maximise le rendement à gaz. Ces gaz sont

²⁹ En comparaison, les groupes électrogènes utilisés par la SONABEL Bobo 2 dans sa centrale ont des puissances unitaires de 3 à 10 MW.

constitués d'un mélange complexe de molécules carbonées et d'hydrogène (H₂), et sont, eux-mêmes, combustibles. La conversion en électricité se fait alors au travers d'un moteur de combustion interne, qui active un alternateur. Il est cependant nécessaire de traiter les gaz à la sortie du réacteur de gazéification (gazogène) avant de les injecter dans le moteur, afin de garantir que les goudrons et autres substances corrosives contenues dans le courant gazeux puissent endommager le moteur.

L'avantage de la gazéification est qu'il s'agit d'une technologie robuste et qui ne revêt pas d'une technicité très élevée, ce qui facilite les interventions de maintenance avec des moyens limités. En plus, l'investissement est nettement inférieur à la technologie chaudière + turbine, pour une puissance installée équivalente. En revanche, les coûts de renouvellement d'équipement (qui s'use rapidement) comme ceux du traitement des effluents (gaz, eaux sales) peuvent devenir assez lourds et jouer sur le bilan économique pendant la durée d'exploitation. De plus, le rendement de conversion en électricité est plus faible que pour le cas de la turbine (autour de 12%).

3. 2 Scénarios

Compte tenu de la grande variété de produits qui peuvent être obtenus à partir des coques d'anacarde, 6 différentes voies de transformation différentes ont été considérées. L'analyse de ces différents itinéraires de valorisation nous conduira à identifier la voie la plus appropriée pour notre cas d'étude.

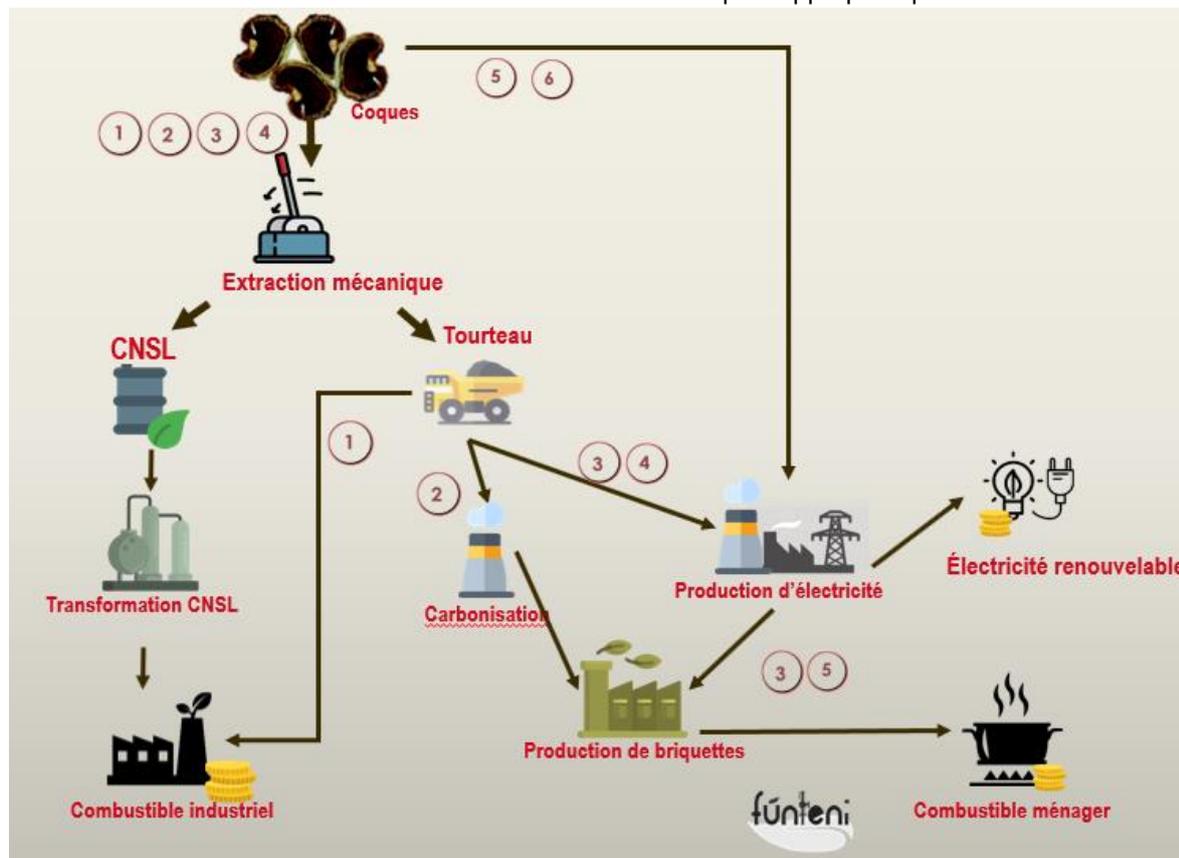


Figure 17 : schéma des 6 différentes voies de valorisation envisagées

Ces différentes voies sont :

Méthode	Produits
1 Extraction mécanique	CNSL, tourteau
2 Extraction mécanique, carbonisation et briquetage	CNSL, briquettes de charbon
3 Extraction mécanique, gazéification et briquetage	CNSL, électricité, briquettes de charbon

4	Extraction mécanique, combustion	CNSL, électricité
5	Gazéification et briquetage	Électricité, briquettes de charbon
6	Combustion	Électricité

Nous allons procéder par analyse coûts-bénéfice, en considérant les paramètres suivants :

- Le bénéfice par la vente de ces produits, après estimation des coûts de revient simplifiés et les prix de vente
- Les avantages par rapport à d'autres paramètres, notamment de nature environnementale et écologique

Nous nous basons pour ces calculs sur des quantités de coques à transformer de l'ordre de **20700 MT/an**, comme expliqué en 1.1.3 et en 1.1.4, ce qui correspond donc au scénario moyen, avec seulement les coques de Bobo Dioulasso. Dans la prochaine partie du rapport, d'autres hypothèses pourront être faites avec des coques venant d'autres localités.

Les **coûts de revient simplifiés** comprennent les coûts de production (coûts d'opération, maintenance, coûts fixes et amortissement des équipements et des locaux) et la dotation correspondante aux amortissements des équipements et bâtiments de production seulement. Ils ont été estimés dans un premier temps sur la base de nos expériences, et d'exemples similaires. **Par contre tous les autres coûts non directement liés à la production n'ont pas été estimés dans les calculs suivants.** Par exemple les coûts de transport ou d'achat des coques n'ont pas été comptabilisés car il serait les mêmes pour chacun des scénarios. Une fois le scénario de valorisation choisi, différents scénarios pourront encore une fois être faits pour voir jusqu'à quel point ce scénario de valorisation est rentable. Aussi toutes les autres charges comme les bureaux, personnel administratif, gardiennage, remboursement de prêts, eau courante etc. n'ont pas été considérés. On peut considérer dans un premier temps que tous ces coûts seront les mêmes quelque soit le scénario et que l'on peut s'en affranchir actuellement tout en ayant une analyse comparative juste entre chaque scénario.

Une analyse plus détaillée des coûts de revient sera réalisée dans la deuxième partie de l'étude, pour le scénario sélectionné ou tous ces facteurs seront pris en compte avec encore une fois différents cas de figure. Cette analyse sera forcément moins optimiste que celle présenté ci-dessous car de nombreux frais s'ajouteront.

3.2.1 CNSL + tourteau

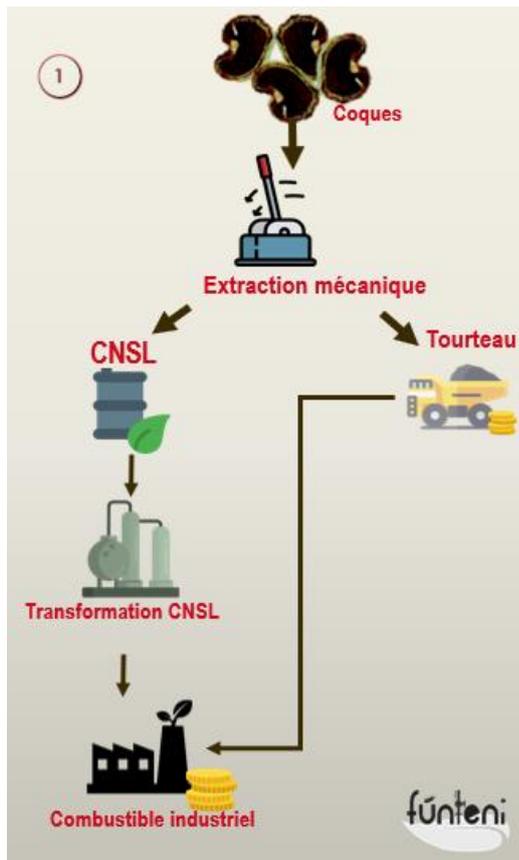


Figure 18. Voies de valorisation des coques pour le Scénario 1.

L'extraction mécanique sépare les deux principales phases de la coque. Le CNSL peut être vendu en l'état après sa stabilisation en CNSL technique, ou encore recevoir des traitements ultérieurs pour le rendre adapté à des utilisations spécifiques (combustible, cardanol distillé et ses dérivés...). Dans la présente simulation, des ventes du CNSL en tant que combustible type HFO ont été considérées.

Le tourteau serait également vendu en l'état, en tant que combustible solide pour les industries de la place.

Tout le tourteau obtenu par le pressage des coques ne serait pourtant pas disponible à la vente : l'unité de référence en reverserait une partie aux usines de transformation auprès desquelles les coques ont été récupérées. Ce service permet aux transformateurs d'anacarde d'utiliser un combustible propre qui ne dégage pas de fumées et donc évite les désagréments liés à la combustion de la coque. Le problème de gestion des coques au niveau des usines serait ainsi résolu, par la mise en place de contrats de cession/vente de ces matières, entre les usines de transformation et l'unité de référence.

3. 2. 1. 1 Coût de revient et prix de vente

Les plus gros postes de dépenses dans le process d'extraction du CNSL et sa transformation sont la consommation électrique et les coûts de maintenance. Ainsi, le coût de revient de la tonne de CNSL se situerait entre 47000 et 71000 FCFA. Il pourrait être vendu sur le marché des combustibles à 100 000 FCFA minimum, en s'alignant sur les prix de l'huile de vidange, couramment consommée par certains industriels (huileries, boulangeries, métallurgie) de Bobo-Dioulasso et Ouagadougou. S'il peut être intégré plus largement, comme substitut du DDO, son prix de vente pourrait atteindre les 300 000 FCFA la tonne. **Intervalle de prix de vente du CNSL de 100 000 à 300 000 FCFA/MT.**

Au niveau du tourteau, les coûts de revient sont proportionnellement plus petits que ceux du CNSL car il s'agit en vérité d'un sous-produit de l'extraction du CNSL. Le tourteau vendu en substitution du bois actuellement employé par les industries pourrait alors atteindre des prix équivalents du bois de chauffe, ou se vendre à moindre prix. **Intervalle de prix de vente du tourteau de 10 000 à 30 000 FCFA/MT.**

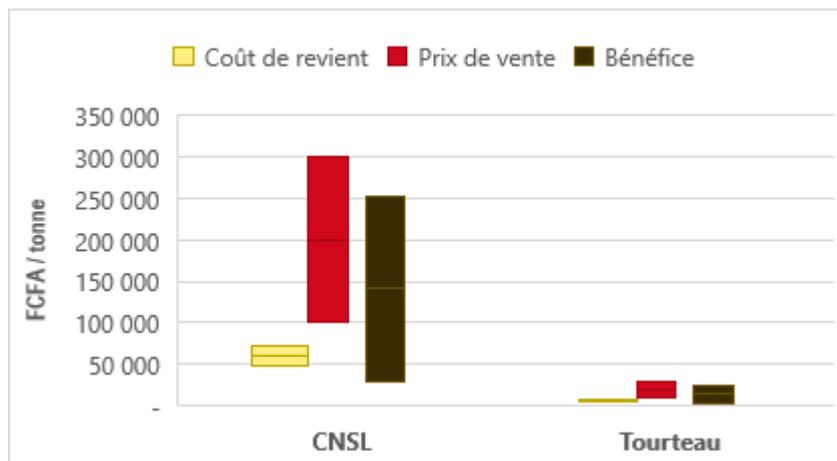


Figure 19. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (tonne) du CNSL et du tourteau de coques obtenus en Scénario 1.

La Figure 19 montre les fourchettes des coûts de revient et des prix de vente unitaires considérés, ainsi que les bénéfices par tonne dégagés par la vente de chaque produit. Non seulement les prix de vente de chacun des produits sont très différents, nous pouvons apercevoir une grande valeur ajoutée pour la tonne de CNSL. Cet écart entre prix de vente et coût de revient rend très profitable l'opération globale, comme le montre la Figure 20. Les bénéfices de la vente de CNSL, ajoutés à ceux de la vente des tourteaux, seraient de jusqu'à 1 300 000 000 FCFA/an dans le meilleur des cas considérés – et 200 000 000 FCFA/an dans le pire des cas.

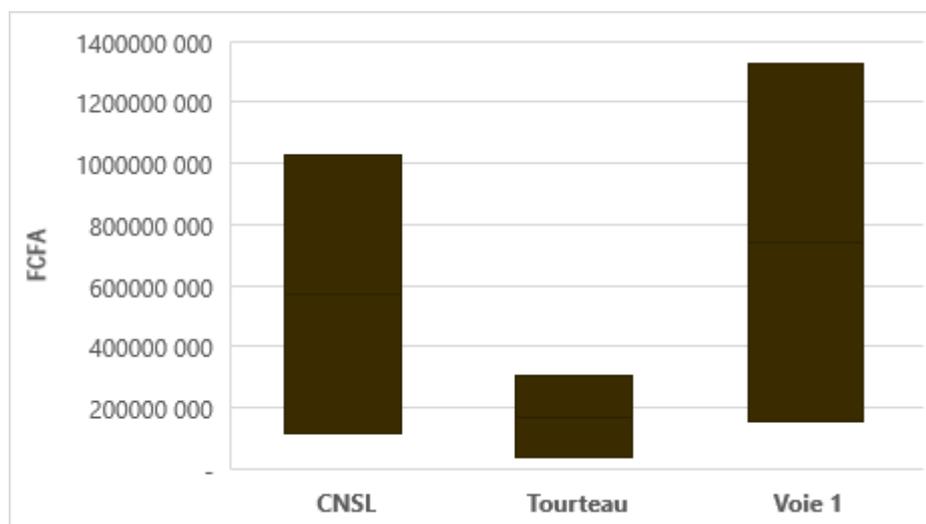


Figure 20. Bénéfices de la vente de CNSL et de tourteau, et bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 1.

3. 2. 1. 2 *Autres considérations*

Le marché de base considéré ici pour les deux produits est donc les consommateurs industriels de combustible, en forme liquide et solide. Ce marché apparaît le plus rentable vu la valeur ajoutée que ces produits auraient compte tenu du niveau de transformation relativement sommaire. Cette configuration permet toujours d'ajouter des étapes ultérieures pour la transformation des deux produits (CNSL et tourteau) en d'autres produits, si de meilleures opportunités de marché se présentaient.

Du côté de l'impact environnemental, pour 1 kg de tourteau, 1 kg de bois peut être économisé si le combustible habituel est le bois. Cela peut être le cas des huileries et des boulangeries mais n'est pas le cas à la SN Citec qui utilise des coques de coton qui pourraient être destinées à l'alimentation animal. Aussi, pour 1 kg de CNSL, pratiquement 1 kg de combustible DDO ou autre est substitué.

3. 2. 2 CNSL + charbon

3. 2. 2. 1 Description



À la voie de valorisation considérée dans le Scénario 1, il a été ajouté des étapes supplémentaires en vue de la transformation du tourteau en charbon.

Une unité de carbonisation par pyrolyse serait installée à côté de l'unité d'extraction. Le tourteau serait carbonisé puis compacté en briquettes. Le procédé de pyrolyse ne serait pas accompagné d'une valorisation des fumées, mais garantirait un meilleur rendement.

Figure 21. Voies de valorisation des coques pour le Scénario 2.

3. 2. 2. 2 Coût de revient et prix de vente

Les considérations sur le coût de revient et les prix de vente du CNSL restent pareilles à celles du scénario 1. Ce qui diffère est le produit solide, qui est le tourteau carbonisé et compacté en briquettes. Avec un rendement de conversion de 20%, presque 2 400 tonnes de briquettes de charbon seraient produites chaque année par l'unité de référence. Cependant, les coûts de revient seraient assez élevés, l'électricité pesant 70% sur les coûts de production (hors amortissements).

L'amortissement des équipements pèse également assez lourd sur le coût de revient (24%), le troisième poste correspondant à l'achat de liant (13%). Ces charges ne semblent pas être compensées par des prix de vente avantageux, car faute d'un cadre incitatif pour le biocharbon, le produit devrait, au mieux, s'aligner sur les prix de vente du charbon de bois (qui seraient, au minimum de 69 FCFA/kg pour les ventes à Bobo-Dioulasso, et au maximum de 120 FCFA/kg à Ouagadougou). Dans le cas de vente du charbon à Ouagadougou, le prix total de vente compenserait seulement à peine les coûts de transport qui s'ajoutent. **Intervalle de prix de vente du charbon de 69 000 à 120 000 FCFA/MT.**

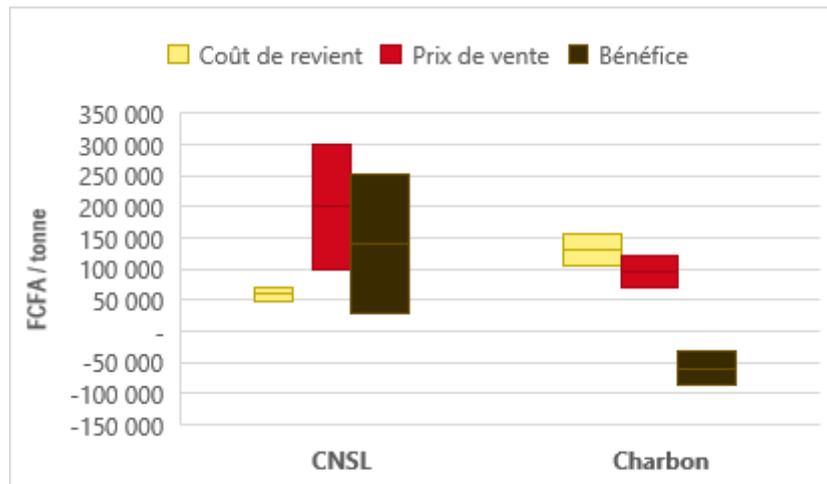


Figure 22. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (tonne) du CNSL et des briquettes de charbon de coques obtenus en Scénario 2.

Les graphiques en Figure 22 et Figure 23 montrent comment le charbon issu de cette voie de valorisation ne dégagerait pas de bénéfices, devenant une activité déficitaire. Le bilan positif du scénario serait seulement assuré par les ventes de CNSL.

La vente des sous-produits contenus dans les gaz de pyrolyse, et du liquide pyrolytique, n'a pas été considérée ici, car cela reste un marché incertain, peu de connaissances sur la nature exacte de ces produits et donc les méthodes d'isolement des composants, ou d'application de ces produits.

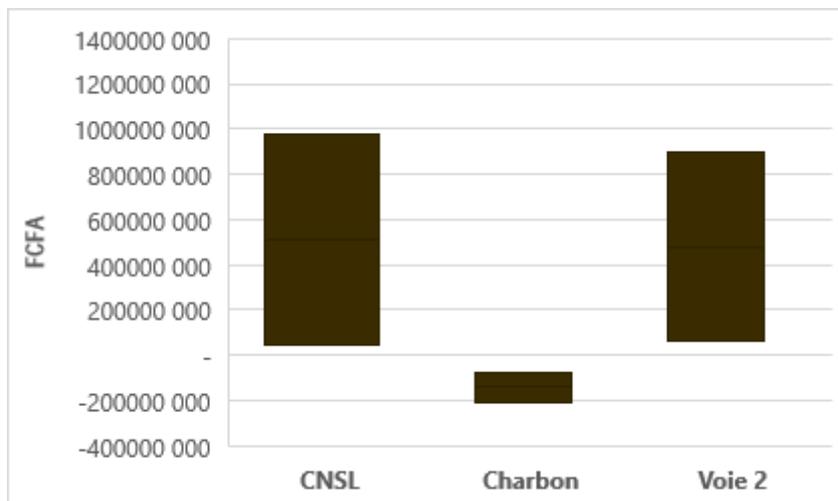


Figure 23. Bénéfices de la vente de CNSL et de briquettes de charbon, et bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 2.

3. 2. 2. 3 Autres considérations

Il est à noter qu'il n'existe aujourd'hui aucune politique de soutien aux biocombustibles solides, et que ces derniers sont très peu connus du grand public. Ceci réduit les chances du produit d'être vendu à des prix premium, ou encore de voir une demande accrue pour ces produits, si la qualité des briquettes de charbon était perçue comme supérieure au charbon de bois.

Pour vendre des briquettes de charbon de coques, il faudra réaliser des campagnes de communication afin de briser les réticences des clients. En plus, il faudra établir des circuits de vente appropriés pour faire parvenir le produit vers les clients finaux (les ménages). Il serait alors nécessaire une contribution plus active de l'unité de production sur le plan de la commercialisation, par exemple en mettant en place des points de vente spécifiques ou en s'associant aux revendeurs-grossistes, en formant des animateurs

ou agents commerciaux, ou encore en accompagnant la vente de briquettes par des foyers améliorés, afin de proposer une offre complète et ciblée sur les économies d'énergie vis-à-vis du client³⁰. Les effets de ce dispositif renforcé sur la commercialisation du biocharbon n'ont pas été pris en compte dans la simulation. Ainsi, les coûts de revient ne reflètent pas ces éventuels efforts supplémentaires mais ne considèrent pas non plus un hypothétique prix de vente supérieur au charbon de bois, s'il se trouvait que les efforts de communication permettent de vendre les briquettes à un prix supérieur au charbon de bois.

3. 2. 3 CNSL + électricité + charbon

3. 2. 3. 1 Description

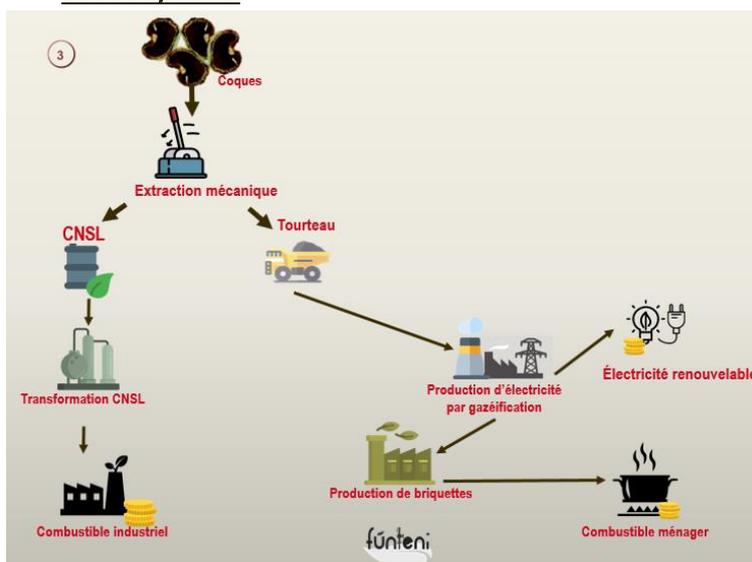


Figure 24. Voies de valorisation des coques pour le Scénario 3.

Le Scénario 2 nous mène à la conclusion que la production de charbon en soi serait déficitaire. Une des causes est la non valorisation des courants gazeux et liquides qui se dégagent lors de la dégradation thermique du tourteau. La voie de valorisation du tourteau par gazéification permet de générer un gaz et de le valoriser ensuite dans moteurs de combustion interne couplés à des alternateurs, produisant ainsi de l'électricité. La puissance électrique de la centrale serait de 1,07 MW.

Comme sous-produit de cette voie de valorisation, il est obtenu du charbon, bien qu'avec un rendement en charbon moindre que la voie de pyrolyse. Ainsi, le volume de charbon produit serait de 1 900 tonnes. L'extraction et traitement du CNSL jusqu'à obtenir du CNSL technique n'ont pas varié par rapport aux scénarios précédemment présentés.

3. 2. 3. 2 Coût de revient et prix de vente

Les coûts de revient et les prix de vente du CNSL restent pareils que dans les Scénarios 1 et 2.

Il a été considéré que le charbon de gazéification est d'une qualité égale à celui obtenu par la pyrolyse, et qu'il peut donc être vendu dans le même rang de prix³¹. Ses coûts de production sont, pour ce cas, beaucoup moins chers, le charbon n'étant qu'un sous-produit du procédé de gazéification.

³⁰ Voir dans ce sens le partenariat établi entre Nafaa nanaa et Afrique écologie, la première spécialisée dans la vente de foyers améliorés, et la deuxième dans la fabrication de briquettes de déchets carbonisés.

³¹ Cette hypothèse reste à confirmer, car jusqu'à aujourd'hui il existe très peu de retours d'expérience sur l'utilisation du charbon de gazéification provenant des coques d'anacarde. Nitidæ étudie présentement différentes voies (pyrolyse,

Le coût de l'électricité produite reviendrait à entre 55 et 83 FCFA le kWh. Les prix de vente considérés sont de 50 à 65 FCFA le kWh électrique vendu à la SONABEL (injection réseau), mais ils pourraient être encore au-dessus si l'unité de référence s'associe à un client et lui fournit l'électricité moyennant un accord de gré à gré. Cette formule, permise par la loi, pourrait convenir à des industriels de la place qui ont des besoins en électricité de l'ordre de plusieurs centaines de kW. Ainsi, l'unité de référence fournirait de l'énergie électrique à un nombre réduit d'usines localisées qui fonctionneraient comme clients captifs. Les prix de vente de l'électricité en mini-réseau pourraient aller jusqu'à 75 FCFA par kWh. **Intervalle de prix de vente de l'électricité de 50 à 75 FCFA/kWh.**

La vente de l'électricité pourrait se réaliser aussi auprès des particuliers, à travers un mini-réseau, mais cette solution nous semble plus coûteuse en termes de gestion de la clientèle et de l'infrastructure afféree (il y aurait potentiellement deux à cinq milliers de branchements à gérer, ce qui engendre des coûts unitaires plus élevés que ce qui a été modélisé).

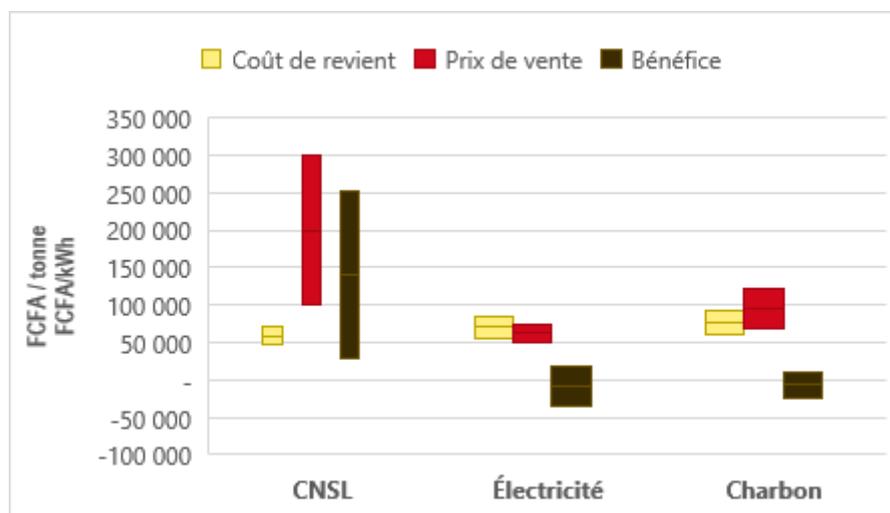


Figure 25. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (tonne) du CNSL, de l'électricité (kWh) et des briquettes de tourteau de coques obtenus en Scénario 3.

Les résultats de la simulation rendent des résultats mitigés pour les produits charbon et électricité (Figure 25), ces produits n'étant rentables que si les meilleures conditions - coûts de revient et prix de vente - sont réunies.

En conclusion, le CNSL serait toujours le produit qui donnerait le plus grand apport aux bénéfices de l'unité, comme le montre la Figure 26. Dans des conditions favorables de prix de l'électricité, et en maîtrisant les coûts de production, l'électricité pourrait également être un produit intéressant et participer positivement au bilan global. Le charbon resterait un produit résiduel, n'ayant que très peu d'impact sur le chiffre d'affaires global.

gazéification) de carbonisation de la coque, adaptées au contexte local, et les effets sur la qualité du charbon : carbone volatil, traces de produits phénoliques résiduels, acceptabilité des consommateurs... Plus d'informations [ici](#).

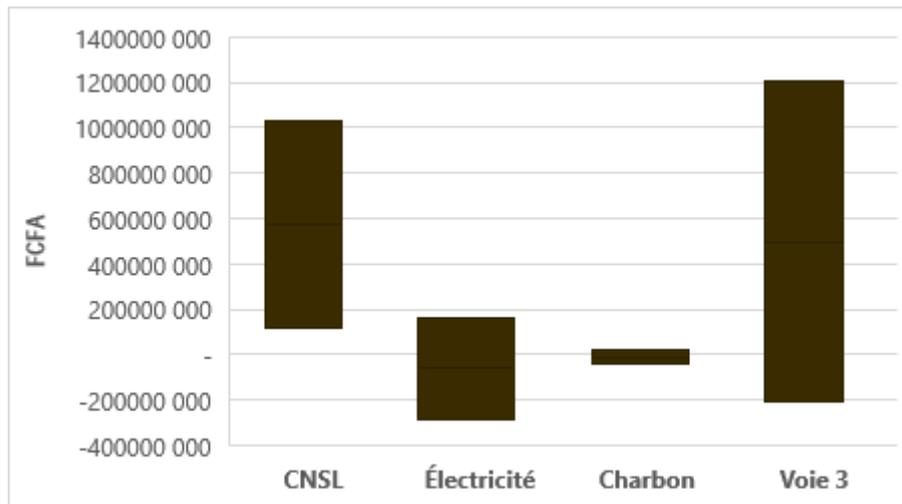


Figure 26. Bénéfices de la vente de CNSL, d'électricité et de briquettes de charbon, et bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 3.

3.2.4 CNSL + électricité

3.2.4.1 Description

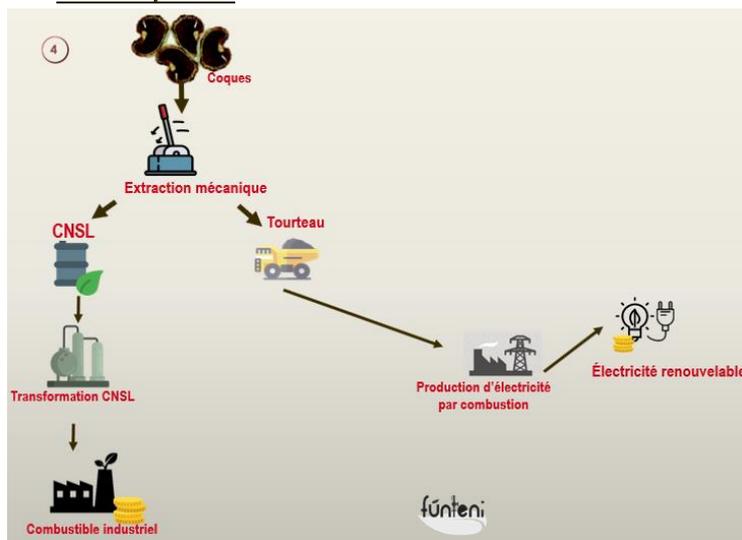


Figure 27. Voies de valorisation des coques pour le Scénario 4.

Le Scénario 4 considère toujours la séparation du CNSL et le tourteau. Par rapport au Scénario 3, où le tourteau était transformé en gaz, dans ce cas le tourteau sera transformé par combustion directe afin de générer de l'énergie électrique, à travers donc d'une chaudière couplée à une turbine et un alternateur. Il n'y aura donc pas de charbon à récupérer, la matière première (tourteau) étant convertie complètement par le feu. Le rendement de génération électrique par cette voie est de 20%, nettement supérieur à celui de la voie de gazéification en Scénario 3. Ainsi, la puissance délivrée par cette centrale serait de 1,45 MW.

3.2.4.2 Coût de revient et prix de vente

Le CNSL serait produit et vendu dans les mêmes conditions que les Scénarios précédemment décrits. Au niveau de la production électrique, la fourchette de coûts du kWh électrique serait la même que dans le Scénario 3.

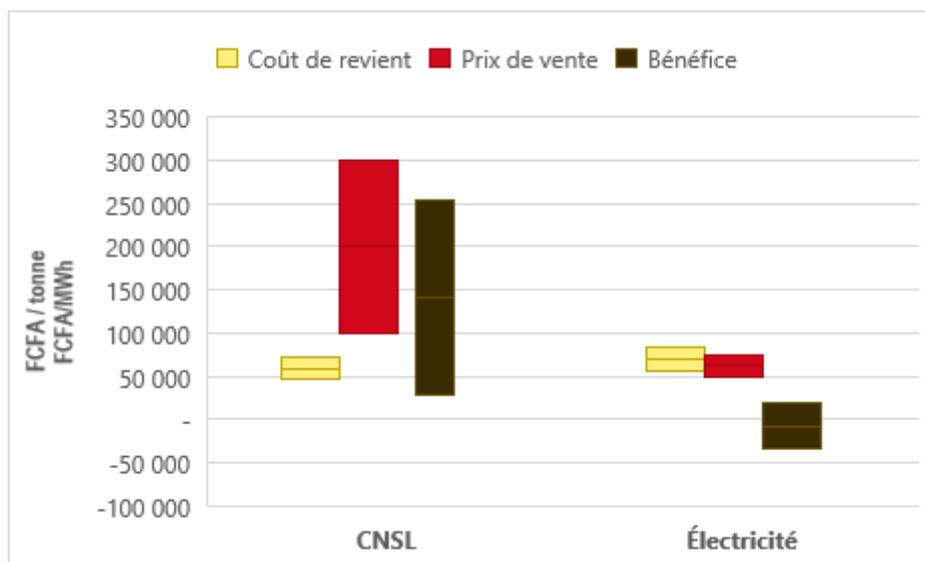


Figure 28. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (tonne) du CNSL et de l'électricité obtenus en Scénario 4.

Il en ressort qu'avec cette voie de valorisation, le bilan de l'ensemble est plus positif que dans le Scénario précédent.

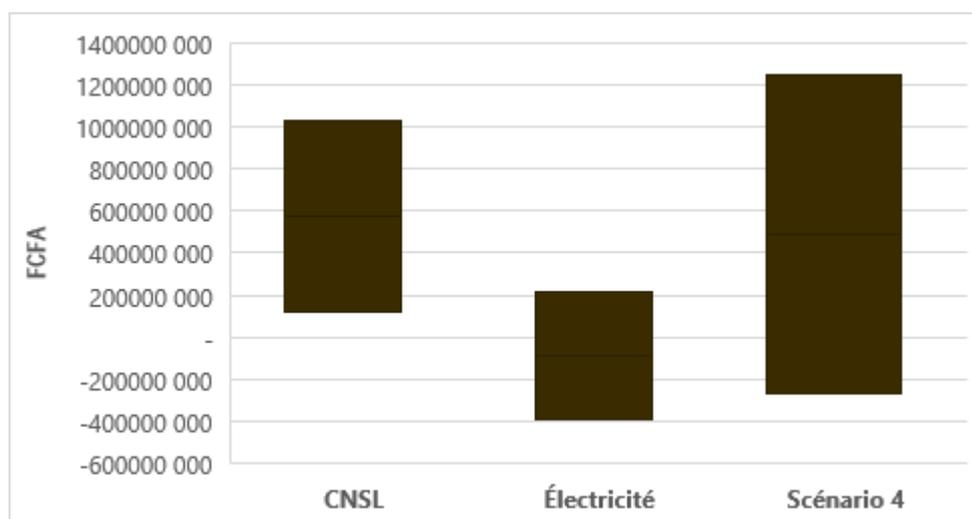


Figure 29. Bénéfices de la vente de CNSL, et d'électricité, et bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 4.

3.2.5 Electricité + charbon

3.2.5.1 Description

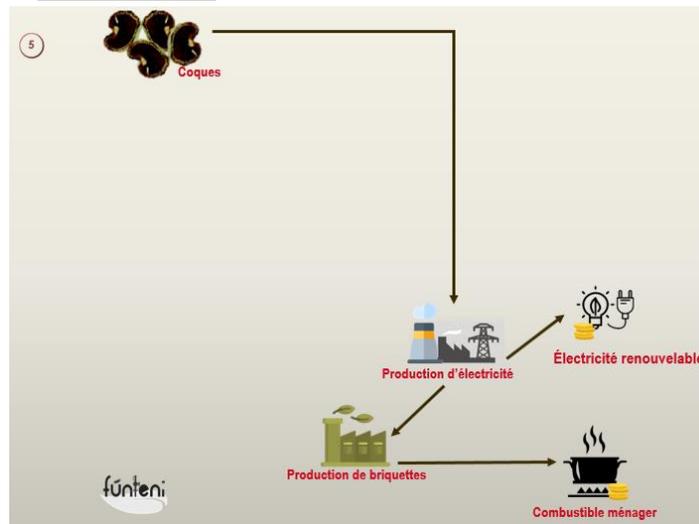


Figure 30 : Voies de valorisation des coques pour le Scénario 5

Suivant l'hypothèse où la production d'électricité serait à maximiser (dans le cas par exemple d'un contexte pays favorable à la production d'électricité en tant que petit producteur indépendant), il pourrait être considéré de générer l'électricité directement à partir des coques. En effet, le CNSL suppose une partie non négligeable du pouvoir calorifique de la coque. Dans ce sens, séparer le CNSL diminue le gisement de matière première à valoriser en électricité. Nous avons ici considéré donc une unité où les coques sont gazéifiées afin de produire, parallèlement, de l'électricité (1,6 MW) et du charbon (environ 2 800 tonnes). Le charbon serait, à l'image des autres Scénarios, compacté en briquettes.

À différence des Scénarii précédents, l'unité de référence ne prélèverait pas la totalité des coques des industries de transformation d'anacarde, car à défaut de tourteau, ces dernières ont toujours besoin d'une partie de leurs coques pour leurs besoins. Il a été considéré que 10% des coques sont consommées par les industriels. De ce fait, seulement 90% des coques produites par les transformateurs seraient disponibles pour l'unité de référence.

3.2.5.2 Coût de revient et prix de vente

La qualité du charbon de coques a été supposée égale à celle du charbon venant des tourteaux de coques³². Les prix de vente de l'électricité sont équivalents de ceux présentés en Scénario 3. En revanche, la taille de l'unité de production, plus grande, permet des économies d'échelle très intéressantes qui tirent les coûts de production vers le bas. Ainsi, l'activité de l'unité de référence se situerait très probablement dans une fenêtre rentable.

Dans ce scénario, le volume plus grand de charbon produit accompagné des coûts de revient plus bas, renforce la solidité du modèle de vente des briquettes, à différence de ce qui arrivait dans les Scénarii ci-avant.

³² Voir note 31, page 35.

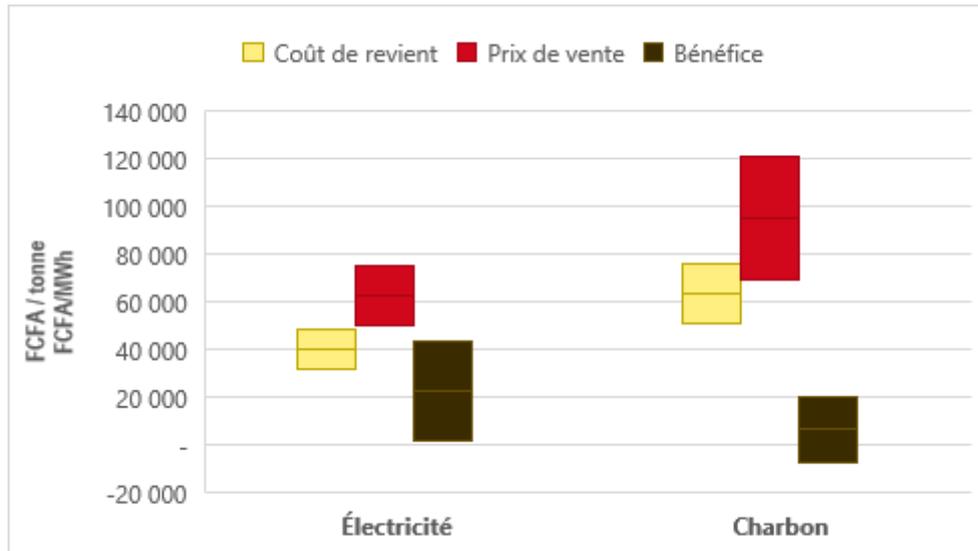


Figure 31. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (tonne) du charbon et de l'électricité (kWh) produites en Scénario 5.

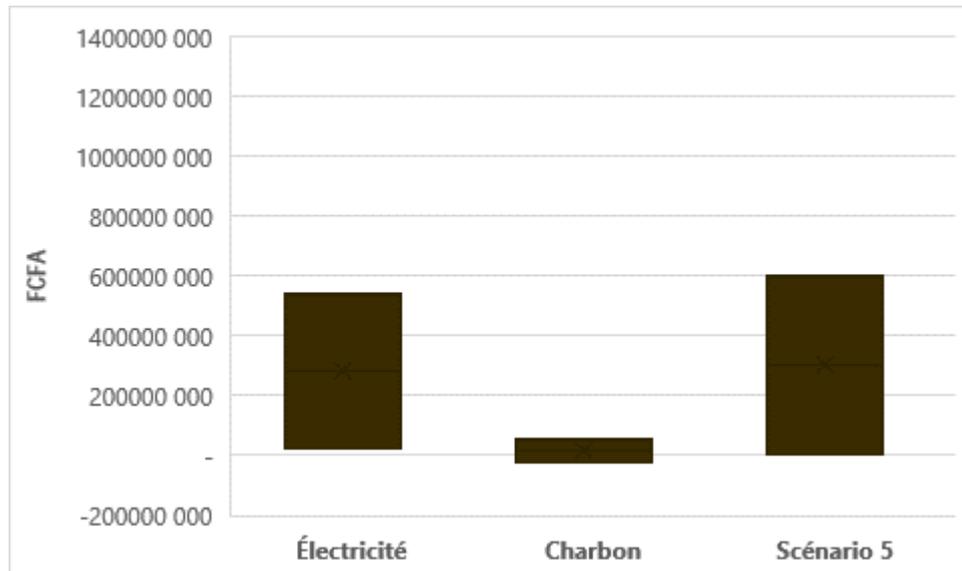


Figure 32. Bénéfices de la vente d'électricité et de charbon, et bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 5.

3.2.6 Electricité

3.2.6.1 Description

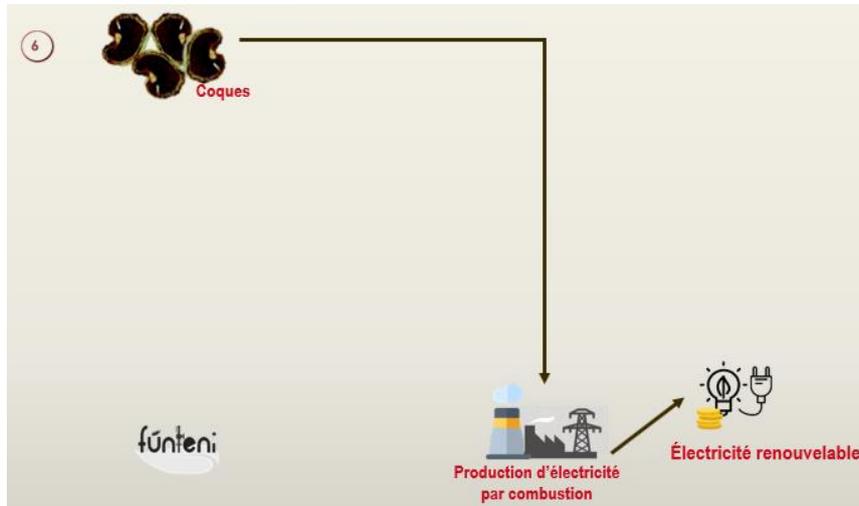


Figure 33 : Voies de valorisation des coques pour le Scénario 6

Le Scénario 6 fait le pari sur la production d'électricité à partir des coques. En effet, si toutes les coques récupérées par l'unité de référence³³ sont valorisées par combustion, il serait possible d'alimenter un groupe turboalternateur de 2,6 MW.

3.2.6.2 Coût de revient et prix de vente

Le coût de revient du kWh serait entre 39 et 58 FCFA, ce qui est le prix le plus compétitif que l'on puisse obtenir avec les autres Scénarii. Ainsi, le prix de revente de l'électricité a de fortes chances d'être plus élevé que le coût de production, ce qui rendrait l'activité rentable. Les bénéfices de la vente d'électricité pourraient atteindre les 750 000 000 FCFA annuels.

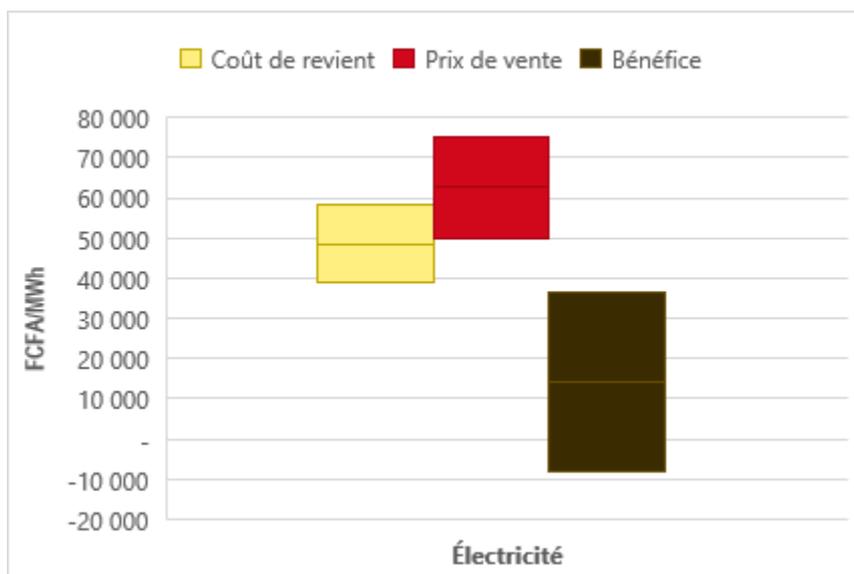


Figure 34. Coûts de revient, prix de vente et bénéfices par unité de vente (MWh) de l'électricité produites en Scénario 6.

³³ 90% du total produit, comme indiqué en 3.2.5.1 ci-dessus.

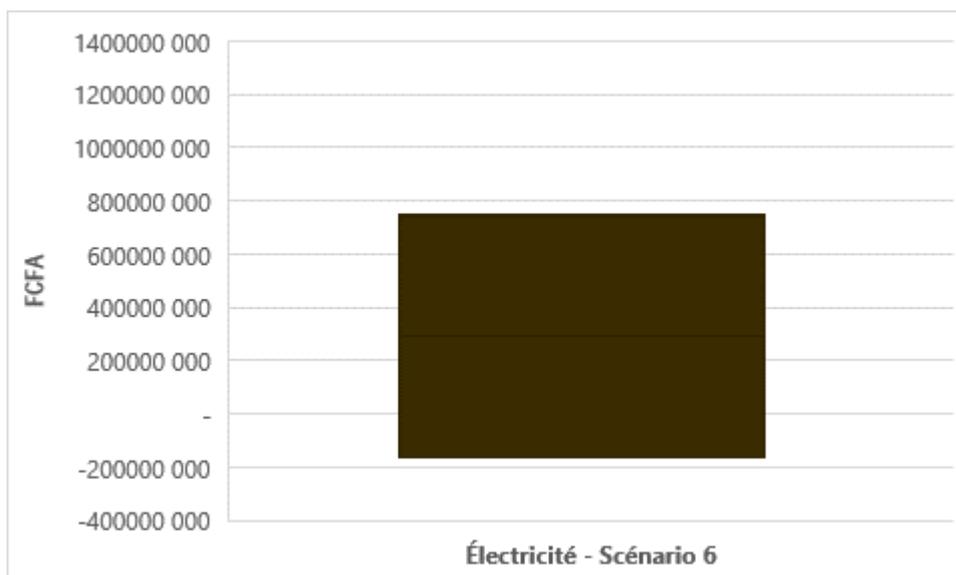


Figure 35. Bénéfices de la vente d'électricité - bénéfice annuel total estimé pour le Scénario 6

4 PROPOSITION DE VOIE VALORISATION

4.1 Justification du choix : scénario 1 : extraction mécanique

Il est bon de rappeler que les fourchettes de bénéfices ci-dessous sont simplifiées car ne prenant en compte que les coûts de vente et les coûts de production. Afin de réaliser une analyse plus complète, d'autres éléments seront ajoutés dans la phase suivante, avec tous les coûts effectifs d'une telle unité, qui tirera forcément cette fourchette de bénéfice vers le bas.

	Méthode	Produits
1	Extraction mécanique	CNSL, tourteau
2	Extraction mécanique, carbonisation et briquetage	CNSL, briquettes de charbon
3	Extraction mécanique, gazéification et briquetage	CNSL, électricité, briquettes de charbon
4	Extraction mécanique, combustion	CNSL, électricité
5	Gazéification et briquetage	Électricité, briquettes de charbon
6	Combustion	Électricité

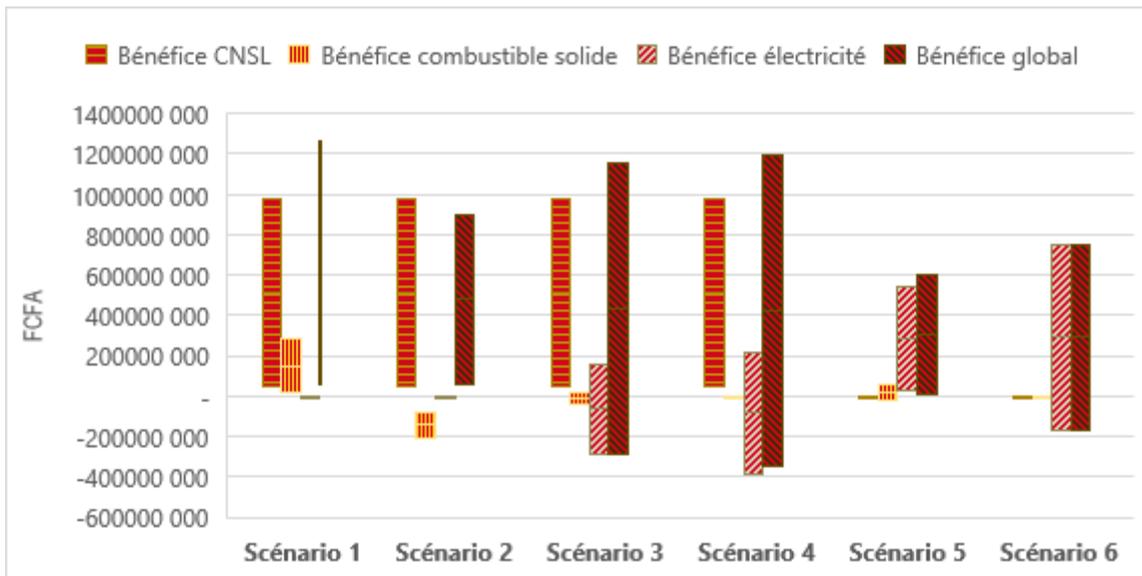


Figure 36 : Détail par type de produit commercialisé des fourchettes de bénéfice annuel pour chacune des voies de valorisation

En regardant pour chaque scénario quels sont les types de produit qui ont un impact positif ou négatif sur le bénéfice global, l'on se rend compte que le **CNSL** est de loin le plus influant, comme vu dans les scénarios 1 à 4. La fourchette de bénéfice liée au CNSL est assez étendue car des prix de vente de 100 à 300 FCFA/l ont été considérés, afin de refléter les prix de ventes des différents combustibles qu'ils pourraient substituer, dans notre cas l'huile de vidange usagé et le HFO180. Mais l'on remarque que dans n'importe lequel de ces cas le CNSL est toujours bénéficiaire et il semble peu probable qu'il sera vendu moins cher vu que les prix à l'international sont aussi au-dessus de cela (107 à 140 FCFA EXW).

Dans le scénario 1, le **tourteau** quant à lui est aussi bénéficiaire mais ses marges sont clairement plus réduites, comme son prix de vente qui est situé entre 10 et 30 FCFA/kg, bien que les volumes soient plus importants.

Par contre la mise sous forme de **charbon** et de **brique**, comme dans les scénarios 2, 3 et 5 a soit un impact presque nul soit un impact négatif. Cette solution n'a donc pas un grand intérêt et peut être évitée si possible.

Enfin on voit que **l'électricité**, si produite avec du tourteau, n'a pas un grand intérêt – tout du moins à l'échelle de transformation considérée (équivalent de 20 700 tonnes de coques/an). Tout d'abord le tourteau est moins énergétique que les coques, mais en plus il faut rendre une partie de ce tourteau aux fournisseurs de coque pour qu'ils alimentent leurs chaudières. Cela fait que la puissance électrique générée est assez faible, donc onéreuse et peu rentable. En revanche la génération d'électricité à base de coques comme dans les scénarios 5 et 6 est bien plus intéressante, que ce soit via la gazéification ou la combustion ; ceci est grâce au fait que, la coque étant plus énergétique que le tourteau, il est possible de générer des puissances plus élevées. L'on constate que, dans le domaine de la production électrique, l'échelle de production joue un rôle déterminant.

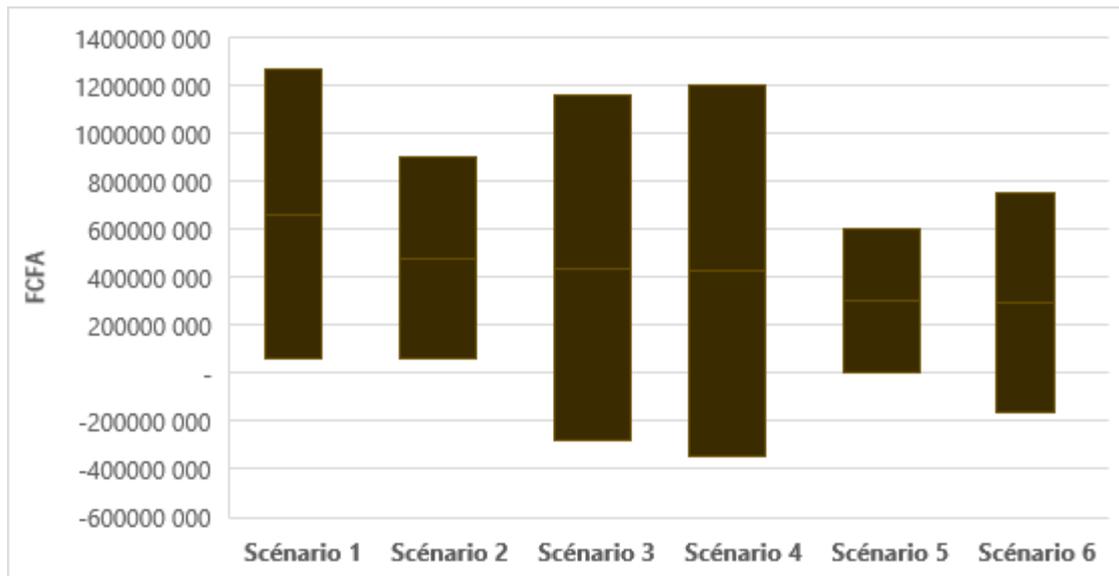


Figure 37 : Bilan des fourchettes de bénéfice annuel pour chacune des scénarios de valorisation

D'après la figure des bénéfices globaux par scénario ci-dessus on peut se rendre compte que dès maintenant, seul deux scénarios n'ont aucune chance de passer dans des bénéfices négatifs, les scénarios 1 et 2.

Les scénarios 3 et 4 ont des incertitudes beaucoup plus grandes, ce qui fait que leurs bénéfices peuvent autant être très positifs que négatifs. Cette incertitude vient du fait premièrement que les méthodes de valorisation mises en œuvre sont assez coûteuses et deuxièmement que les prix des produits de la valorisation peuvent avoir des variations assez grandes, notamment au niveau du prix de l'électricité.

Les scénarios 5 et 6 sont quant à eux déjà à la limite de la rentabilité si l'on considère la partie pessimiste de la fourchette et il y a quelques chances que ce type de scénario entraîne des pertes économiques importantes pour une unité du type Scénario 6. Il convient de souligner que l'investissement à consentir pour les scénarios 5 et 6 se chiffrerait à plusieurs millions d'euros, étant sensiblement plus cher l'investissement de la centrale à combustion (Scénario 6) que celui de la centrale à gazéification (5). Ces coûts sont au moins un ordre de grandeur plus élevés que ceux du Scénario 1. Les retours sur investissement seront donc d'autant plus lents pour ces solutions.

Le Scénario 1 considérant l'extraction mécanique du CNSL et du tourteau déshuilé de la coque est celui qui a les possibilités de bénéfices les plus importantes, tout en ayant des prix d'investissement initiaux les plus faibles car la technologie considérée est suffisamment simple.

De plus, le fait de produire du CNSL et du tourteau de coque laisse une grande possibilité de manœuvre sur les marchés que l'on souhaite toucher à l'avenir. En effet le CNSL, tout comme le tourteau, peut être encore une fois transformé afin de pouvoir trouver de nouveaux débouchés, au-delà des ventes comme combustibles qui semblent déjà assez porteuses. Le CNSL pourrait par exemple être transformé en cardanol afin de toucher des marchés internationaux, ou alors revendu en matière première pour les industries de fabrication de plastiques ou de peintures, si celles-ci se développent dans la région et se mettaient à consommer du CNSL – comme la SAP Olympic et la SAPEC. Le tourteau quant à lui pourrait fortement se développer comme engrais si des recherches associées et appliquées voyaient le jour sur les cultures locales. Ces opportunités laissent donc des possibilités de manœuvre assez intéressantes pour tout industriel qui, opérant l'unité de référence de valorisation des coques, n'aura pas peur de se

lancer à la recherche de nouveaux marchés, lui permettant de diversifier ses risques tout en augmentant sa rentabilité.

Finalement, compte tenu du potentiel de développement d'autres produits, des marges bénéficiaires plus élevées et des incertitudes sur les marchés considérés pour les autres Scénarii, il semble assez sage de choisir la voie de valorisation proposée en Scénario 1.

Sensibilité des solutions à la disponibilité et prix des coques

Le prix des coques matière première rendues à l'unité de référence a été considéré nul ici. Cela signifie que les coques sont convoyées depuis les usines jusqu'à l'unité de référence, l'unité exigeant de payer à prix coûtant les services d'enlèvement et transport à la sortie des usines de transformation. Ceci équivaut à considérer que l'unité de référence agit comme un gestionnaire de déchets pour les unités, rendant un service à ces dernières. Ce modèle présente l'avantage de préserver une rentabilité intéressante pour le process des coques. Autrement dit, si le cas est le contraire, et que la fourniture des coques engendre des coûts nets pour l'unité de référence, sa viabilité économique peut être critiquement affectée. Malgré ceci, chaque voie de valorisation n'est pas impactée pareillement. Seulement les voies dégageant plus de bénéfices pourront se permettre l'éventualité de payer pour se fournir en coques.

D'autre côté, les coûts évités en matière de gestion de déchets pour les unités de transformation n'ont pas été pris en compte dans l'analyse coûts-bénéfices (ce facteur reste pratiquement égal quoi qu'en soit la solution retenue). En effet, ces économies sont générées hors du projet et cela reste impossible à associer dans le bilan financier de l'unité de référence. Cependant, la gestion des coques par un tiers à moindre prix reste un impact positif pour les unités de transformation, tant du point de vue financier que de la communication et leur démarche Responsabilité sociétale corporative.

Dans la prochaine partie de l'étude, des estimations seront effectuées sur la rentabilité de l'unité si celle-ci s'occupait de la logistique des coques et même si celle-ci payait les coques à un certain prix. A titre d'exemple rapide, une unité transformant 10 000 MT/an de RCN pourrait tirer une économie d'environ 50 millions de FCFA/an si les coques étaient retirées gratuitement chez elle et de plus de 100 millions de FCFA si les coques étaient payées 10 FCFA/kg.

4.2 Premiers éléments de dimensionnement d' une unité d' extraction mécanique

Le principe de l'extrusion mécanique étant relativement simple, il est possible d'installer plusieurs mêmes éléments de la ligne de transformation en parallèle afin d'avoir des capacités évolutives et modulables. L'élément central de l'extrusion mécanique est la presse, et celles-ci peut avoir des capacités qui vont de quelques dizaines de kilos à plusieurs dizaines de tonnes à l'heure. Les bons principes de transformation font que l'on favorise en général l'installation de plusieurs presses de plus petite capacité en parallèle plutôt qu'une seule de grande capacité. Ce type d'installation permettra déjà de faciliter les interventions d'entretien et de maintenance et de toujours faire en sorte que l'unité continue de fonctionner lorsqu'une presse est à l'arrêt, mais aussi de faire évoluer facilement les capacités de l'unité en ajoutant une presse de plus si les quantités de coque deviennent plus importantes à traiter.

Dans ce genre d'unité industrielle composée principalement de machine et avec assez peu de travail manuel, le travail est réparti sur 24h et l'on peut considérer 20h de travail effectif par jour en comptant les arrêts pour entretien et maintenance des équipements.

Presses :

Dans le cas d'une unité de transformation de 60 MT/j de coque, nous privilégierons l'installation de 3 presses de 1200 à 1500 kg/h ce qui nous donne des volumes de transformation théoriques de transformation de 72 à 90 MT/j de coque et qui prendra donc déjà en compte une augmentation possible du volume de coque.

Réacteur :

Le deuxième élément le plus important est le réacteur où se passe la réaction de décarboxylation qui dure 4h à 150°C. Cet équipement pourra aussi s'adapter aux variations de volume et pourra aussi facilement être ajouté car sa technologie est assez simple et peu coûteuse. Ce réacteur fonctionne par batch et non en continu et pourra en premier lieu avoir une capacité de 3 m³. Cela signifie qu'il effectuera 4 à 5 cycles de décarboxylation par jour.

Convoyage et cuves intermédiaires :

Le reste de la ligne est principalement composé de vis et d'élévateurs de convoyage, de bacs de mélange, stockage et décantation et de pompes comme on peut le voir ci-dessous. Une fois de plus ces éléments sont assez simples et peuvent facilement suivre des variations de volume dans le futur.

Chaudière :

La capacité de la chaudière n'aura pas besoin d'excéder 2MT/h de vapeur pour une telle unité et sera alimentée avec du tourteau de coque d'anacarde. Elle pourra facilement produire plus d'énergie thermique si le besoin s'en fait ressentir par exemple dans le cas d'une augmentation de la production.

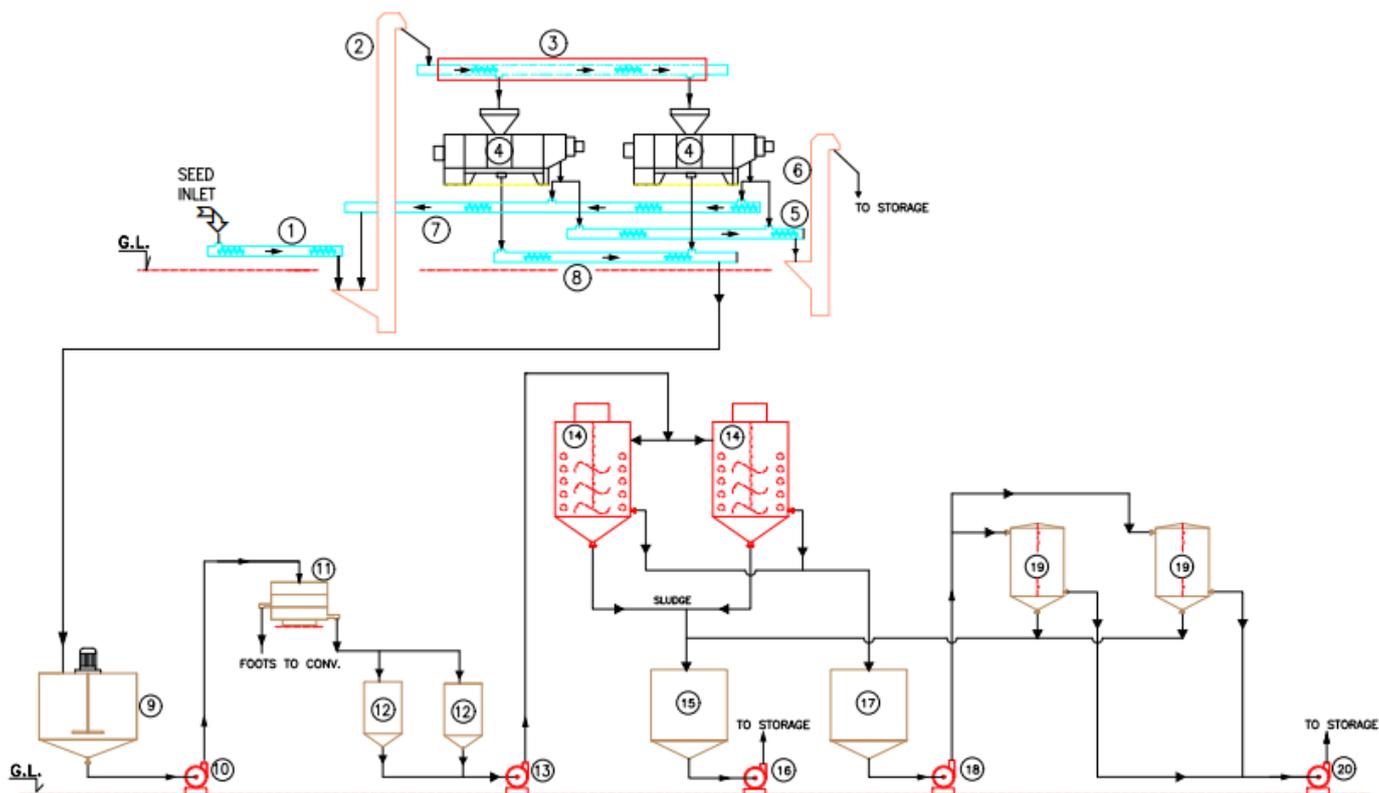


Figure 38 : Exemple de process complet de production de CNSL technique par extrusion mécanique³⁴

Stockage coques :

L'unité étant continuellement alimentée en coque, le stockage de celles-ci dans l'unité ne devrait pas être trop importantes et ne devraient pas nécessiter de magasin de stockage matière première de grande capacité. En priorité les coques seront stockées en vrac dans 3 silos de 100 m³ chacun, installables en extérieur. Au besoin, le surplus de coques pourra être conservé pendant un moment en magasin.

Stockage CNSL :

Les cuves de stockage finales de CNSL devront être de capacité assez importante afin d'offrir une certaine flexibilité par rapport à la demande sur le marché et nous envisagerions d'installer 3 cuves de 110 m³ chacune, installables en extérieur.

Stockage tourteau :

Enfin le tourteau devrait dans l'idéal être évacué directement vers les consommateurs finaux, de préférence en vrac pour limiter les coûts de logistique. En cas de surplus et au besoin, ce tourteau pourra aussi être conservé pendant un moment en magasin.

Bâtiments :

Les bâtiments comporteront deux zones bien distinctes, la zone de stockage coque/tourteau et la zone de production. On peut envisager dans un premier temps des surfaces de 900 m² pour chacune de ces zones. Le coque et ses sous-produits n'étant pas un produit alimentaire et le risque d'infestation étant

³⁴ schéma fournit par la société Kumar Metal Industries

presque nul, des solutions de constructions à coût moindre pourront être envisagées, comme des hangars améliorés.

Un laboratoire devra être mis en place afin de pouvoir contrôler de manière régulière les caractéristiques des différents produits obtenus. Les analyses étant assez simple il n'y a pas besoin de prévoir un bâtiment de plus de 50m².

Enfin il faudra prévoir des abris ponctuels afin d'être couvert de la pluie, notamment pour le chargement et le déchargement des matières premières et des produits finis et aussi pour la chaudière.

Consommation électrique :

L'extrusion mécanique est assez gourmande en électricité. Pour une unité d'une capacité de 72 à 90 MT/j de coque, il faut considérer une puissance électrique installée de 200 à 250 kW, principalement pour l'alimentation des presses (40 kW chacune). En considérant que l'usine tourne 20h/24, on peut estimer la consommation journalière à 5000 kWh, soit 70 kWh par tonne de coque traitée.

Besoin en main d'œuvre :

Cette unité fonctionnerait en quarts, donc il faut compter 4 quarts pour que celle-ci ne s'arrête jamais. Dans un premier et de façon estimative nous pouvons considérer les besoins en main d'œuvre à 15 personnes par quart, donc 60 personnes au total, seulement pour faire tourner le côté production. La plupart de ces personnes seront des opérateurs avec des niveaux de formation basique sauf les chefs de quart qui pourront être diplômés.

Cela n'est que des premiers éléments de dimensionnement mais tous seront détaillés dans la suite de l'étude si cette voie de valorisation est effectivement confirmée.

ANNEXE 1 : LISTE DES STRUCTURES RENCONTRÉES LORS DE L'ÉTUDE

Type de structure	Structure	Lieu	Personnes ressource
Structures étatiques d'accompagnement	DRICA : Direction Régionale de L'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat	Bobo	M Zei : Chef de service Commerce à la DRCIA-HBS M Ili Raymond : chef de service industrie à la DRCIA-HBS
	DREEVCC : Direction régionale de l'environnement de l'économie verte et du changement climatique	Bobo	M Kande Mamoudou Mme Zongo : chef de service régional
	DGER : Direction Générale des Énergies Renouvelables	Ouagadougou	M Ouedraogo Mamadou : Directeur biomasse énergie et énergies alternatives
	ARD : Agence Régionale de Développement des Hauts Bassins	Bobo	M Ouattara Dramane : directeur Hauts-Bassins
	FIE : Fond d'investissement pour l'environnement	Bobo	M Kiny Nestor : directeur régional de l'Ouest
	ANEREE : Agence Nationale des Énergies Renouvelables et de l'Efficacité Énergétique	Ouagadougou	M Kabré : chef de service développement et programme
	ABNORM : Agence Burkinabé de Normalisation	Bobo	M Kinda Abdou Rahim, Directeur Régional Hauts Bassins
	ARSE : Agence de Régulation du Secteur de l'Energie	Ouagadougou	M Ouedraogo Ahmed
Producteurs de coques	ANTA : Association Nationale des Transformateurs d'Anacarde	Bobo	M Porgo Ousséni : président M Ouattara Edmond : secrétaire permanent
	GEBANA	Bobo	M Scotto Claudio : directeur général
	ANATRANS	Bobo	M Voortman Harm : directeur général
	SOTRADA	Bobo	M Naïm Mohamed : gérant
	COOPAKE	Orodara	M Konate : coordinateur
Potentiels clients des sous-produits	SONABEL, direction régionale des Hauts Bassins	Bobo	M Boni Yarohoubalé : directeur régional de l'Ouest
	SONABEL, site de production Bobo 2	Bobo	M Tuina : Responsable Achat combustibles

	SONABEL, département DEPI	Ouagadougou	M Ouedraogo Roger : Chef de Service Etudes Electriques
	SN CITEC	Bobo	Konate Abdoulaye : Directeur Industriel
	SAP Olympic	Bobo	Palé Bidias : directeur Qualité Globale et Achats
	SAPEC Burkina	Ouagadougou	Taki Guillaume : Directeur Technique
	Sya Kini	Bobo	Anouga Rigobert : directeur
	Sonabhy	Bobo	M Sedego Jean Claude : Directeur du dépôt Bobo M Simpore Michel : Chef Service Laboratoire
	SN SOSUCO	Beregadougou	M Kone Mouctar : directeur M Bassolet Maixent : responsable Production M Yanogo Raphaël : responsable Energie
	Huilerie Lodoum	Bobo	Alain Lodoun : directeur
	Vendeur d'huile de vidange	Bobo	M Issake : commerçant indépendant
	Fonderie SOAF	Bobo	Mamadi Camara : CEO

ANNEXE 2 : CAPACITÉ DE TRANSFORMATION D'ANACARDE INSTALLÉE ET PRÉVISIONS DE TRANSFORMATION EN 2021. ÉTUDE RÉALISÉE PAR NITIDAE

Établissement	Localité	Capacité maximale (tonnes RCN/an)	Volume transformé prévu en 2021 (tonnes RCN/an)
SOTRIA-B	Banfora	5000	1500
Transfo artisanale Banfora	Banfora		85
Unité transformation anacarde	Banfora		85
SOCABE / WOUOL	Bérégadougou	2000	500
Transfo artisanale Bérégadougou	Bérégadougou		85
Anatrans	Bobo-Dioulasso	10000	10000
Gebana Afrique	Bobo-Dioulasso	1500	1500
GIE anacarde - YANTA	Bobo-Dioulasso	500	200
GTransCa	Bobo-Dioulasso	300	100
SOTRADA	Bobo-Dioulasso	4000	1000
UFTT	Bobo-Dioulasso		100
M Sankara	Bobo-Dioulasso	4000	1500
Groupe Waka	Bobo-Dioulasso		0
SOPRIAL	Bobo-Dioulasso		85
Anasam	Bobo-Dioulasso		50
UTRANSCAB	Bobo-Dioulasso		100
Balimayakadi	Diéri		85
Faso Djigui	Lanfiéra		85
COOPAKE	Orodara	500	500
Groupement des transformatrices d'Orodara	Orodara		85
DIWAN	Orodara	500	100
UTAK	Orodara		85
USDF	Orodara	1250	
UPROMAF/Orodara	Orodara	680	
Total		30 230	17 830

ANNEXE 3 : CAPACITÉ DE TRANSFORMATION D' ANAGARDE INSTALLÉE EN 2021. ETUDE RÉALISÉE PAR ANTA-BF

Identité de l'UT	Capacité de transformation (en T)
ANATRANS	10 000
SOTRIAB	3 000
GEBANA	2 500
SOPRIAL	1 500
COOPAKE	500
Union Yanta	350
UTAK	200
WOUOL	1 200
Groupe Waka	900
UTRANSCAB	900
Transformatrice artisanale de Orodara (Sinikénèya)	67
Transformatrice artisanale de DIERI(balimayakadi)	300
Transformatrice artisanale de de Lanfiéra (FASO DJIGUI)	400
Teinsya TAGA	300
GTRANSCA	500
DIWAL	1 000
USDF	500
UPROMAF	1 000
EBDF	2 000
ANASAM	600
SOTRADA	???

*Cela donne un total de 27 717 tonnes de capacité de transformation et si on ajoute les 4000 MT de la SOTRADA : 31 717 MT

ANNEXE 4 : RÉSINES DE CNSL POUR REVÊTEMENT DE SURFACE

Résines de CNSL pour revêtements de surface

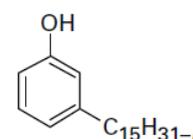
BROCHURE PRODUIT

Description



Les résines à base de CNSL sont synthétisées à partir du liquide de coques d'anacarde (CNSL pour son acronyme anglais). Le CNSL est une matière abondante en Afrique de l'Ouest, à l'instar de l'industrie de transformation de l'anacarde de plus en plus présente dans la sous-région. Après extraction et raffinage, l'on peut obtenir trois types de produits :

- CNSL-t (grade technique), avec un contenu de 70% cardanol
- Cardanol pur
- Résidol (mélange de molécules lourdes et dimères)



Structure du

Ces trois produits donnent lieu à différents types de résines. Ainsi, les résines présentées dans cette brochure contiennent entre 40 et 70% de composants d'origine naturelle, venant du CNSL.

En tant que polymère phénolique, les résines de CNSL produisent des revêtements très résistants. Les peintures et vernis à base de CNSL créent des couches sur les surfaces les protégeant contre la corrosion et les rayures, et étant en même temps élastiques, très brillantes et montrant une adhésivité supérieure à la surface. Tandis que les résines à base de CNSL-t et de résidol sont sombres, les revêtements à base de cardanol sont transparents et compatibles avec des colorants. Le CNSL est également un composé de choix pour élaborer des résines époxy biosourcées.

En plus de ses excellentes propriétés, il présente les avantages du consommateur local : facilement disponible, promoteur de l'industrie et du savoir-faire local, et respectueux de l'environnement.

La comparaison d'une sélection de résines de CNSL avec un vernis classique (alkyde) est ci-dessous :

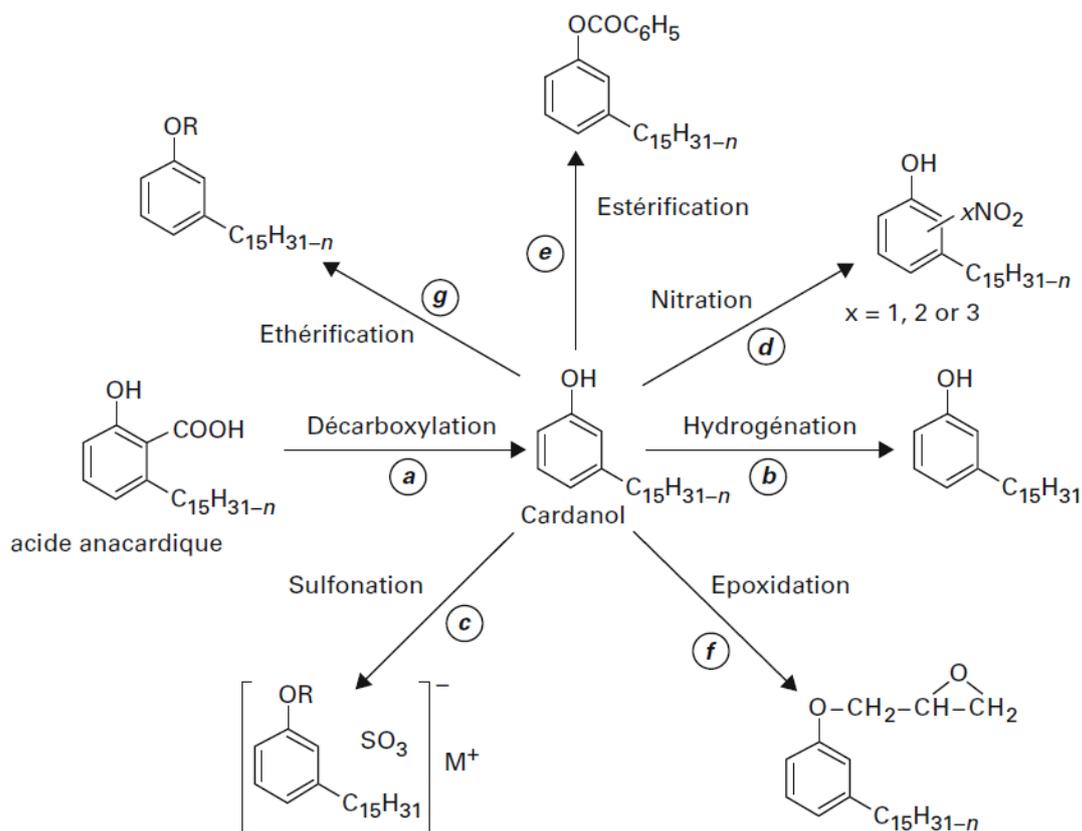
	A	B	C	D	E	Vernis alkyde 66%
Composition	Vernis residol	Résine CNSL	Résine cardanol styrène	Résine CNSL styrène	Cardanol + huile ricin	Alkyde longue teneur d'huile
Densité (avant séchage)	0.98 ± .02	0.96 ± .02	0.96 ± .02	0.96 ± .02	0.93 ± .04	n.d.
Viscosité 45% solides (Ford cup) [s]	600 - 800	300 - 450	225 - 350	205 - 350	250 - 350	n.d.
Temps de séchage superficiel (air, 30°C) [h]	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Temps de séchage dur (air, 30°C) [h]	6	3	2	2.5	3.5	5
Résistance à la rayure [g]	800	1000	1200	1100	900	600
Élasticité	n.d.	Bonne	Bonne		Supérieure	Supérieure
Resistance chimiques (acides, alcalins)	n.d.	Bonne	Excellente	Excellente	Bonne	Moyenne

Applications

Les domaines d'emploi ne sont limités que par l'inventivité du chimiste. Le tableau suivant présente une indication des possibles applications.

Application	Suggéré	Préférée
Amorce d'oxyde rouge	B, E	B
Amorce Zinc Chrome	B, C, D, E	D, E
Enamels de séchage naturel/cuisson:		
Couleurs sombre	B, D	D
Couleur claire	C, E	C, E
Peinture anti-corrosion	B, C	C
Peinture antisalissure	D	D
Laques pour cannettes alimentaires	C, E	C
Vernis isolants	B, D, E	B
Finition pour le bois	C	C
Peinture pour aluminium	E	E

Les voies de synthèse à partir du cardanol sont nombreuses, comme le montre la figure ci-dessous.



Fúnteni Installations et Conseil travaille dans la promotion des produits basés sur le CNSL en Afrique de l'Ouest. Nous fournissons des conseils techniques en Revêtements de surface, Particules de friction et Résines liantes provenant du CNSL.