

Stage de fin d'études d'ingénieur en génie énergétique et environnement – Appui technique à l'équipe Agrovalor en Côte d'Ivoire

Rapport d'activités et conclusions

Mars – Août 2019

Arnaud Niesz







Remerciements

Je remercie tout particulièrement toute l'équipe Agrovalor à Bouaké pour l'accueil chaleureux et ces quelques mois passés à Bouaké, au cours desquels je me suis toujours senti très à l'aise. Merci à vous Emmanuella, Éléonore, Dorgeles, Michel, Soum (aka le grand VS). Allô allô.

Merci à Étienne et Julia pour le soutien et la confiance accordée, ç'a été un plaisir.

Merci aux dames de COFEMVIB, aux artisans soudeurs fabricants de four à pyrolyse de la région du Gbêkê, au personnel d'Africa Négoce, de Sobery, à tout un chacun qui a croisé ma route au courant de ces quelques mois passés « sur le terrain » et qui a contribué à faire de ce terrain un terrain d'échanges et de sourires.



Table des matières

Introduction.....	6
1_ Filière anacarde	7
1.1. Rappel des besoins des industriels.....	7
1.2. Africa Négoce : placer la chaudière à côté du four n'est pas une solution.....	7
1.2.1. Diagnostic.....	7
1.2.2. Ajout d'éléments de turbulence en sortie des gaz.....	8
1.2.3. Réduction des fuites.....	9
1.2.4. Conclusions.....	9
1.3. Sobery : de multiples problèmes de dimensionnement	10
1.3.1. Diagnostic.....	10
1.3.2. Travaux effectués	11
1.3.3. Performances du four modifié	12
1.4. Recommandations générales	13
1.5. Perspectives d'augmentation de puissance des fours.....	13
1.5.1. Augmentation des dimensions du four	13
1.5.2. Travail en ventilation forcée	13
1.5.3. Impact du type de chaudière – comparaison avec le cas de Gebana, à Bobo-Dioulasso	14
1.6. Problématique du fonctionnement continu	16
1.7. Perspectives : un nouveau départ pour l'installation de fours	17
2_ Filière karité	18
2.1. Fosses à décantation	18
2.1.1. La problématique des tourteaux liquides.....	18
2.1.2. Projets en cours à Korhogo.....	20
2.2. Torrificateurs améliorés.....	22
3_ Filière attiéké	24
3.1. Décantation des eaux résiduelles des groupements de productrices d'attiéké	24
3.1.1. Contexte et objectifs de l'expérience	24
3.1.2. Matériel utilisé	25
3.1.3. Protocole expérimental.....	26
3.1.4. Vitesse de décantation	29
3.1.5. Teneurs volumiques en amidon humide décanté des eaux de pressage.....	29



3.1.6.	Teneurs volumiques des eaux de fermentation	30
3.1.7.	Quantité de déchets liquides rejetés	30
3.1.8.	Teneur volumique en amidon humide moyen des eaux résiduelles des groupements d'attiéké 31	
3.1.9.	Teneur massique en amidon sec.....	32
3.2.	Perspectives de dimensionnement de fosses à décantation	32
3.3.	Perspectives d'utilisation de l'amidon.....	32
4_	Activités à poursuivre.....	34
4.1.	Filière anacarde.....	34
4.2.	Filière attiéké.....	34
4.3.	Filière karité.....	34
Bilan	35



Introduction

Le présent document a vocation à être la trace laissée à Nitidæ des quelques mois que j'ai eu l'opportunité de passer en son sein. Informel, n'étant pas un rapport de stage académique, il se veut « utile » et concis, et est plus rédigé dans l'idée de servir à la poursuite des activités Nitidæ et Agrovalor que d'être un catalogue des activités réalisées durant ce stage.

Marquant la fin de mes études en Génie énergétique et environnement à l'INSA de Lyon, ce stage a été un stage d'appui technique à l'équipe Agrovalor en Côte d'Ivoire, en intervenant principalement sur la filière anacarde, en particulier sur les deux fours H2CP défectueux installés à Bouaké. À son issue un des deux, le four d'Africa Négoce, ne fonctionne toujours pas, mais des travaux doivent être menés bientôt, et le four à présent fonctionnel de Sobery doit être le point de départ pour l'installation de prochains fours en Côte d'Ivoire et arriver au total de 8 fours prévu dans le projet.

D'autres activités ont été réalisées sur les filières attiéké et karité et sont également présentées dans ce rapport. La décantation de l'amidon des eaux résiduelles des groupements de productrices d'attiéké se présente notamment comme une solution de traitement et de valorisation intéressante, en complément de la biodigestion.

Plus de documents en lien avec les activités réalisées durant le stage sont à trouver dans le Drive Agrovalor : [Biblio Agrovalor > Activités Arnaud](#).



1_Filière anacarde

C'est sur cette filière que s'est concentrée l'essentiel de mon travail : solutionner les défaillances des deux premiers fours installés à Bouaké fin octobre 2018, à savoir les fours des usines d'Africa Négoce et de Sobery. Au début de mon stage en mars 2019, les deux fours ne fonctionnaient pas.

1.1. Rappel des besoins des industriels

La cuisson de noix est lancée entre 8 et 10 bars de pression selon les industriels. Elle ne doit pas descendre en-dessous de 2 bars pour garantir une bonne qualité, en général en combustion directe on maintient la pression à 3 bars minimum. La première montée de pression à 8 bars avec le four H2CP prend généralement de l'ordre de 1h ; plus tard, entre chaque cuisson, elle doit être plus rapide, de l'ordre de 15 à 30 min, juste le temps pour les manipulateurs de décharger et de charger à nouveau des autoclaves (cuves de 320 kg en général dans lesquelles sont cuites les noix). Un four H2CP fonctionnant correctement respecte ces délais.

Le séchage est moins contraignant : après une première phase à des pressions entre 5 et 7 bars, qui dure de l'ordre de 1h de temps, jusqu'à atteindre une température suffisante, la pression est ensuite abaissée à des valeurs entre 1 et 3 bars, pour ne pas risquer griller les coques.

Ce sont les performances en cuisson qui déterminent les performances d'un four H2CP.

1.2. Africa Négoce : placer la chaudière à côté du four n'est pas une solution

1.2.1. Diagnostic

À Africa Négoce la chaudière a été placée à côté et non au-dessus du four à pyrolyse, par manque d'espace sous la toiture. Une conduite permet d'acheminer les gaz depuis le four jusque dans le foyer de la chaudière tel qu'on peut le voir sur la figure 1. Pour pousser les gaz dans cette conduite un souffleur est nécessaire. Lors des premiers tests en mars 2019, le four est clairement défaillant :

1. Allumage de 1h30 à 2h : on pointe à un chargement légèrement décentré des coques et à la ventilation qui refroidit les gaz à l'allumage en apportant trop d'air frais ; c'est lié également à l'absence de tirage à l'allumage : les fumées s'échappent intégralement par la porte et on ne parvient pas à avoir un feu homogène à l'intérieur du four avant de devoir fermer la porte à cause des fumées ;
2. Fuites de fumées abondantes : au niveau des trappes de la trémie et de la porte essentiellement : elles posent des problèmes sanitaires évidents aux personnes travaillant dans l'espace de la chaufferie et même au reste du personnel de l'usine lorsqu'elles se propagent. La quantité de fumées dépend du niveau de ventilation et donc de la puissance, mais elle est déjà trop importante même pour des niveaux de ventilation faibles ;
3. Instabilité de la flamme et extinctions répétées, notamment lorsqu'on cherche à augmenter la ventilation elle est « soufflée » par les gaz, qui sortent avec un débit trop important pour être brûlés ;
4. Pression insatisfaisante : chute de la pression à 2 bars lors de la cuisson d'une autoclave, à 0 lors de la cuisson de deux autoclaves en simultané ;
5. Charbon de mauvaise qualité : la carbonisation est incomplète, beaucoup de CNSL suinte encore. Ce charbon-là est inutilisable.



Figure 1 : Installation {four H2CP – chaudière} d’Africa Négoce.

1.2.2. Ajout d’éléments de turbulence en sortie des gaz

Des tubes croisés ont été ajoutés au niveau du col du brûleur : ils fonctionnent comme des éléments de turbulence et favorisent le mélange des gaz et de l’air. Deux fentes dans le sens de la longueur appliqués sur chacun des tubes permettent en outre un apport supplémentaire d’air comburant en amont de la sortie du brûleur. Deux configurations de 2×2 tubes ont été testées, l’une avec des tubes de 30 mm de diamètre intérieur et l’autre avec des tubes de 40 mm de diamètre intérieur, correspondant respectivement à des taux de blocage de 54 et 68 %. Quand le premier test avec les tubes de 30 a déjà montré une amélioration en termes de stabilité et de présence de gaz imbrûlés, le deuxième test avec les tubes de 40 était nettement plus concluant encore, avec une flamme stable et très peu de gaz imbrûlés.

Ces tests ont permis de mettre en évidence que les tubes croisés ont un impact significatif sur le mélange des gaz en sortie du brûleur. La plage [55 – 70 %] du taux de blocage à respecter doit être gardé à l’esprit lors de l’installation de futures installations mais l’effet de légères variations dans cette plage sera moins visible que dans le cas d’Africa Négoce, dont les problèmes de stabilisation et de gaz imbrûlés sont exacerbés par la configuration horizontale de l’installation. Pour 25 ou 30 cm de diamètre de col du brûleur, des tubes de 40 mm de diamètre conviennent. Plus de détails sur les tests et la bibliographie sur laquelle repose la conception des tubes se trouvent dans le Drive Agrovalor : Biblio Agrovalor > Activités Arnaud > Rapports intermédiaires > Brûleur.



1.2.3. Réduction des fuites

L'augmentation de la ventilation augmente les fuites de fumée à des seuils insoutenables. On pourrait chercher à colmater les fuites à l'aide de joints. À Bouaké, deux options de joints résistants aux hautes températures existent : (i) des joints automobiles du type « joint de culasse »¹ ; (ii) des joints « filasse » utilisés en plomberie (figure 2). Le joint automobile pour être efficace doit être serré à forte pression entre deux surfaces, on pourrait l'utiliser au niveau de la porte mais pas des trappes. Au niveau des trappes des joints « filasse » pourraient faire l'affaire en les positionnant à l'interstice entre la trappe et l'ouverture dans laquelle elle glisse en position fermée. On pourrait utiliser le CNSL comme colle pour les joints. Les tests de joints « filasse » au niveau des trappes seraient intéressants à mener pour l'ensemble des fours H2CP qui toujours présentent un peu de fuites de gaz à ce niveau ; la porte ne fuit pas en général. Ils sont disponibles dans les petites boutiques de quincailleries à Bouaké et coûtent 800 FCFA/pièce.



Figure 2 : Joint de type « culasse » (gauche) et « filasse » (droite).

1.2.4. Conclusions

Avec les tubes croisés, on a pu travailler avec des niveaux de ventilation plus élevés. Mais, même à la puissance maximale du souffleur, la puissance de la flamme est toujours insatisfaisante, avec les mêmes chutes de pression que constatées précédemment. La chaleur ressentie à proximité de la flamme et son intensité lumineuse n'ont jamais égalées celles des flammes en tirage naturel observées au Burkina Faso ou à la fin à Sobery. Quand bien même les fuites de fumée du four d'Africa Négoce seraient résolues, la puissance insatisfaisante de la flamme discrédite la configuration horizontale (il semblerait que la ventilation génère du gaz avec un débit trop élevé et une concentration trop faible) : la chaudière doit être placée au-dessus du four, comme c'est fait partout ailleurs. Cela suppose soit de rehausser le toit de la chaufferie, soit de creuser dans le sol, soit de déplacer l'installation ailleurs, dans la cour de l'usine par exemple. Creuser dans le sol paraît compliqué en ce que cela pourrait fragiliser les fondations de la chaufferie ; réhausser la toiture serait

¹ Un revendeur de pièces automobiles en vend dans le quartier Kôkô. Se renseigner auprès de Kouassi (le ferronnier) ou de moi plus d'indications.



lourd et coûteux, un premier devis a été estimé à 2 600 000 FCFA : la meilleure option serait peut-être de déplacer l'ensemble, en prévoyant la construction d'un petit hangar de hauteur suffisante.

Cependant, comme le présente la section suivante, la configuration horizontale n'explique pas tous les problèmes constatés à Africa Négoce : la conception même du four est problématique, comme le prouvent les défauts de fonctionnement du four de Sobery, identique à celui d'Africa Négoce mais placé quant à lui en configuration verticale, sous la chaudière.

1.3. Sobery : de multiples problèmes de dimensionnement

1.3.1. Diagnostic

Au cours des premiers tests effectués en juin, le four (figure 3) présente un certain nombre de problèmes :

- Allumage lent, de 1h20 à 2h de temps ;
- Chargement des coques non-centré, beaucoup plus qu'à Africa Négoce, les coques tombent très près de la porte : il faut beaucoup de temps avant d'avoir une couche suffisamment épaisse sur toute la surface du four ;
- Les trous de la grille sont trop grands : les coques tombent au travers et prennent feu sur le fond, ce qui génère des retours de flamme ;
- Il y a un mauvais tirage de la cheminée : il y a une réduction de la section à 2-3 m du haut de la chaudière, elle est très haute, et a été ramonée la dernière fois il y a un an ;
- La mauvaise circulation des gaz est générale (four et chaudière), notamment pendant l'allumage, créant beaucoup de fumées ;
- Il n'y a pas assez d'espace sous la chaudière pour travailler confortablement.



Figure 3 : Four H2CP de Sobery avant les travaux de modification.

L'allumage lent est le plus problématique. Une fois allumée, l'aspect de la flamme est correct, bien que le col du brûleur est trop étroit que pour remplir suffisamment le foyer de la chaudière. La chaleur ressentie à proximité de la flamme, son intensité lumineuse et sa taille sont cependant nettement moins élevés que ce qui sera observé après les travaux de modification (voir plus loin).



Certes le chargement non-centré des coques explique en partie les retards à l'allumage mais c'est également le diamètre important du four qui rend difficile l'obtention d'une couche épaisse et homogène de coques sur toute sa surface assez rapidement. C'est l'ensemble du dimensionnement qui pose souci à Sobery : le four est large, le col du brûleur est étroit, et la hauteur est inférieure au diamètre : cela mène à une mauvaise circulation des gaz, qui se retrouvent « emprisonnés » sous le dôme. La largeur du four complique également la sortie du charbon, surtout car les dimensions de la porte sont gardées inchangées ; enfin il est plus difficile d'avoir un feu réparti sur toute la surface de la grille à l'allumage, ce qui là encore peut expliquer en partie les retards à l'allumage.

1.3.2. Travaux effectués

Pendant 10 jours, le four de Sobery a été démonté puis remonté par les artisans ferronniers formés pendant l'installation des premiers fours en octobre 2018. Ils étaient au nombre de 7 mais il y a en réalité 6 membres actifs, et ils se sont regroupés au sein d'une association pour l'occasion, l'«association des artisans soudeurs fabricants de fours à pyrolyse de la région du Gbêkê ». Désormais c'est au nom de cette association qu'ils devraient répondre, ensemble, aux prochains appels d'offres de construction de fours H2CP.

Les travaux suivants ont été réalisés (figure 4) :

- Réduction du diamètre de la virole de 1,80 à 1,50 m ;
- Augmentation du diamètre du col du brûleur de 20 à 30 cm ;
- Réduction du diamètre des trous de la grille de 2 à 1,5 cm ;
- Déplacement de la trémie de 16 à 26 cm du bord du four ;
- Reconfiguration des entrées d'air : suppression des 2 trous à mi-hauteur (initialement prévus pour être ouverts lorsque le four est plein, ils ne sont pas utilisés dans la pratique et sont potentiellement dangereux, on pourrait se brûler) et ajout d'un trou au bas pour passer le nombre de trous au bas de la virole à 5 (un nombre impair est mieux pour la circulation des gaz) ;
- Légère rotation du four et découpage d'une portion de plateforme pour faciliter la manipulation au niveau de la porte et de la trémie.

Les travaux ont constitué une formation complémentaire des artisans ferronniers qui ont pu s'approprier la technologie : ils sont prêts maintenant à construire eux-mêmes les prochains fours à installer en Côte d'Ivoire.



Figure 4 : Travaux de modification du four de Sobery, juillet 2019.

1.3.3. Performances du four modifié

Les modifications opérées ont été un succès : sur trois jours de tests, la flamme a pu être allumée au bout de 10 minutes le premier jour, au bout de 5 minutes et en s'allumant toute seule avec la flamme de combustion à l'intérieur du four les 2 derniers jours ; la puissance de la flamme est beaucoup plus grande : blanche, intense, très chaude lorsqu'on s'en approche, elle remplit beaucoup mieux le foyer de la chaudière. Par moments elle est tellement puissante qu'elle sort du foyer de la chaudière par la porte.

Les deuxième et troisième jours de tests ont été faits avec cuisson de noix. Le deuxième jour, 80 sacs de 80 kg noix ont pu être cuites, soit 6,4 t ; le troisième jour on a pu cuire 105 sacs, soit 8,4 t ; sur les deux jours, la pression est rarement descendue sous 3 bars, 2 bars au minimum, et le temps de montée en pression entre 2 cycles de cuisson a été entre 15 et 30 minutes, ce qui est le temps que prennent les équipes pour recharger les autoclaves (cf. figure 6). L'usine a pu travailler au rythme où elle travaille habituellement en combustion directe des coques, les employés affirment même que la flamme du four est plus puissante : les objectifs de performances du four sont atteints. Sur les deux jours, respectivement 16 et 21 trémies de 41 kg de coques soit 656 et 861 kg de coques ont été chargées.



Seule ombre au tableau, des fumées noires apparaissent à la cheminée pendant une dizaine de minutes après le chargement d'une nouvelle trémie. Il s'agirait de baisser le col du brûleur afin d'augmenter le mélange à l'air comburant et réduire les fumées.

1.4. Recommandations générales

Pour éviter de reproduire les erreurs commises à Bouaké, il s'agit de considérer comme immuable certains paramètres des fours à pyrolyse pour de prochaines installations, à savoir :

- Placement du four sous la chaudière ;
- Diamètre de virole = hauteur de virole ($\leq 1,50$ m : fonctionnement garanti, $> 1,50$ m : besoin de R&D, cf. prochain paragraphe);
- Diamètre du col du brûleur = 30 cm ;
- Trous de la grille = 1,5 cm ;
- Trous d'aération en nombre impair, 5 ou 7.

1.5. Perspectives d'augmentation de puissance des fours

1.5.1. Augmentation des dimensions du four

Le diamètre des fours pourrait être augmenté pour répondre à des besoins de puissance supérieurs, mais ce sont alors toutes les dimensions du four qu'il faudra augmenter : augmentation de la hauteur pour qu'elle soit égale au diamètre, agrandissement de la trémie pour charger plus de coques en même temps, agrandissement de la porte pour faciliter la manipulation à l'intérieur. Pour éviter les problèmes rencontrés à Bouaké, il est très important de veiller à ce que la trémie verse les coques au centre du four : avec un diamètre supérieur, cela a plus de conséquences qu'avec de petits diamètres où les coques peuvent se répartir facilement à l'intérieur. Enfin, il paraît nécessaire de rapprocher un peu la sortie du brûleur du centre de la virole dans ce cas, pour garder une bonne circulation des gaz.

Si on augmente les dimensions du four il faudra s'assurer de pouvoir brûler en combustion complète les gaz générés. Il faudrait peut-être songer à concevoir un brûleur « à 3 têtes »² pour augmenter la surface d'échange entre les gaz et l'air. Une chose est sûre, l'expérience de Bouaké nous montre qu'il faudra faire des tests avant d'installer une nouvelle configuration de four.

1.5.2. Travail en ventilation forcée

La ventilation forcée peut vite générer de la surpression au sein de la chambre de combustion et donner lieu à des fuites. Le four de l'usine de séchage de mangues de Bobo dispose d'un souffleur mais celui-ci n'est allumé que périodiquement, dès que des fumées apparaissent au niveau des trappes de la trémie et de la porte on l'éteint. La raison d'être de ce souffleur n'est d'ailleurs pas d'augmenter la puissance mais d'augmenter la dégradation des coques en cendres, afin de devoir vider le four moins souvent, puisqu'il travaille 24h/24. Pour un four fonctionnant constamment en ventilation forcée des solutions d'étanchéité doivent être trouvées, mais celles-ci ne sont pas évidentes. Il faudrait tester les joints de type « filasse » vus à Bouaké. Pour l'heure, sans solution d'étanchéité, la ventilation forcée ne me paraît pas être une solution. Surtout, ce qui a été vu à Bobo

² Voir Drive Agrovalor : Biblio Agrovalor > Activités Arnaud > Rapports intermédiaires > Brûleur > Tipayawong et al.,2011



semble indiquer un effet limité sur la puissance de la flamme pour une nuisance sonore certaine et de la consommation électrique.

1.5.3. Impact du type de chaudière – comparaison avec le cas de Gebana, à Bobo-Dioulasso

Le rendement de la chaudière est bien sûr primordial lorsqu'on parle d'augmenter la production de vapeur du système {four H2CP – chaudière}. Les chaudières de type « à tubes de feu » construites par nos partenaires burkinabè et installées par Nitidæ lorsqu'on nous commande une chaufferie complète semblent être plus performantes que les chaudières de type « indiennes » comme celles d'Africa Négoce et de Sobery. Ces chaudières ont une bien plus grande surface d'échange entre la flamme et l'eau. Par ailleurs, avec une chaudière à tubes de feu la flamme vient s'écraser sur la plaque inférieure du réservoir d'eau, ce qui la pousse à couvrir tout le diamètre de la chaudière (figure 5). Dans une chaudière indienne elle ne remplit pas assez le foyer sur la largeur.



Figure 5 : Chaudière en construction à Bobo et flamme d'un four d'une usine de séchage de mangues de Bobo.

Les observations du système {four H2CP – chaudière} de Gebana à Bobo-Dioulasso, visitée en mai 2019, tendent à confirmer cette tendance. Le four est de même capacité que le four de Sobery, et alimente une chaudière à tubes de feu de 800 L, couplée à 2 autoclaves, l'une de 400 et l'autre de 320 kg. La pression de vapeur en fonction du temps sur les 5 premières heures de fonctionnement de cette journée de mai 2019 est représentée à la figure 6 et comparée à l'évolution de la vapeur observée à Sobery lors du deuxième jour de test. Les barres verticales correspondent au début d'une cuisson (des 2 autoclaves en simultanée à chaque fois), les flèches horizontales à leur durée. On constate que la pression ne descend pas systématiquement après le début d'une cuisson comme à Sobery : au contraire, elle reste stable, ou bien remonte même ! Cela amène la première cuisson à se terminer à 6 bars, la deuxième à 8 bars, la troisième à 10 bars. La vanne de surpression doit même être ouverte à la fin de la 3^e cuisson. Les chutes de pression en début de fonctionnement correspondent à des ouvertures de vannes pour l'évacuation de l'eau condensée dans les conduites et la chute de 10 à 4 bars à la fin de la 3^e cuisson correspond aux phénomènes conjoints d'ouverture de la vanne de surpression, d'extinction de la flamme et de remplissage de l'eau dans la chaudière.



Le fonctionnement à Gebana est d'autant plus performant qu'au cours de la journée 7 trémies ont été chargées pour la cuisson de 7 tonnes en 7 heures de temps (temps pris à la fermeture de la porte), tandis qu'à Sobery 16 trémies ont été chargées pour la cuisson de 6,4 tonnes en 7h15 (en enlevant la pause de midi). À Gebana on est à 1 trémie par heure, à Sobery à plus de 2. Il faut noter également que les opérateurs de Gebana sont plus économes avec la vapeur puisqu'ils ferment légèrement les vannes après le début de l'évaporation (moment où de la vapeur commence à sortir par les portes des autoclaves, point de repère de la cuisson pour les industriels), de telle sorte à ce qu'il n'y ait presque pas de vapeur qui sorte par les portes des autoclaves pendant le reste de la cuisson, tandis qu'à Sobery ou à Africa Négoce on ne touche pas aux vannes et beaucoup de vapeur s'échappe par les portes. Il nous paraît peu vraisemblable que cela explique toutes les différences constatées entre les profils de pression à Gebana et à Sobery mais il serait bien de chercher à accompagner les industriels ivoiriens à avoir la même manipulation économe.

Le système {four H2CP – chaudière} de Gebana pourrait vraisemblablement travailler avec plus d'autoclaves : en doublant leur nombre pour passer à 4 on serait certainement encore assurés d'avoir une pression supérieure à la pression minimum de 3 bars, on pourrait peut-être même en imaginer plus. Le système permettrait donc la cuisson de plus de noix que le système de Sobery, de four identique : il est plus puissant.

En travaillant avec des chaudières à tubes de feu, nous pourrions donc atteindre des objectifs de cuisson plus élevés qu'avec des chaudières indiennes. À moins que ce ne soit la différence de capacité de la chaudière (800 L à Gebana, 500 à Sobery) qui explique la différence. En tout cas, que ce soit la typologie ou la capacité, le type de chaudière a un impact. Gebana transforme actuellement 7 tonnes par jour, soit 2100 tonnes par an. Avec ce qui suit, on peut viser raisonnablement 5000 tonnes par an de transformation avec des chaudières à tubes de feu de 800 L, tandis qu'avec des chaudières indiennes de 500 L on semble qu'on soit plus ou moins bloqués à l'ordre de grandeur de la transformation de Sobery, soit 8 tonnes par jour, ou 2400 tonnes par an.

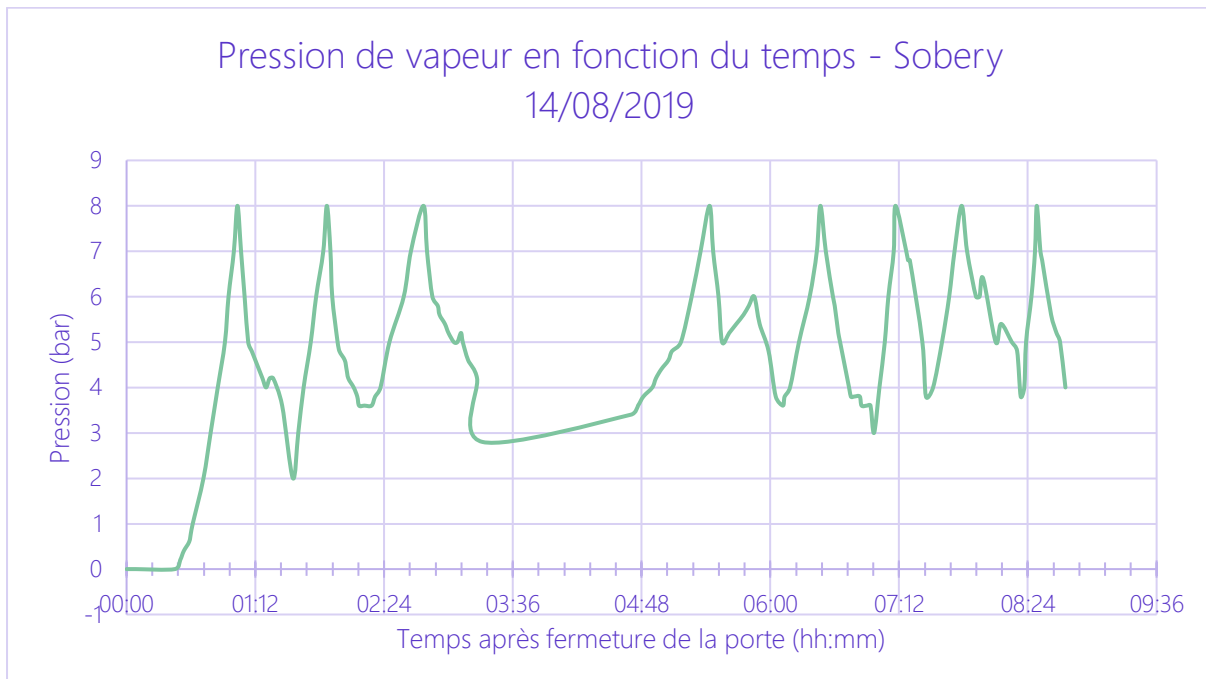
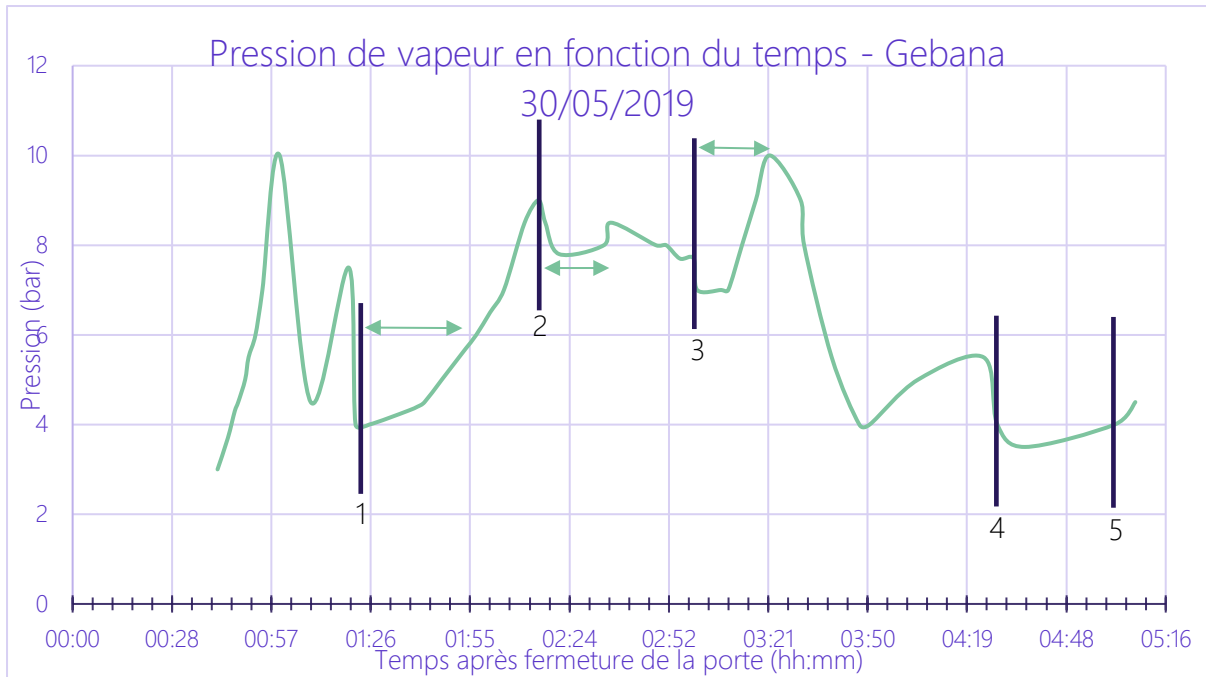


Figure 6 : Comparaison de profils de pression à Gebana et à Sobery.

1.6. Problématique du fonctionnement continu

Du travail reste à faire pour faire en sorte que les fours puissent fonctionner en continu, c'est-à-dire qu'on puisse décharger le charbon en continu. Les industries, en augmentant leur capacité de transformation, fonctionnent en effet généralement par 3 quarts de 8h. Or, dans les conditions actuelles, le four ne peut fonctionner que sur un quart, il faut attendre qu'il se refroidisse une nuit pour qu'on puisse décharger le charbon et le remplir à nouveau. Du moins en théorie, car au Burkina, à Bobo, le four qui alimente les séchoirs à Gebana et le four de l'usine de séchage de mangues sont maintenus en fonctionnement 24h/24, les charbons sont déchargés à chaud.



Dans les faits donc certains industriels travaillent en continu avec les fours mais dans des conditions qui mettent en danger les opérateurs, puisque décharger les charbons à chaud comporte bien évidemment des risques.

À Bobo se trouve un système expérimental de déchargement des coques avec une vis sans fin, ce qui n'a pas porté ses fruits à cause de quelques problèmes de conception mais c'est une idée qui mériterait d'être reprises. D'autres options seraient de travailler avec une trappe ou bien un « moteur à marteau » pour faire vibrer la grille et faire tomber les charbons comme c'est fait avec des gazogènes industriels. La tendance des matériaux utilisés à se déformer sous l'effet de la chaleur dans les fours compromet ces deux dernières options.

1.7. Perspectives : un nouveau départ pour l'installation de fours

Les problèmes rencontrés sur les fours à Bouaké ont inquiété les industriels intéressés par l'installation d'un four en Côte d'Ivoire, réticents à installer chez eux des fours qui ne fonctionnaient pas chez leurs voisins. Maintenant que le four de Sobery fonctionne, des visites pourront être organisées pour convaincre des industriels à passer le pas. À la moitié du projet, sur les 8 fours prévus, 2 ont été construits et 1 seul commence à peine à fonctionner correctement : il faut s'assurer à tout prix du bon fonctionnement des fours prochainement installés, de nouveaux problèmes seraient fatals à la réputation de Nitidæ en Côte d'Ivoire.

L'heure n'est donc pas à l'expérimentation, et il faudrait éviter des augmentations de dimensions sur les prochains fours construits par le Projet. Il s'agit de viser les industriels opérant dans la gamme de transformation que peut supporter les systèmes {four H2CP – chaudière verticale} avec leurs puissances actuelles.

Il y a 22 transformateurs industriels d'anacarde en Côte d'Ivoire, et de nouveaux projets sont montés assez fréquemment, visant à augmenter la part des noix transformées sur le territoire national par rapport aux noix brutes exportées. Je n'ai pas eu connaissance du détail des quantités transformées par chacun des acteurs. Il faut savoir qu'il peut exister de grandes disparités entre les capacités installées, les ambitions affichées et les quantités réellement transformées. Au cours de la conférence donnée par l'ACA (African Cashew Alliance) le 26 juin 2019 à Bouaké, un représentant de la société Nord Cajou, basée à Séguéla, a indiqué ainsi que leur usine a une capacité de 6000 tonnes de noix par an mais n'en transforme en réalité que 1500. Cette usine est équipée d'une chaudière horizontale vietnamienne de 1 t/h de capacité de production de vapeur, largement surdimensionnée : une production de vapeur de 70 kg/h comme c'est le cas à Gebana ferait l'affaire (Gebana transforme de l'ordre de 2100 tonnes par an). Les chaudières horizontales semblent être la norme pour les nouveaux investissements dans le secteur du cajou : un représentant de la société NTC nous a indiqué penser acheter une chaudière de ce type alors même que son objectif de production est de 2000 t/an pour 2020, 5000 t/an à moyen terme. Il s'agirait d'intervenir auprès des industriels dès le premier business plan d'un projet pour les inciter à augmenter pas à pas leur capacité de production de vapeur, pour qu'elle concorde avec les tonnages réellement transformés. Même pour des quantités transformées plus importantes avoir plusieurs systèmes {four – chaudière} en parallèle plutôt qu'une chaudière horizontale plus puissante peut être une option lorsqu'on considère le traitement et la valorisation des coques que permettent les fours. Cette tendance à viser de gros objectifs de transformation dès le début des projets sans pouvoir les atteindre est une constante



générale dans le secteur, pour en avoir discuté avec les conseillers commerciaux et financiers de Nitidæ.

Ce qui précède nous permet d'affirmer que l'objectif de 8 fours installés auprès de transformateurs ivoiriens devrait pouvoir être tenu. À moyen terme cependant, les fours devront pouvoir répondre à l'augmentation prévue des capacités de transformation des acteurs du secteur pour continuer à trouver des débouchés. De la recherche devra être menée pour les adapter à des chaudières horizontales tout en augmentant leur puissance. La solution « 100 % carbonisation » pourra également être développée, avec des fours installés pour répondre à la problématique de valorisation des coques essentiellement, avec combustion des gaz en torchère ; plusieurs fours pourront fonctionner en rotation connectés à la même chaudière (sur le modèle de la carbonisation CML) pour éviter les émissions de fumées à l'allumage et à l'extinction d'un four. Une proposition de ce type a été faite à Ivory Cashew Nut (ICN, filiale d'Africa Sourcing), qui construit une usine de 30 000 t/an à quelques kilomètres de Bouaké, sur la route de Diabo. Ceci dit, des débouchés pour la configuration actuelle des fours pourront être trouvés auprès d'autres industries, des huileries, des usines de séchage, etc., enfin toute industrie avec des besoins de vapeur et fonctionnant avec des chaudières verticales, voisines à des installations d'anacarde à qui elles pourraient acheter des coques, comme c'est le cas au Burkina Faso.

2_ Filière karité

Moins de travail a été effectué sur ce volet : j'ai cependant eu l'occasion d'accompagner l'équipe Agrovalor sur des réflexions concernant des fosses à décantation et des torrificateurs améliorés.

2.1. Fosses à décantation

2.1.1. La problématique des tourteaux liquides

Les tourteaux liquides de karité constituent le déchet principal du processus de production de beurre de karité. Elles sont traditionnellement versées dans des fosses à infiltration creusées dans le sol : la partie liquide s'infiltré et de la pâte restante au fond des fosses (« les tourteaux pâteux ») on fait des boules qui, une fois séchées au soleil, sont brûlées pour les opérations de cuisson ou de torrification en remplacement du bois (figure 7).

En cas de forte production, il arrive qu'on évacue la partie liquide à la main, en général en la versant directement sur le sol à proximité des fosses. Ça pose peu de problèmes en zone peu habitées avec de la place, beaucoup plus en ville. Ainsi le groupement de Petit Paris à Korhogo, située en pleine ville, se retrouve obligé de laisser ses eaux ruisseler vers la rue la plus proche (figure 8). Les problèmes sont exacerbés en cas de pluie : les riverains sont obligés « de lever les pans de leurs boubous pour passer dans la rue », et certains se sont plaints auprès de la mairie.



Figure 7 : Fosses à décantation dans le groupement Chigata, à Korhogo et séchage des boules de tourteau.



Figure 8 : Fosses à décantation et ruissellement de l'eau en direction de la rue (à droite) au groupement de Petit Paris.

2.1.2. Projets en cours à Korhogo

Le FIRCA a installé deux biodigesteurs à Chigata récemment, la construction d'un autre est prévue à Petit Paris prochainement : sans fosses de décantation en amont, un biodigesteur n'a pas beaucoup de sens : si l'idée est de continuer à utiliser les fosses creusées dans le sol pour récupérer le tourteau solide cela demandera un effort supplémentaire que de verser la partie liquide dans le biodigesteur, si on verse directement les tourteaux liquides dans le biodigesteur on prive les groupements de la possibilité de récupérer du tourteau décanté comme combustible de substitution au bois.

Il s'agirait donc de prévoir des fosses à décantation dans les groupements de productrices de karité, à commencer par ceux équipés de biodigesteurs par le FIRCA. L'objectif était de construire les premières à Petit Paris pendant la construction du biodigesteur mais des problèmes avec le prestataire du biodigesteur nous en ont empêché : il faudra construire les fosses a posteriori et les coupler au biodigesteur.

Des premiers calculs de dimensionnement ont d'ores et déjà été faits : en pleine production, les dames de Petit Paris transformeraient 10 sacs de 144 kg par jour. À Chigata, Éléonore (chargée de missions environnement Agrovalor) a déterminé la masse de tourteaux liquides à 27 % de la masse d'amandes brutes traitées. Pour 1 kg d'amande, elle a mesuré qu'environ 3,5 l d'eau est utilisée pour le barratage. En considérant une masse volumique des tourteaux de 2 kg/l (à confirmer)³, pour 1 kg d'amande, on a 3,64 l de tourteaux liquides. Pour 10 sacs, on obtient finalement 5,2 m³ de tourteaux liquides. Jusqu'à 10 groupes de femmes travaillent à Petit Paris en même temps, en effectuant des rotations sur les différentes opérations d'un cycle, qui dure de 3 à 4 jours. Sur une rotation, 2 à 3 groupes peuvent se retrouver au barratage en même temps ; chaque groupe travaille de son côté et récupère à son compte les tourteaux solides pour en faire des boules. Nous avons donc proposé de concevoir 3 fosses de 2 m³ chacune : par exemple 1 m de large, 2 m de long, 1 m de haut.

³ La signification des 27 % de tourteaux liquides est également à vérifier.



Une vanne placée à l'interphase liquide/solide doit permettre de faire s'écouler la partie liquide en fin de décantation (laisser les tourteaux reposer pendant au minimum 12h). Les tourteaux pâteux peuvent ensuite être récupérés au fond de la fosse. Il faut prévoir des vannes à différentes hauteurs pour répondre aux variations des quantités transformées d'un jour à l'autre (sur le modèle de ce qui est représenté à la figure 9). En considérant 40 % de tourteaux pâteux (donnée du « package technologique Rongead », disponible dans le Drive), on pourrait prévoir par exemple 3 vannes placées à 10, 25 et 40 cm, avec la vanne à 10 cm correspondant à 1 sac transformé par jour et par groupe (0,5 m³ de tourteaux environ) et celle à 40 cm correspondant à 4 sacs (2 m³ de tourteaux).

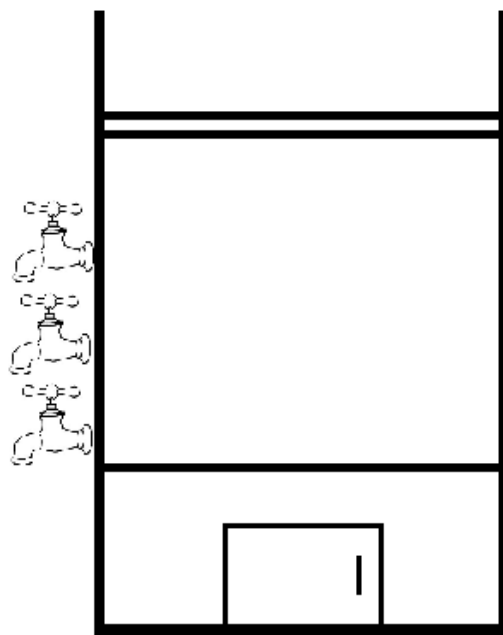


Figure 9 : Fosse de décantation de tourteaux de karité.

La figure 10 schématise l'installation imaginée pour une fosse. Les vannes de la fosse devront être connectées directement au biodigester pour le traitement de la partie liquide. Une trappe devra être prévue au bas de la fosse avec une aire de séchage des boules de tourteaux située juste en dessous, pour pouvoir racler les tourteaux et les faire tomber directement sur l'aire de séchage. Il faudra veiller à permettre l'infiltration ou l'évacuation des eaux de pluies de l'aire de séchage, et ne pas reproduire la même erreur qu'à Chigata où une aire de séchage en béton a été construite sans prévoir l'évacuation des eaux : le séchage sur cette aire se fait mal et elle n'est pas utilisée, ou du moins pas pour le séchage des tourteaux. Ce système de trappe et d'aire de séchage requiert de surélever légèrement la fosse, il faudra prévoir une légère pente pour pouvoir déverser facilement les tourteaux à l'intérieur.

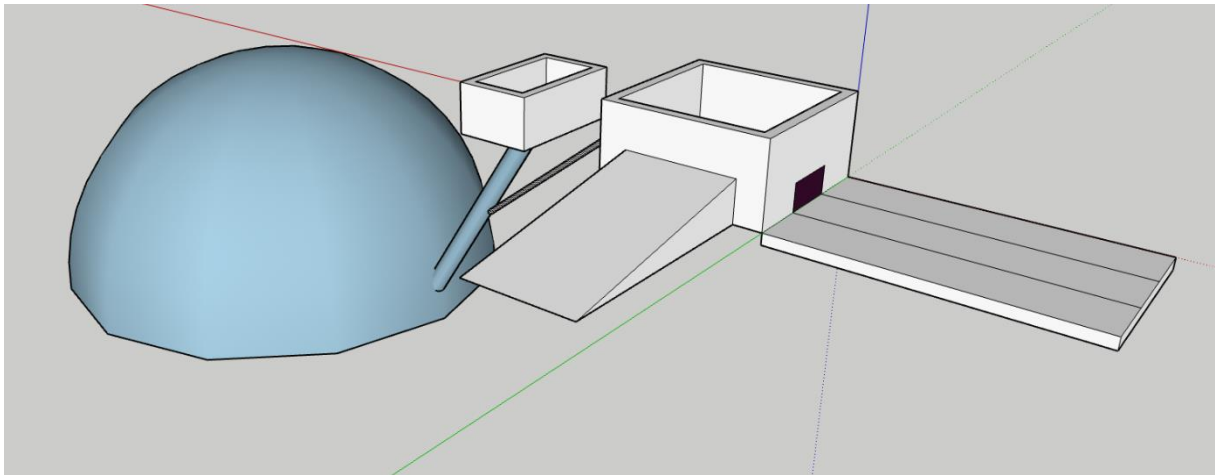


Figure 10 : Couplage fosse de décantation – biodigesteur – aire de séchage.

2.2. Torréfacteurs améliorés

Le projet prévoit l'installation de quelques torréfacteurs améliorés au sein des groupements de productrices de beurre de karité. Actuellement la torréfaction se fait intégralement avec des torréfacteurs dits « artisanaux » qui sont des barriques en fer qu'on fait tourner au-dessus d'un foyer métallique très sommaire, tel que représenté à la figure 11. De nombreux enfants s'occupent de cette tâche longue et répétitive, l'exposition aux fumées est très importante. Les barriques doivent être soulevées et vidées à la force des bras une fois les amandes torréfiées, c'est très lourd, seules les plus jeunes peuvent s'en occuper. À Korhogo, on compte une quarantaine de ces torréfacteurs de 40 kg en moyenne de capacité à Chigata, une vingtaine à Petit Paris. On pouvait s'en procurer dans le passé pour environ 20 000 FCFA, mais les prix auraient augmenté pour atteindre aujourd'hui 40 000 FCFA.



Figure 11 : Torréfacteur artisanal et vue de leur utilisation à Petit Paris.

Lorsque nous nous sommes rendus au Burkina Faso fin mai nous avons pu comparer deux options de torréfacteurs améliorés (c'est-à-dire qui permettent un déchargement des amandes torréfiées sans effort, suppriment les fumées et remplacent éventuellement l'effort manuel de rotation par un moteur) :



- Torréfacteur du CEAS⁴ (figure 12) : cylindre en rotation, capacité de 45 ou 50 kg, manuel ou électrique. Les amandes torréfiées sont déchargés par une goulotte au centre, il suffit d'ouvrir la trappe et de placer le cylindre sur un quart de tour. Une cheminée permet l'évacuation des fumées. Tout en inox, 600 000 FCFA en sortie d'atelier ;



Figure 12 : Torréfacteur du CEAS (exemplaire en dépôt à Nununa).

- Torréfacteur construit par Didier Ouedraogo⁵ à Nununa (coopérative de production de beurre de karité de Léo, au Burkina Faso) : cylindre fixe et pales en rotation, seulement cylindre et goulotte de déchargement en inox, cylindre ouvert (fait en sorte que les amandes ne doivent pas forcément être séchées avant torréfaction, l'eau qu'elles contiennent peut être évacué par évaporation). Les amandes torréfiées sortent par une goulotte en bout, entraînées par une légère pente et la rotation des pâles. Une cheminée permet l'évacuation des fumées et des briques en argile permettent d'isoler le foyer de combustion. Le modèle représenté à la figure 13 est couplé à un moteur électrique, a une capacité de 270 kg et coûterait de l'ordre de 2 000 000 FCFA. Il peut être équipé d'une manivelle pour un fonctionnement manuel en baissant la capacité.
- ⇒ Les torréfacteurs du CEAS nous paraissent bien trop cher. Notre choix va vers le modèle de Didier en configuration manuelle, ramené à 100 kg de capacité, pour commencer. Des réducteurs devraient être prévus pour réduire l'effort physique. On pourra ensuite toujours les coupler à des moteurs si des demandes des dames vont dans ce sens. Pour l'heure la consommation électrique supplémentaire que représenterait un moteur électrique les effraie : à Chigata, elles payent déjà 500 000 FCFA tous les 2 mois pour leurs moulins. Ceux-ci sont équipés de moteurs de 11 kW, les torréfacteurs n'auraient besoin que de 0,5 à 1 kW, le surplus de consommation ne sera donc pas bien important en réalité.
- ⇒ Un premier devis a été fait à 600 000 FCFA, sans compter les frais de déplacement et d'hébergement pour les installateurs burkinabè. Pour une capacité égale c'est 10 fois plus cher que les torréfacteurs artisanaux. Il faudra nécessairement chercher à baisser les prix

⁴ Centre Écologique Albert Schweitzer, une ONG suisse qui a des bureaux et un atelier à Ouagadougou.

⁵ Équipementier burkinabè avec qui Nitidæ travaille depuis la construction des premiers fours H2CP au Burkina.



pour imaginer des perspectives de torréfacteurs améliorés non subventionnés à moyen-long terme.



Figure 13 : Torréfacteur construit par Didier Ouedraogo à Nununa.

3_Filière attiéké

Une activité en particulier a été menée concernant la filière attiéké : la décantation de l'amidon contenu dans les eaux résiduelles des groupements de productrices.

3.1. Décantation des eaux résiduelles des groupements de productrices d'attiéké

3.1.1. Contexte et objectifs de l'expérience

La transformation du manioc en attiéké produit 3 types de déchets liquides : les eaux de lavage du manioc frais, les eaux rejetées durant la fermentation d'une nuit de la pâte de manioc broyé et les eaux de pressage de la pâte de manioc broyé (figure 14). Les eaux de fermentation et de pressage



contiennent de l'amidon. L'amidon est couramment utilisé en Côte d'Ivoire pour l'amidonage des vêtements, on peut le trouver sur le marché. Il est utilisé dans l'industrie agroalimentaire également.



Figure 14 : Eaux de fermentation et eaux de pressage sur le site de la famille N'Guessan.

La biodigestion des eaux résiduelles des groupements de productrices d'attiéké est bien plus une solution d'assainissement que de valorisation énergétique : la production de biogaz est faible. Ainsi, le biodigesteur installé auprès du groupement du marché de gros produit juste assez de gaz que pour cuire les repas des dames pendant la journée. La récupération de l'amidon serait une solution de valorisation matière des effluents, valorisation en une matière qui a son marché en Côte d'Ivoire. Par ailleurs, en plus des débouchés courants pour les vêtements et l'agroalimentaire l'amidon est utilisé comme liant dans la confection de briquettes combustibles. C'est le point de départ de la réflexion concernant l'amidon : avec le charbon de coques produit par les fours H2CP et l'amidon contenu dans les effluents des groupements de productrices d'attiéké existe l'opportunité d'exploiter des synergies entre les deux filières d'intervention anacarde et attiéké.

Des échantillons d'eaux de pressage et de fermentation ont été recueillis auprès de 3 groupements de productrices d'attiéké de Bouaké : la coopérative COFEMVIB du marché de Bromakoté, le groupement de la famille N'Guessan à Tchélékro et le groupement « chez Mamie » situé dans le quartier de Sokoura. L'objectif était de déterminer les teneurs volumiques en amidon décanté humide et massique d'amidon sec contenu dans les différents échantillons. Les temps caractéristiques de la décantation devaient également être déterminés.

Un deuxième travail a consisté en la quantification des eaux de fermentation et de pressage au cours de deux journées de production de la coopérative de COFEMVIB à Bromakoté.

L'expérience devait pouvoir conclure sur la pertinence de la décantation de l'amidon contenu dans les eaux de fermentation et de pressage des groupements de productrices d'attiéké et donner des ordres de grandeur permettant le dimensionnement d'éventuelles fosses à décantation.

3.1.2. Matériel utilisé

- 7 Bouteilles en verre transparent d'1 l
- 8 Bouteilles plastiques d'1,5 l
- 17 Bouteilles plastiques d'1,5 l coupées en 2



- Papier millimétré
- 1 balance numérique (5 kg / 1 g), de marque inconnue, type « chinoise »
- Balance analogue de la coopérative COFEMVIB (120 kg / 1 kg)

3.1.3. Protocole expérimental

Le protocole expérimental suivant a été suivi :

Quantification de la teneur en amidon des eaux résiduelles de groupements de productrices d'attiéké

1. Collecte des eaux de fermentation : laisser reposer quelques sacs de manioc broyé dans une bassine et collecter un échantillon des eaux qui se sont écoulées des sacs durant la nuit dans une bouteille en plastique de 1,5 l, après avoir homogénéiser le mélange ;



Figure 15 : Collecte des eaux de fermentation.

2. Collecte des eaux de pressage : placer des récipients sous les presses pour récupérer les eaux qui s'écoulent durant l'opération de pressage. Verser le contenu des récipients dans des bouteilles plastiques et ceci tout au long de l'opération ;



Figure 16 : Collecte des eaux de pressage.

3. De retour au bureau, remuer les différents échantillons et verser le contenu des bouteilles plastiques dans les bouteilles en verre. Relever le temps ;



- À la fin de la décantation, relever les volumes total et d'amidon décanté en se basant sur la graduation du papier millimétré collé aux bouteilles. Relever le temps de la décantation ;



Figure 17 : Décantation dans des bouteilles en verre graduées.

- Remuer à nouveau les bouteilles et verser leur contenu dans des bouteilles plastiques coupées en 2. Peser le contenu des bouteilles coupées avec la balance numérique ;



Figure 18 : Pesée de la totalité de l'échantillon.

- Laisser décanter à nouveau jusqu'à ce que l'amidon ait suffisamment solidifié au fond des récipients pour permettre une évacuation du surnageant liquide.



Figure 19 : Évacuation du surnageant liquide.



7. Laisser sécher l'amidon humide au fond des bouteilles coupées à l'air libre, jusqu'à ce qu'il soit entièrement sec – ne pas chauffer, cela « cuit » l'amidon ;



Figure 20 : Séchage de l'amidon décanté.

8. Peser l'amidon sec avec la balance numérique.



Figure 21 : Pesée de l'amidon sec.

Quantification des eaux résiduelles des groupements

Sur le site de Bromakoté de la coopérative COFEMVIB :

1. Peser les sacs de manioc broyé juste après le broyage du soir avec une balance analogue ;
2. Peser les sacs le lendemain matin, après la nuit de fermentation ;



3. Peser les sacs après le pressage.



Figure 22 : Pesée des sacs à COFEMVIB.

3.1.4. Vitesse de décantation

L'amidon décante en 40 minutes. Il se compacte ensuite rapidement : 2 à 3 h de repos peuvent suffire à ce que la séparation des phases liquide/solide se fasse facilement, c'est-à-dire à ce qu'on puisse faire s'écouler la partie liquide sans qu'elle n'entraîne avec elle l'amidon. Ce temps minimum est à définir avec plus de précision.

3.1.5. Teneurs volumiques en amidon humide décanté des eaux de pressage

Des échantillons d'eau de pressage du manioc ont été collectés à COFEMVIB pendant toute la durée du pressage sur 2 jours, en juillet et août, soit en saison pluvieuse à Bouaké. Le tableau 1 rend compte des teneurs volumiques en amidon humide décanté obtenu pour chaque échantillon, obtenus chronologiquement. On constate qu'elle varie, oscillant entre 1,3 et 3 % le premier jour et 0,8 et 2,3 % le deuxième jour, mais que cette variation ne suit pas d'évolution caractéristique au cours du temps. On peut seulement voir que pour les derniers échantillons recueillis les teneurs chutent brutalement, les dernières eaux extraites sont très peu concentrées. Les valeurs moyennes sont respectivement de 2,1 et de 1,7 % les premier et deuxième jour.

Échantillon	Jour 1	Jour 2
1	3,0%	2,3%
2	1,5%	1,3%
3	2,0%	2,0%
4	2,3%	1,0%
5	3,0%	2,3%
6	1,9%	0,8%
7	1,3%	
MOYENNE	2,1%	1,7%

Tableau 1 : Teneurs volumiques en amidon humide décanté des eaux de pressage à COFEMVIB pour deux journées de juillet et août 2019.



La même opération a été menée sur le site de la famille N'Guessan. La presse est manuelle et bien plus petite que la presse à Cric de Cofemvib, si bien que les eaux ont pu être collectées dans deux bouteilles seulement. La première moitié du pressage se fait avec une teneur de 5 % d'amidon ; le deuxième échantillon ne présente aucune trace d'amidon.

Échantillon	
1	4,7%
2	0,0%
MOYENNE	2,4%

Tableau 2 : Teneurs volumiques en amidon humide décanté des eaux de pressage du groupement de N'Guessan collectées en août 2019.

Les 3 valeurs obtenues précédemment sont assez proches et nous amènent pour les eaux de pressage à **une teneur volumique moyenne en amidon humide de 2,1 %**.⁶

Au groupement « chez Mamie », dans le quartier Sokoura à Bouaké, la collecte n'a pas été menée sur toute la durée d'un pressage : des échantillons ont été prélevés durant une première phase d'observation du travail des groupements sur le terrain, le protocole expérimental n'avait pas encore été établi. Les teneurs en amidon de trois échantillons pris à des moments distincts du pressage et sur différentes presses sont données à titre indicatif au tableau 3. Elles confirment les ordres de grandeur des valeurs obtenues précédemment.

Presse manuelle - début	4,5%
Presse à cric - début	2,4%
Presse à cric - fin	1,8%

Tableau 3 : Teneurs volumiques en amidon humide décanté des eaux de pressage du groupement « chez Mamie » collectées en juillet 2019.

3.1.6. Teneurs volumiques des eaux de fermentation

Les teneurs volumiques en amidon humide décanté sont donnés au tableau 4. Les valeurs obtenues sont assez dispersées et il a manqué du temps pour prélever plus d'échantillons mais la moyenne obtenue est un premier ordre de grandeur avec lequel travailler.

COFEMVIB - jour 1	9,6%
COFEMVIB - jour 2	4,7%
N'Guessan	9,2%
Marché de gros	7,34%
MOYENNE	7,7%

Tableau 4 : Teneurs en amidon des eaux de fermentation pour trois groupements d'attiéké de Bouaké.

3.1.7. Quantité de déchets liquides rejetés

Les sacs de pâte de manioc broyé ont été pesés sur le site de COFEMVIB de Bromakoté, juste après le broyage et avant et après le pressage le lendemain, et ce sur deux jours de juillet et d'août 2019.

⁶ Il y a assez d'incertitudes sur cette mesure, liées à la lecture des hauteurs de liquide avec le papier millimétré et la précision du verre doseur utilisé pour calibrer les bouteilles. Mais c'est un ordre de grandeur avec lequel on peut travailler.



Les résultats sont donnés au tableau 5. On constate que le deuxième jour, proportionnellement à la masse de manioc frais, 4 % de plus d'eaux de fermentation sont rejetées mais 15 % d'eaux de pressage de moins. Les quantités relatives d'eaux de fermentation par rapport aux eaux de pressage s'en retrouvent bouleversés, les eaux de fermentation représentant 51 % et 81 % des eaux totales respectivement les premier et deuxième jour.

	Jour 1	Jour 2
Masse de manioc frais (kg)	1000	800
Masse de pâte de manioc humide (kg)	927	719
Masse de pâte sèche (kg)	507	475
Eaux totales (kg)	420	244
<i>Part de la masse initiale de manioc frais</i>	<i>42%</i>	<i>31%</i>
Eaux de fermentation (kg)	213	197
<i>Part de la masse initiale</i>	<i>21%</i>	<i>25%</i>
<i>Part des eaux totales</i>	<i>51%</i>	<i>81%</i>
Eaux de pressage (kg)	207	47
<i>Part de la masse initiale</i>	<i>21%</i>	<i>6%</i>
<i>Part des eaux totales</i>	<i>49%</i>	<i>18%</i>

Tableau 5 : Quantités d'eaux de fermentation et de pressage rejetées pour deux jours de juillet et d'août 2019 à COFEMVIB.

3.1.8. Teneur volumique en amidon humide moyen des eaux résiduelles des groupements d'attiéké

Ce qui précède nous permet de placer la teneur volumique en amidon humide des eaux rejetées par les groupements d'attiéké dans un intervalle compris entre 5 et 6,6 %. Il faudrait faire des mesures supplémentaires notamment des quantités totales des eaux émises sur un jour de production pour affiner ce résultat, mais c'est un ordre de grandeur qui nous permet de faire des premières projections (cf. partie 3.3).

	Fourchette basse	Fourchette haute
Teneur en amidon des eaux de pressage		2,1%
Teneur en amidon des eaux de fermentation		7,7%
Part des eaux de fermentation	51%	81%
Teneur moyen en amidon	5,0%	6,6%

Tableau 6 : Teneur volumique moyen en amidon sec des eaux rejetées par les groupements d'attiéké.



3.1.9. Teneur massique en amidon sec

Au moment de la pesée des échantillons d'amidon séché, la balance numérique utilisée s'est avérée défaillante : les teneurs massiques obtenues sont incohérentes avec les teneurs volumiques, elles ne suivent pas un rapport de proportionnalité. Des incohérences étaient déjà apparues lors de la manipulation, notamment avec des erreurs jusqu'à 2 g sur la tare. Nous ne pouvons donc malheureusement pas exploiter les pesées de l'amidon sec réalisées.

3.2. Perspectives de dimensionnement de fosses à décantation

La coopérative de COFEMVIB a indiqué dans une enquête en 2018 pouvoir transformer jusqu'à 3 tonnes de manioc par jour. En réalité sur le terrain ce sont plutôt des quantités de l'ordre de 1 tonne de manioc qui ont été observées. Oralement les dames ont parlé de « 1 à 2 tonnes par jour ». Le premier jour de mesures à COFEMVIB, 420 kg d'eau ont été rejetées, pour une quantité totale de pâte de manioc frais de 927 kg, correspondant à 1 tonne de tubercules de manioc.

Une fosse de décantation de 1 m³ semble dès lors appropriée. Elle pourrait être de 1 m de large, 2 m de long et 50 cm de haut par exemple. Elle devrait être creusée dans le sol, voilà pourquoi elle ne peut être trop haute. En effet, l'idée serait que les eaux s'écoulent directement à l'intérieur, en ruisselant sur une dalle en béton sur laquelle seraient entreposés les sacs durant la nuit et sur laquelle seraient installées les presses. La partie liquide pourrait être évacuée par un tuyau au bas de la fosse. Ce tuyau peut être placé au bas de la fosse, puisqu'une fois bien compacté (après 2 à 3 h minimum de décantation), l'amidon ne risque pas d'être entraîné par l'eau. Un tuyau au ras du fond de la fosse de diamètre 50 mm pourrait faire l'affaire (le niveau à 50 mm correspondant à 10 % du volume au maximum de capacité de la fosse). L'amidon pourrait ensuite être raclé à la main ou à l'aide d'un ustensile.

Au groupement de la famille N'Guessan, qui transforme plutôt de l'ordre de la demie-tonne mais qui vise à s'agrandir, une fosse de 1 m de long (soit 500 L) pourrait suffire.

3.3. Perspectives d'utilisation de l'amidon

L'amidon peut être vendu sur le marché. À COFEMVIB l'amidon de la production d'un groupe⁷ est récupéré en laissant les sacs fermenter dans des bassines puis séché. Tous les groupes ne le font pas car c'est une charge de travail supplémentaire (le groupe en question transforme moins que les autres, et c'est un souhait particulier de la présidente de récupérer l'amidon). Selon une dame l'amidon est vendu moins cher que l'amidon standard car la fermentation et le mélange du manioc avec le manioc fermenté et de l'huile avant le broyage affecte sa qualité. Cette affirmation a été infirmée par la suite par une autre travailleuse. Des études supplémentaires seraient à mener pour vérifier ce qu'il en est, et pour identifier le prix de vente de cet amidon « fermenté » sur le marché s'il est inférieur au prix standard. Le plus pratique pourrait être de travailler avec l'amidon séché et vendu à COFEMVIB.

En considérant un rapport masse d'amidon sec / volume d'amidon humide de 0,7 kg/l (ordre de grandeur déduit grossièrement par les quelques pesées avec la balance numérique qui ont semblé cohérentes) au cours du jour 1 de production suivi à COFEMVIB environ 15 kg d'amidon sec auraient

⁷ À COFEMVIB 3 groupes tournent sur des rotations de 2 jours travaillés – 1 jour de repos, avec 2 groupes travaillant simultanément. Certaines dames sont salariées de la coopérative et ont 1 jour de repos par semaine.



pu être récupérés. L'amidon est vendu sur le marché à 250 FCFA/kg en période sèche (quand le séchage est facile), à 300 FCFA en période des pluies. À 250 FCFA/kg la recette potentielle serait de 3500 FCFA pour ce jour de production, soit grosso modo le salaire journalier d'une des membres du groupement. C'est tout à fait intéressant. Cependant, s'il fallait sécher tout cet amidon beaucoup de place serait nécessaire, avec un abri pour la période des pluies. Quand bien même la place est disponible, cela représenterait un investissement initial, du travail supplémentaire à gérer, de l'organisation logistique...

L'utilisation de l'amidon comme liant dans des briquettes de bio-charbon s'affranchirait de ces contraintes : de l'eau est ajouté au mélange des briquettes, sécher l'amidon ne serait donc pas nécessaire, il pourrait être transporté directement sous sa forme pâteuse. Thysner, une entreprise fondée par l'ONG Wake Up Africa expérimente la carbonisation de résidus ligneux depuis 3 ans à Bouaké (figure 23). Elle travaille essentiellement avec des épluchures de manioc et des feuilles de maïs. Elle en est toujours à la phase de tests. Une des difficultés mentionnées par les responsables rencontrés est la friabilité des bio-charbons : traditionnellement on cuisine en Côte d'Ivoire en posant la marmite directement sur le charbon, or en faisant cela avec les briquettes friables celles-ci s'effritent. Thysner confirme : l'amidon est le meilleur liant pour les briquettes, il est possible d'utiliser de l'argile également mais celui-ci limite trop la puissance de la combustion. Les responsables se disent intéressés à collaborer avec Nitidæ. Dans l'idéal, on peut imaginer un schéma dans lequel des briquettes de bio-combustibles seraient faites à Thysner à partir de coques carbonisées dans les fours H2CP et d'amidon récupéré dans les eaux résiduelles des groupements d'attiéké.

À Thysner a été installé récemment un four carbonisateur fabriqué sur un modèle marocain (cubique, environ 1 m³, on ne nous a pas laissé prendre de photos), il serait intéressant de le tester, notamment avec des coques. Jusqu'à présent toutes les opérations de carbonisation étaient réalisées dans des fûts métalliques. L'entreprise a développé sa propre presse à briquettes manuelle. Elle aimerait mécaniser son procédé pour pouvoir viser une production plus importante.



Figure 23 : Plateforme Thysner.



4_Activités à poursuivre

4.1. Filière anacarde

- À Sobery : réduire la hauteur du col du brûleur pour réduire les fumées à la cheminée ; mesurer le débit de vapeur ; faire des tests en refermant les vannes des autoclaves après le début de l'évaporation pour éviter les pertes de vapeur et voir l'impact sur l'évolution de la pression et sur la qualité de la cuisson. Si c'est positif : faire de même chez les prochains industriels où on interviendra ;
- Tester la carbonisation de coques et la confection de briquettes à Thysner ;
- Réaliser une étude technico-économique sur la viabilité de la vente de charbon, éventuellement transformé en briquettes.

4.2. Filière karité

- Installer des systèmes {fosses à décantation – biodigester – aire de séchage} conformes aux besoins ;
- Diffuser des torrificateurs améliorés et réfléchir à réduire leur prix.

4.3. Filière attiéké

- Suivre la préparation sur le site de carbonisation de Thysner du mélange de liant à base d'amidon : identifier les quantités en jeu et le déroulé des opérations et tester un mélange avec de l'amidon « fermenté » ;
- Tester la confection de briquettes à partir de charbon de coque d'anacarde sur le site de Thysner. Évaluer le comportement en combustion des briquettes et leur friabilité. Discuter avec Thysner d'un possible partenariat ;
- Tester la carbonisation de coques d'anacarde dans le carbonisateur nouvellement construit de Thysner ;
- Évaluer la qualité de l'amidon « fermenté » produit à COFEMVIB et le comparer à l'amidon généralement vendu sur le marché, identifier son prix de vente sur le marché. Voir les besoins en espace de séchage dans l'hypothèse d'une récupération de tout l'amidon produit sur le site pour être vendu sur le marché.



Bilan

Je pense avoir déjà donné mes conclusions et perspectives « techniques » dans les sous-parties respectives à chaque filière. Il ne me reste donc plus qu'à partager mon bilan personnel de l'expérience qu'a été pour moi de faire mon stage de fin d'études auprès de l'équipe Agrovalor en Côte d'Ivoire. Ce fut fort et intense, j'ai été confronté à des problématiques totalement nouvelles pour moi dans un contexte que j'essayais de comprendre un peu mieux chaque jour, porté par ce que je vivais au travail et en dehors. L'intégration à Bouaké a en tout cas été rendue spécialement facile grâce au travail réalisé pour Nitidæ, qui orienté très « terrain », amène à entrer en relation avec des acteurs et actrices très diverses au quatre coins de la ville, à être confronté à de multiples réalités.

D'un point de vue plus professionnel ce stage m'a confronté au travail d'équipe, à la prise d'initiatives, à la réflexion à plusieurs cerveaux pour élucider plus rapidement un problème, à la prise en compte du terreau culturel de chacun et de chacune

L'action de Nitidæ est vaste et le projet Agrovalor est un beau projet : je souhaite beaucoup de courage et de réussite à toutes celles et ceux qui y travaillent aujourd'hui et qui y travailleront demain. Espérons que des fours et des foyers continueront à être construits une fois le projet fini, c'est à mes yeux ce qui fera d'Agrovalor un projet réussi.

On est ensemble !