

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Département de Physique

Mention : Physique et Applications

Mémoire de MASTER

Spécialité : Énergies Renouvelables et Efficacité Énergétique

Option : Énergie Solaire et Bioénergie

Sujet :

Diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur de la SCPL, SA

Présenté et soutenu publiquement par

Ousmane KAO

Le /15/04/2023 devant le jury composé de :

Nom Prénom	Grade	Qualité	Établissement
KOBOR Diouma	Professeur titulaire	Président de jury	UASZ
THIAO Serigne	Maître assistant	Rapporteur	UASZ
BA Mamadou Seydou	Docteur/ Invité	Examineur	UASZ
DRAME Papa Elimane	Technicien Supérieur	Examineur	SCPL, SA
HIMBANE Philippe Bernard	Docteur/ Invité	Examineur	UASZ
NDIAYE Lat Grand	Professeur titulaire	Directeur de recherches	UASZ

Dédicaces

Je rends grâce à ALLAH de m'avoir donné la force, le courage mental intellectuel et moral qui m'ont permis de réaliser ce travail.

Je dédie ce modeste travail :

À ceux qui se sont toujours dévoués et sacrifiés pour moi, ceux qui m'ont aidé du mieux qu'ils ont pu pour ma réussite, n'épargnant ni santé ni effort, ceux qui m'ont accompagné tout au long de ce parcours ;

À mes très chers parents, mes frères et à toute ma famille particulièrement ;

À ma grand-mère, mes oncles et toutes leurs familles ;

À tous mes enseignants depuis le préscolaire jusqu'à l'université ;

À tous les membres de l'Amicale des Etudiants du Départementale de Goudomp (AMEDG/Z) ;

À tous les membres de l'Amicale des Elevés et Etudiants Ressortissants de la Commune de Simbandi Balante (AEECS) ;

À tous les membres de l'Amicale des Etudiants MANJAKS de ZIGUINCHOR (AEMZ) ;

À tous mes amis !

Remerciements

De prime abord, je rends grâce encore ALLAH le TOUT PUISSANT pour m’avoir donné les dispositions physiques et morales qui m’ont permis de surmonter toutes les difficultés rencontrées lors de mon cursus scolaire. Ce travail a été réalisé par le soutien de plusieurs personnes dont j’ai l’honneur de remercier.

Je tiens profondément à remercier mon Directeur de la SCPL Mr. Papa Elimane DRAME, d’abord pour le choix du sujet mais aussi sa disponibilité et ses encouragements. Malgré son calendrier très chargé, j’ai pu bénéficier de ses compétences scientifiques dans l’usine pour résoudre les difficultés rencontrées lors de mon stage. J’ai beaucoup appris avec vous, et pas seulement dans les domaines de la pyrolyse et de la gazéification.

Aujourd’hui, je me sens davantage à l’aise dans ces domaines car j’ai appris pas mal de chose à la SCPL surtout dans le monde professionnel.

Je tiens énormément à remercier le Professeur Lat Grand NDIAYE, mon encadrant au département de physique de l’université. Merci pour vos conseils expérimentés, vos engagements et disponibilité tout au long de ce travail. Ce fût une chance pour moi d’avoir participer à l’installation du système de la gazéification à SCPL.

Mes remerciements vont également aux membres du jury à commencer par le président :

Professeur Diouma KOBOR, le rapporteur, Docteur Serigne THIAO et les examinateurs, Docteur Philippe Bernard HIMBANE et Docteur Mamadou Seydou BA.

J’adresse mes remerciements à tous les enseignants de l’université Assane Seck de Ziguinchor, plus particulièrement à ceux de la filière PC qui ont participé à ma formation.

Je remercie également tous les étudiants et doctorants du département de physique. Je tiens également à remercier M. Dioncounda YOCK technicien au département de physique et M. Ali Bassirou BALDE technicien à Ziguinchor (SODIZI).

Mes remerciements aussi à M. Georges Ambouor DIEDHIOU, M. Tessembou BIAYE et M. Omar Kata FAYE pour les soutiens précieux. Mes remerciements aussi à toutes les personnes contractuelles de la SCPL : l’Administration, l’équipe technique, l’équipe de production et les ouvriers y compris.

J’exprime enfin ma gratitude à mes chers parents, amis (es) et à la famille pour leur aide, soutien et encouragements tout au long de mon cursus.

Résumé

L'objectif de ce mémoire de stage est de faire le diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur de la SCPL, SA de Ziguinchor. Dans le but de vérifier la fiabilité du système de contrôle de la température, nous avons, dans un premier temps effectué des tests de diagnostic des différents thermocouples mis en place au sein du gazéificateur. L'analyse de quelques appareils du tableau de commande électrique du gazéificateur, nous a permis aussi d'atteindre nos objectifs. L'étude est portée sur le diagnostic de huit (08) thermocouples ; cependant six (06) ont pu donner des valeurs. Les résultats obtenus des six (06) thermocouples durant les tests de diagnostic ont donné, à l'ambiante, une température de 30 à 30,3 °C et durant les tests sur le brûleur de la chaudière, des températures allant jusqu'à 322 °C ; selon la durée du test (60 minutes). Ce résultat nous oriente vers le tableau électrique du gazéificateur pour chercher le problème lié aux capteurs de température qui ne s'affichaient pas. Ce travail nous a permis de voir que le fonctionnement du système de gazéification dépend des paramètres qui influent sur la production des gaz comme la température. La température affect directement le rendement de la production du gaz de synthèse.

Mots clés : Biomasse, Gaz de synthèse, Gazéification, Température, Thermocouple.

Abstract

The objective of this internship thesis is to make the diagnosis of the temperature control system of the gasifier of the SCPL, SA of Ziguinchor. In order to verify the reliability of the temperature control system, we first carried out diagnostic tests on the various thermocouples installed within the gasifier. The analysis of some devices of the electrical control panel of the gasifier, also allowed us to achieve our objectives. The study is focused on the diagnosis of eight (08) thermocouples; however, six (06) were able to give values. The results obtained from the six (06) thermocouples during the diagnostic tests gave, at ambient temperature, a temperature of 30 to 30.3°C and during the tests on the boiler burner, temperatures of up to 322 °C; depending on the duration of the test (60 minutes). This result directs us to the electrical panel of the gasifier to look for the problem related to the temperature sensors which were not displayed. This work allowed us to see that the operation of the gasification system depends on the parameters that influence the production of gases such as temperature. Temperature directly affects the efficiency of syngas production.

Keywords: Biomass, Syngas, Gasification, Temperature, Thermocouple.

Liste des abréviations

H₂ : Dihydrogène

CO : Monoxyde de carbone

CH₄ : Méthane

CNSL : Cashew Nut Shell Liquid /liquide de noix de coques de cajou (le baume)

GES : Gaz à effet de Serre

SCPL : Société de Commercialisation des Produits Locaux

SODIZI : Société du Domaine Industriel de Ziguinchor

PLC : Programmable Logic Controller

Sommaire

Dédicaces	i
Remerciements.....	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des abréviations.....	v
Sommaire	vi
Listes des figures.....	viii
Liste des tableaux	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
Chapitre 1 : Présentation de la SCPL, SA et de ses activités.....	3
Introduction	4
1-1 Présentation de la SCPL, SA.....	4
1-2 L'organigramme de la SCPL	5
1-3 Les différentes étapes de transformation des noix de cajou.....	7
1-3. 1 Calibrage des noix brutes	7
1-3.2 Cuisson des noix brutes	8
1-3.3 Décorticage	9
1-3.4 Dépelliculage.....	10
1-3.5 Emballage	11
Conclusion.....	12
Chapitre 2 : Méthodes de diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur	13
Introduction	14
2-1. Le système de gazéification	14
2-1.1 Principe du système de gazéification	14
2-1.2 Le processus de la gazéification	16
2-2 Méthodologie de diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur	18
2-2.1 Les outils de diagnostic	18
2-2.1.1 la centrale d'acquisition de données.....	18
2-2.2 Description des thermocouples	19
2-3. Démarche du diagnostic des thermocouples.....	20
2-4. Identification des différents thermocouples du système de gazéification	21
2-5. Analyse des différents thermocouples	22
2-6. Analyse du tableau de commande électrique du gazéificateur	23
2-7. Analyse des différents appareils électriques du tableau de commande	24
2-7.1 Les variateurs de vitesse HLP-A100.....	24
2-7.2 Le système de contrôle, Siemens PLC	25

2-7.3 Appareil d'affichage des températures	26
Conclusion.....	27
Chapitre 3 : Résultats et discussions.....	28
Introduction	29
3-1 Analyse des tests de diagnostic des différents thermocouples.....	29
3-1.1 Test à température ambiante des thermocouples avec la centrale d'acquisition	29
3-1.2 Test des thermocouples avec le brûleur en fonctionnement connecté à la chaudière.....	30
3-2 Analyse du tableau d'affichage électrique	32
3-4 Influence de la température sur le système de gazéification	32
3-5 Les gaz de synthèse produits	33
Conclusion.....	34
CONCLUSION GENERALE.....	35
Références bibliographiques.....	36

Listes des figures

Figure 1.1 : Image du bâtiment de la SCPL.....	5
Figure 1.2 : Organigramme de la SCPL.....	6
Figure 1.3 : Calibreur de la SCPL	8
Figure 1.4 : Cuisson des noix de cajou.....	9
Figure 1.5 : Machines de décorticage	9
Figure 1.6 : Dépelliculage des amandes.....	10
Figure 1.7 : Triage manuel par les femmes.....	11
Figure 1.8 : Emballage	12

Figure 2.1 : Vues de face et de profil du système de gazéification de la SCPL	15
Figure 2.2 : Schéma du processus global du système de gazéification [7].....	17
Figure 2.3 : Gazéificateur de la SCPL, SA.....	17
Figure 2.4 : Centrale ou système d'acquisition de données	19
Figure 2.5 : Structure d'un thermocouple	20
Figure 2.6 : Démontage des thermocouples du gazéificateur	22
Figure 2.7 : Les différents thermocouples du gazéificateur.....	22
Figure 2.8 : Couplage des différents thermocouples	22
Figure 2.9 : Structure du tableau électrique	24
Figure 2.10 : Variateur de vitesse HLP-A100 [15]	25
Figure 2.11 : Automate type PLC (Programmable Logic Controller)	26
Figure 2.12 : Appareil d'inspection de la température des thermocouples.....	26

Figure 3.1 : Tests à température ambiante avec la centrale d'acquisition.....	29
Figure 3.2 : Résultats à température ambiante des thermocouples.....	30
Figure 3.3 : Tests des thermocouples avec brûleur en fonctionnement et la chaudière.....	31
Figure 3.4 : Résultat du thermocouple (TC1) avec le brûleur en fonctionnement.....	31
Figure 3.5 : Premiers résultats du système de gazéification (mardi 20 juillet 2019)	33
Figure 3.6 : Résultats satisfaisants du système de gazéification.....	34

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques simplifiées des thermocouples installées sur le gazéificateur	20
--------------------------------------------------------------------------------------------------	----

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement le monde est en course de développement de nouvelles technologies qui ne cesse d'augmenter chaque année surtout dans le domaine des énergies renouvelables. La biomasse est l'une des sources les plus prometteuses des énergies renouvelables qui peut être utilisée à la fois pour la production d'électricité et de chaleur à partir du gaz [1, 2]. Ainsi, elle peut être référée à des résidus agricoles (coques d'arachide, tiges de mil, coques de cajou...) et végétaux (arbres morts) [3]. La biomasse est une ressource abondante et neutre en carbone. Au Sénégal, elle est disponible presque au niveau des régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda ; en l'occurrence les coques de cajou. Les déchets de biomasse sont des sources d'énergie renouvelable disponibles à grande échelle en Casamance (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda). Ce potentiel de biomasse comme les coques de cajou sont produites chaque année dans les usines de transformations de noix de cajou et pour la plupart les noix sont exportées à l'étranger. En fait, ces usines de transformation peuvent utiliser ces déchets pour la production de chaleur et d'électricité. La gazéification est une technique économique de conversion de toute matière carbonée en un produit gazeux en présence de la chaleur et d'un réactif. En effet, la gazéification de la biomasse conduit à la production d'un gaz de synthèse. Le gaz produit peut-être utiliser pour la production d'énergie thermique ou électrique [2, 4].

Aujourd'hui les usines de transformations des noix de cajou en amandes blanches ou grillées sont de plus en plus nombreuses en Afrique de l'Ouest. Ces produits transformés (amandes) sont essentiellement exportés sur les marchés asiatiques, américains et européens qui exigent le respect de normes et standards internationaux de qualités et de sécurité sanitaire [5]. Cependant, ces unités de transformations produisent énormément de déchets de coques de cajou chaque jour. A l'heure actuelle un potentiel considérable de coques de cajou est produit chaque année au niveau des usines de transformations des noix de cajou plus précisément la SCPL, SA (Société de Commercialisation de Produits Locaux, Société Anonyme) dans la région de Ziguinchor au sud du Sénégal. La SCPL est une société de transformation des noix de cajou basé à la SODIZI (zone industrielle de Ziguinchor). Elle a mis en place un système de gazéification qui fonctionne avec des coques de cajou issues du décorticage de noix après cuisson par les vapeurs issues de la chaudière. Les gaz ainsi produits sont essentiellement constitués de monoxyde de carbone (CO), de dihydrogène (H₂) et de méthane (CH₄) ayant un pouvoir calorifique utilisable dans un système industriel. Cette technologie a une forte valeur ajoutée qui pourrait augmenter l'efficacité de conversion du carbone, à générer un gaz de synthèse [2].

Les coques d'anacarde, résidus de l'étape de décorticage des noix présentent un intérêt particulier en tant que combustible pour la production d'énergie au sein des unités de transformation des noix [6]. Dans les unités de transformation des noix de cajou comme la SCPL, ces déchets sont utilisés pour fournir l'énergie nécessaire aux étapes de fragilisation des noix et de séchage des amandes et aussi peuvent fournir de l'électricité dans toute l'entreprise avec un groupe électrogène présent. La réaction de gazéification est influencée par un certain nombre de paramètres physiques plus particulièrement les paramètres opératoires que sont la température et la pression partielle des agents de gazéification. L'influence de ces paramètres a été constatée dans le système de gazéification de la SPCL, SA ; après un mois de démarrage, le système a été mis en arrêt, vue la présence massive des goudrons de coques de cajou, le non contrôle de la température et les fumées toxiques. Ainsi, l'étude de la température dans le gazéificateur fait l'objet de notre recherche.

Le présent travail porte sur le diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur de la SCPL, SA. Une enquête impliquant des experts sur le système de gazéification nous révèle que la principale cause de défaillance est le système de contrôle de la température. Ainsi, le but de ce mémoire de master est de faire le diagnostic des thermocouples et le tableau de commande électriques. Ce diagnostic nous permettra de connaître le problème de nos différents thermocouples.

Les travaux menés dans ce mémoire de fin d'études sont présentés sur trois chapitres. Le premier chapitre porte sur la présentation de l'usine ainsi le deuxième chapitre sur le diagnostic des différents thermocouples installés et l'analyse du tableau électrique du gazéificateur. Les résultats et discussions sont enfin présentés dans le dernier chapitre. Une conclusion générale fera l'objet d'un résumé des trois chapitres avec des perspectives pour de prochaines études.

Chapitre 1 : Présentation de la SCPL, SA et de ses activités

Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons l'entreprise SCPL, SA en faisant d'abord son historique, avant de présenter son secteur d'activités et la structuration (organigramme). Les différentes étapes de la transformation des noix de cajou sont également détaillées dans ce chapitre.

1-1 Présentation de la SCPL, SA

C'est vers les années 2000 que le GIE Ely Bee a été créé et démarre ses activités de transformations de noix d'anacarde en 2001. Par la suite, en 2004, la Société de Commercialisation de Produits Locaux (SCPL, SARL) a été créée pour s'occuper de la commercialisation des produits transformés par le GIE Ely Bee et des autres unités de transformation. La SCPL, SA aujourd'hui située dans la Zone Industrielle de Ziguinchor (SODIZI) au quartier « Goumel » de Ziguinchor a démarré en 2004 à Boutoute sous le statut de SARL avec 1 615 000 F CFA comme capital social. Depuis sa création, l'entreprise est dirigée par Mr. Papa Elimane DRAME (entrepreneur et technicien supérieur).

La SCPL a commencé ses activités avec la noix de cajou. Elle a par la suite développé d'autres produits comme l'arachide enrobé, la mangue séchée, le nectar de mangue, les biscuits de cajou, les sandwiches de cajou et les pâtes de fruits. Sa mission est de valoriser les produits locaux en favorisant l'insertion des femmes et les personnes handicapées. Vus ses objectifs et sa position dans la région de Ziguinchor, l'entreprise bénéficie en 2006, avec la coopération canadienne, d'une aide pour l'acquisition et l'installation d'équipements modernes d'origine indienne. C'est ainsi qu'elle remporta en 2008 avec IMSEC le prix mondial de planète finance dans la catégorie « MICROFINANCE ET INNOVATION ». Ce prix distingue les projets les plus innovants qui travaillent avec les institutions de micro finance dans le monde. En 2011, la SCPL reprend toutes les activités du GIE Ely Bee, allant de la transformation à la commercialisation du produit fini. Depuis l'année 2019, la SCPL, SA a ouvert son capital et a cédé 50% de ses actions à Canadian Systems International (CSI) qui lui a permis d'élargir son activité avec la construction d'une nouvelle usine de production avec des machines de transformation des noix de cajou et une chaîne de gazéification de la biomasse pour produire la chaleur et l'électricité avec du gaz de synthèse à l'aide des coques de noix de cajou. Aujourd'hui la transformation de noix de cajou reste la principale activité de l'entreprise. Grâce au système de gazéification et aux machines industrielles automatisées installées, la SCPL, SA a maintenant une capacité de 2 400 tonnes dépassant largement sa capacité d'avant qui était de 250 tonnes par an. Le nombre de personnes travaillant dans l'entreprise qui était de 40 dont 80 % de femmes a également augmenté à plus de 100 personnes.

La SCPL, SA emploie actuellement entre 100 à 150 personnes selon le volume d'activités liées aux commandes et à la disponibilité de la matière première. La figure 1.1 ci-après présente le nouveau bâtiment de l'usine, SCPL, SA.



Figure 1.1 : Image du bâtiment de la SCPL

1-2 L'organigramme de la SCPL

La majeure partie des sociétés utilise un organigramme pour représenter la manière dont elles sont structurées. Cet organigramme permet de bien comprendre le fonctionnement de l'entreprise et de s'adresser aux bons interlocuteurs en cas de besoins.

L'organigramme représente donc un schéma des liens hiérarchiques, organisationnels et fonctionnels qui existent au sein de la structure. Quant à la SCPL, S.A, elle est dirigée par un directeur général assisté par son assistante et son (sa) comptable suivi des différentes responsables techniques et de production. Le directeur en tant que chef suprême a pour rôle de diriger son administration et de superviser toutes activités menées dans l'entreprise.

La figure (1.2) ci-dessous illustre l'organigramme de l'entreprise SCPL de Ziguinchor.

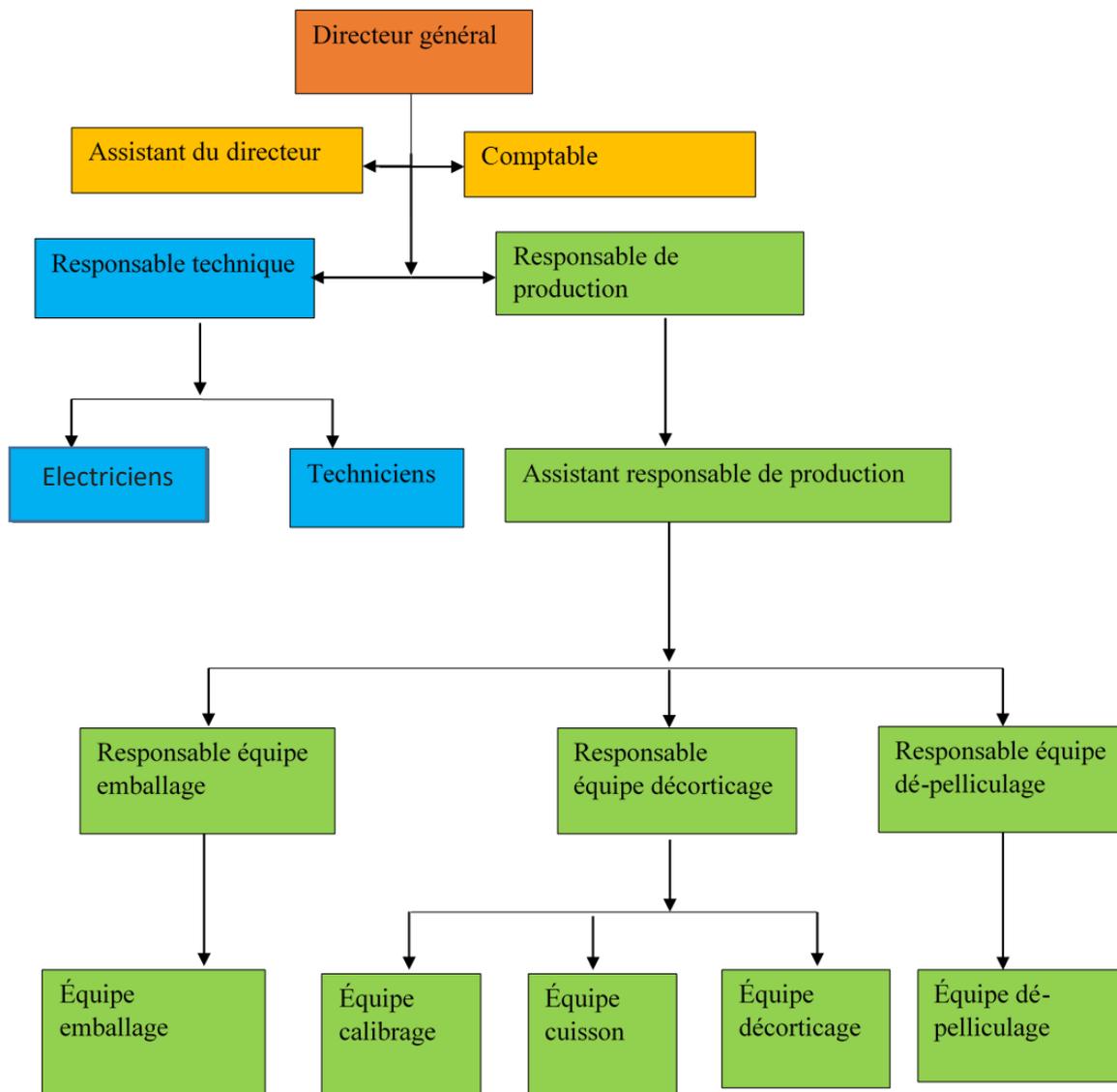


Figure 1.2 : Organigramme de la SCPL

1-3 Les différentes étapes de transformation des noix de cajou

L'importance économique de la filière anacarde est liée au développement du commerce relatif au produit principal : l'amande, qui est commercialisée dans le marché national et international. Cependant, l'amande produit de nos jours, connaît un regain d'intérêt, car de plus en plus consommée localement par les populations. D'ailleurs, les pays en développement ont toujours été encouragés à la transformation locale de leurs ressources, dès que la réalité technico-économique le permette. Mais aujourd'hui, les pays sous-développés s'engagent plus pour stocker les produits bruts qui vont vers les pays en développement en assurant eux-mêmes la transformation du produit avant de l'envoyer sur le marché mondial. La transformation des noix de cajou comprend un ensemble d'opérations assez complexes, à savoir : l'approvisionnement en matières premières, la maîtrise des bonnes pratiques de transformation, la gestion de la qualité et du conditionnement des produits finis. Cette transformation exige ainsi la maîtrise d'un grand nombre de connaissances dont la méconnaissance peut compromettre la réussite de l'entreprise de transformation [5]. Ainsi, les étapes d'une transformation complète des produits de noix de cajou sont réparties comme suit : le calibrage des noix brutes, la cuisson des noix brutes, le décorticage, le dépelliculage et l'emballage.

1-3. 1 Calibrage des noix brutes

C'est la première étape de travail dans ces unités de transformation après l'approvisionnement en matière première. Une fois cette partie bien réussie, le reste du travail est de suivre les différents calibres jusqu'à la fin de la transformation. Les noix de cajou sont triées en fonction de leur taille par des calibreurs et classées au magasin selon le calibre. Les différentes tailles sont retenues pour faciliter la fragilisation (cuisson) au cuiseur avec la chaudière, le décorticage et l'avant classification finale. Une quantité de noix de petite taille, de poussière et d'éléments étrangers sont séparées au cours de l'opération. Cette machine permet d'enlever de la poussière et du sable collé sur les noix brutes.

Dans l'usine de la SCPL, SA, la machine de calibrage sort les noix par catégorie de taille en ordre croissantes D, D1, C1, B2, B1, A2 et A1 (voir la figure 1.3 ci-dessous).



Figure 1.3 : Calibreur de la SCPL

1-3.2 Cuisson des noix brutes

Cette partie de la cuisson est encore appelée étape de fragilisation. Pour la cuisson, il faut une grande quantité de chaleur pour assurer cette étape. Le processus de fragilisation consiste à envoyer la vapeur à l'intérieur du cuiseur (la pression est de 6 à 7 bars). On obtient un ramollissement des amandes et la fragilisation des coques. Le temps de cuisson et la pression sont des conditions à maîtriser pour le rendement en amandes entière au décorticage [5]. Les noix de cajou ainsi cuites à la vapeur sous pression voient leurs décorticages faciles. Donc la vapeur sèche produite par la chaudière (160°C à 170°C) est envoyée directement dans le cuiseur pour la fragilisation des noix de cajou pendant vingt minutes. Après la cuisson, les noix sont ensuite refroidies pendant 24 heures avant décorticage.

La traçabilité du lot est respectée et consignée dans un document ainsi que le calibre de noix fragilisées [5].

La figure 1.4 présente l'image de la chaudière et du cuiseur de la SCPL.



A : La chaudière

B : le cuiseur

Figure 1.4 : Cuisson des noix de cajou

1-3.3 Décortiquage

Le décortiquage est une partie très complexe de la transformation, il faut respecter le calibrage des noix. Les machines sont réglées par rapport aux calibrages faits au départ. Ils sont séparés en deux chaînes et chaque chaîne à des calibres qui lui sont propres. Cette étape consiste à retirer l'amande de la coque. L'amande de cajou est extraite à l'aide d'une machine de décortiquage mécanique comme le montre la figure 1.5 ci-dessous. Les bonnes pratiques de décortiquage et de transformation sont observées et aussi le numéro du lot de calibre est identifié et enregistré.



Figure 1.5 : Machines de décortiquage

Après décortiquage, nous obtenons les amandes qui sont chargées dans le four pour le séchage. Le four prend quatre chariots et chaque chariot prend 45 clés. Au niveau de chaque clé, nous avons 5 kg d'amandes de noix et le séchage est assuré par la vapeur venant de la chaudière. Le séchage est fait pendant 12 heures avec des températures allant jusqu'à 75 °C. Après l'étape de séchage les amandes sont d'abord refroidies à l'air libre avant d'entrer dans la salle.

Elles sont humidifiées pendant 6 heures. Après l'humidification, elles sont laissées dans la salle d'humidification pendant quelques heures avant l'étape de pelliculage.

1-3.4 Dépelliculage

Le dépelliculage consiste à débarrasser l'amande de sa pellicule. Il est effectué par une ligne (chaîne) de machines automatisées. Cette étape est assurée par l'air envoyé par le compresseur dans les tuyaux pour détacher les pellicules des amandes. Mais cette étape est assurée de 70 à 85% (amandes propres) car il y a des pellicules qui sont collées aux amandes, difficiles à enlever. Donc le reste de ce travail est fait à main levée par les groupes de femmes. Ce travail des femmes, le triage n'est pas du tout facile car il faut beaucoup de vigilance et aussi elles doivent être en tenues propres avec gants aux mains pour ne pas infecter les amandes. Le responsable de production-qualité décide des meilleures méthodes en fonction de l'état des amandes. Cette partie constitue déjà une étape de classification des amandes. La figure 1.6 illustre l'image de la dernière machine de la ligne de dépelliculage et aussi des amandes dépelliculées.



A : Machine de dépelliculage

B : Amande blanche

Figure 1.6 : Dépelliculage des amandes

Le produit obtenu après le dépelliculage n'est pas totalement propre et cela demande un autre travail à faire. Les femmes sont chargées de faire le triage des amandes qui ne sont pas totalement dépelliculées par les machines. Ce qui montre que les femmes interviennent de façon prépondérante dans les unités de transformations des noix, car elles sont dans toutes les opérations surtout dans le triage final avant l'emballage des amandes.

C'est par ce travail que les femmes sont payées par kilo d'amandes triées. Le produit sorti du triage des femmes, est toujours protégé par une couverture (dans les fûts) jusqu'à l'emballage.

La figure 1.7 suivante montre des images des femmes au triage manuel (à la main) le travail fait par les femmes.



Figure 1.7 : Triage manuel par les femmes

1-3.5 Emballage

C'est la dernière étape de la transformation des noix de cajou dans les unités. L'emballage est la partie essentielle dans ces unités où les amandes sont traitées avec beaucoup de prudence avant de les mettre dans les sachets et dans les cartons. On assiste, heureusement à une émergence d'opérateurs dans la partie de l'emballage et la commercialisation des produits finis. Ce travail demande plus de professionnalisme et des personnes qualifiées et bien formées. En effet, l'accès à cette partie de l'emballage n'est pas du tout facile et ce n'est pas tous les employeurs qui ont le droit d'y être. L'amande est quelque chose de consommable, donc le travail doit être bien fait en respectant les normes d'hygiène. Le contrôle des lots est effectué par le responsable d'hygiène et qualité. Le conditionnement sous vide permet de conserver efficacement les produits sans perte, car de mauvais conditionnements peuvent ainsi entraîner des pertes énormes d'amandes et compromettre la rentabilité.

Les cartons sont étiquetés avec l'identification des informations requises par le client, voir la figure 1.8 suivante.



Figure 1.8 : Emballage

Conclusion

Ces étapes de la transformation des noix brutes demandent plus de vigilance et le respect des règles d'hygiène que sont l'hygiène corporelle (concerne l'entretien des tenues de travail mais également un ensemble d'instructions sur les comportements à observer et à éviter pour garantir la qualité des produits finis), l'hygiène du matériel de production et l'hygiène de l'environnement du travail. L'application de ces instructions garantit la qualité organique des amandes. Au terme de cette partie de notre étude, le constat est que les unités de transformations utilisent plus d'énergie (80 kW de puissance à la SCPL) pour la transformation des noix ce qui engagent des coûts énormes en termes de ressources naturelles pour la SCPL, SA. Chaque jour, la SCPL décortique 5 à 6 tonnes de noix de cajou brute. Cela a principalement poussé la SCPL.SA à mettre en place un système de gazéification dans son unité de transformation des noix de cajou pour être autonome.

Chapitre 2 : Méthodes de diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur

Introduction

Dans ce chapitre, le travail consiste à déceler le problème des appareils de mesure de températures qui normalement garantissent le bon fonctionnement du système. Pour ce faire, nous aborderons d'abord le descriptif détaillé du système de gazéification au sein de l'unité de transformation des noix de cajou de la SCPL, SA et les processus de fonctionnement avant de passer aux méthodes de diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur. Dans ce diagnostic, nous démarrons par la vérification du câblage des différents thermocouples installés au niveau du système de gazéification, ensuite par le diagnostic des sondes et les capteurs de température dans un système d'acquisition de données. Enfin nous terminons par une analyse générale du tableau de commande électrique du gazéificateur.

2-1. Le système de gazéification

Le système de gazéification est basé sur un procédé économique de conversion thermochimique de toute matière organique en gaz de synthèse. Le système de gazéification permet de convertir le combustible solide (les coques de cajou) en un gaz de synthèse qui une fois au niveau de la chaudière sera brûlé pour produire de la vapeur d'eau et au niveau du groupe électrogène ce gaz sera converti en électricité. D'un point de vue technique, le système de gazéification permet de transformer des combustibles solides hétérogènes en un combustible gazeux homogène et facilement utilisable [4]. Dans ce qui suit, nous expliquons le principe de la gazéification et des différentes étapes de fonctionnement.

2-1.1 Principe du système de gazéification

La gazéification est une transformation thermochimique d'un solide combustible (biomasse) en présence de la chaleur et d'un réactif. Le processus implique des réactions chimiques dans un réacteur (gazogène) où divers processus physiques et chimiques complexes se déroulent [2, 4]. La biomasse utilisée dans le gazéificateur de la SCPL, SA est de la coque de cajou issue du décorticage de la noix de cajou. Le but de ce système de gazéification est de casser les chaînes carbonées contenues dans les coques afin d'obtenir des gaz avec des éléments combustibles tels que le monoxyde d'oxygène [CO], le dihydrogène [H₂] mais aussi des hydrocarbures comme le méthane [CH₄] [4]. L'utilisation de ce système de gazéification va permettre à la SCPL, SA de réduire leurs coûts d'achat par rapport au gazole et leurs factures d'électricité. En outre, la SCPL, SA contribuera à la protection de l'environnement et l'encombrement de l'espace menacé aujourd'hui par ces coques de cajou.

La figure 2.1 met en évidence les différents éléments du système de gazéification au sein de l'unité de transformation des coques de cajou de la SCPL, SA.

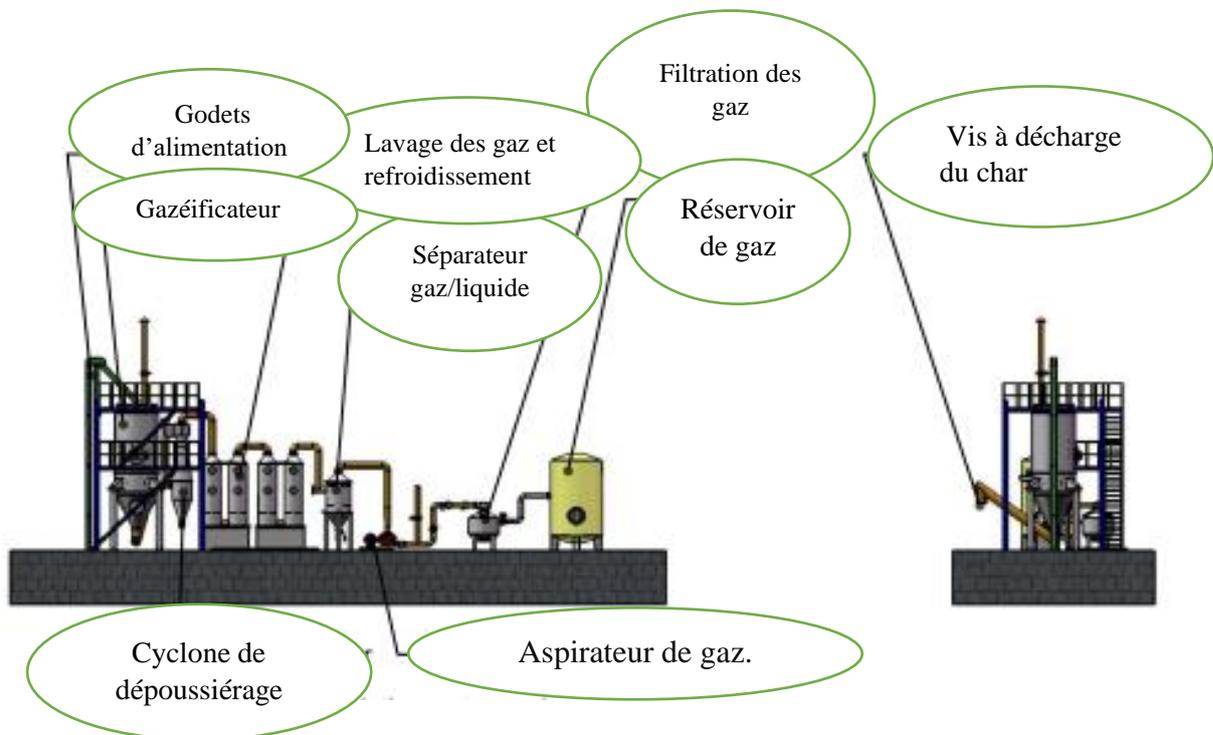


Figure 2.1 : Vues de face et de profil du système de gazéification de la SCPL

Une fois que le réacteur est chargé et que la gazéification des coques de cajou démarre, nous notons une production de gaz chauds et ces derniers sortants du gazéificateur sont aspirés grâce à un moteur appelé Roots compressor fan, en anglais (moteur d'aspiration). Ces gaz de synthèses sont par la suite lavés au niveau des laveurs par l'eau provenant d'une piscine située en partie basse. Le gaz, plus léger, est ensuite séparé de l'eau en passant dans le tuyau de conduit, traversant ainsi le cyclone de stockage tampon. Les gaz de synthèse (syngaz) traversent alors deux filtres avant d'être envoyés au niveau de la chaudière pour une partie et pour l'autre partie au niveau du groupe électrogène (générateur de courant) pour être convertis via un alternateur en électricité qui sera utilisé par les différents appareils de la SCPL, SA. Lors de la gazéification des coques de cajou au niveau du réacteur de gazéification, des thermocouples notés (TC₁, TC₂, TC₃, TC₄, TC₅, TC₆, TC₇ et TC₈) permettent de recueillir les informations de la température nécessaires au bon contrôle du fonctionnement du système gazéification.

2-1.2 Le processus de la gazéification

Le processus de la gazéification se déroule en trois (03) ou quatre (04) principales étapes quand on considère l'étape **oxydation des gaz de pyrolyse** qui se déroule juste après l'étape de pyrolyse. Les trois (03) principales étapes du processus global de la gazéification sont présentées comme suites [7, 8] :

- ✚ **Séchage** : l'eau de la biomasse est éliminée sous forme de vapeur d'eau. Cette étape se déroule à des températures comprises entre 100 et 160 voire 200 °C. Sous l'effet de la chaleur, l'eau contenue dans la matière organique s'évapore. Le séchage des coques de cajou a une influence importante sur les performances du gazéificateur.
- ✚ **Pyrolyse** : la température augmente, la biomasse sèche se décompose en composés organiques, gaz, carbone (char) et goudrons. La pyrolyse constitue la deuxième étape de ce système de gazéification avec des températures allant de 450 jusqu'à environ 800 °C. Sous l'action de la chaleur et en l'absence d'un composé oxydant, les coques de cajou se transforment en gaz incondensables, en vapeurs condensables et en char.
- ✚ **Réduction ou gazéification** : une partie du carbone et goudrons brûlent avec l'oxygène de l'air et produisent ainsi de la chaleur et du dioxyde de carbone. Cette chaleur permet aux autres étapes du processus de gazéification de prendre place. La gazéification de la biomasse de façon générale est une réaction chimique, qui permet de transformer un combustible organique solide en un gaz combustible appelé « syngas » ou gaz de synthèse composé majoritairement de monoxyde de carbone (CO), de dihydrogène (H₂) et du méthane (CH₄). La réaction de gazéification se passe dans des conditions de température très élevées allant jusqu'à 850 à environ 1500 °C.

Le schéma suivant résume le processus global du système de gazéification (voir figure 2.2)

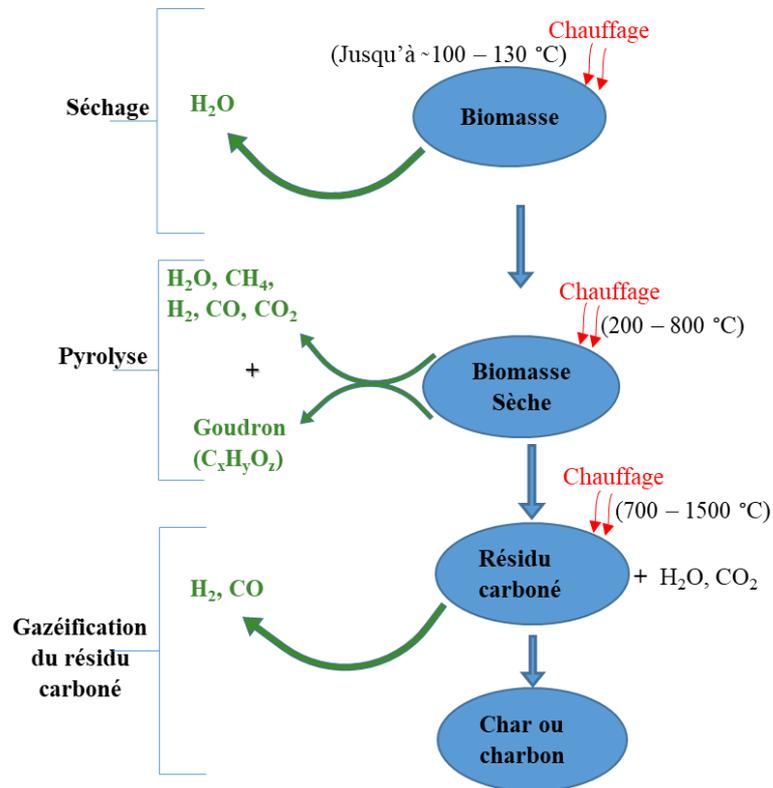


Figure 2.2 : Schéma du processus global du système de gazéification [7]

La figure 2.3 illustre une image du gazéificateur installé à la SCPL, SA.



Figure 2.3 : Gazéificateur de la SCPL, SA

Dans ce système nous avons un moteur qui permet de pomper de l'eau et de la faire circuler entre les deux parois du gazogène (réacteur) pour son refroidissement.

La circulation d'eau au niveau du gazogène va permettre de diminuer la forte température en son sein. La réaction de gazéification est influencée par un certain nombre de paramètres physiques / chimiques tels que la température, la taille des particules et les types des coques, etc. Les études menées sur le système de la gazéification des coques ont montré que la température influe principalement sur la vitesse de conversion des coques, ce qui implique que la vitesse de réaction est une fonction qui dépend de la température opératoire et de la quantité du gaz réactif. Dans un système de gazéification, le contrôle des températures est un facteur très important surtout dans le processus de production des gaz [2].

2-2 Méthodologie de diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur

Le diagnostic est une phase importante pour la détermination de n'importe quel problème rencontré dans un système de fonctionnement industriel. De ce fait, il est toujours nécessaire de procéder à un diagnostic afin de rechercher cette cause. Cette recherche n'est pas aléatoire car pour être efficace, elle doit s'appuyer sur une méthodologie. Dans cette démarche méthodologique, nous allons dans un premier temps définir et caractériser le système d'acquisition de données utilisé de même que les différents thermocouples avant de procéder au diagnostic proprement dit.

2-2.1 Les outils de diagnostic

2-2.1.1 la centrale d'acquisition de données

La centrale d'acquisition de données est un outil de diagnostic des différents thermocouples. En fait comme leur nom l'indique, ce sont des appareils ou des nouvelles technologies utilisés pour recueillir des informations à des temps réels et précis. Dans sa forme la plus simple, la centrale d'acquisition permet de lire les informations des différents capteurs sur son écran d'affichage. Ce système d'acquisition met en avant les composants de conversion analogique-numérique. Il permet à l'opérateur de faire des tests de vérification des différents appareils tout en affichant les informations sur des écrans. De nos jours, la technologie a progressé, ce type de processus a été simplifié et rendu plus précis, polyvalent et fiable grâce à l'équipement électronique. Les systèmes d'acquisition servent à donner des informations à temps réel pour assurer l'optimisation des performances des nouvelles technologies en tant que point focal dans le système, car ils créent un lien entre une grande variété d'applications, telles que les capteurs, les débits, les niveaux ou pression [9].

Le système d'acquisition de données est également une plateforme de tests multitâches utilisée pour le contrôle du fonctionnement des capteurs avec l'écran d'affichage des températures (figure 2.4 ci-dessous).



Figure 2.4 : Centrale ou système d'acquisition de données

2-2.1.2 Le brûleur à biomasse en fonctionnement avec la chaudière

Le brûleur à biomasse nous permet de produire de la vapeur d'eau chaud pour la fragilisation de nos noix brute. En effet l'utilisation du brûleur en fonctionnement dans nos tests de diagnostic va nous permettre de confirmer nos résultats avec la centrale d'acquisition. C'est les deux outils que nous avons pour faire la vérification des différents thermocouples installaient au niveau du réacteur de gazéification. Le brûleur va vérifier l'évolution de la température des thermocouples en fonction du temps.

2-2.2 Description des thermocouples

Un thermocouple est un capteur de température couplé à des sondes et câbles permettant de mesurer la température (voir figure 2.5). Les thermocouples sont largement utilisés dans de nombreuses applications industrielles et scientifiques du fait de leur faible coût, de leurs capacités très élevées et de leur grande variété en types et en tailles.

Ils sont utilisés quasiment dans tous les secteurs industriels, y compris les secteurs de l'énergie, du pétrole, du gaz, biotechnologie, alimentaire et métallurgique [10]. Il existe des centaines de types de thermocouples fabriqués à base de différentes combinaisons de métaux purs et d'alliages, chacun ayant ses propres caractéristiques et ses applications précises. Des lettres permettent d'identifier les différents types de thermocouples.

Les thermocouples installaient sur ce système de gazéification sont des thermocouples de types K et qui peuvent prendre des températures allant de (0 à 1300 °C). Par contre on a des thermocouples de capteur de niveau aussi donc leur température sont moindre par rapport à celle des thermocouples de capteur de températures. Avec l'avancement des nouvelles technologies, ces thermocouples ont une protection spécifique sous la forme d'une tête de

raccordement, d'un tube d'extension ou d'un doigt de gant. L'élément de mesure à l'intérieur du thermocouple prend la mesure de la température et la convertit en un signal électrique.

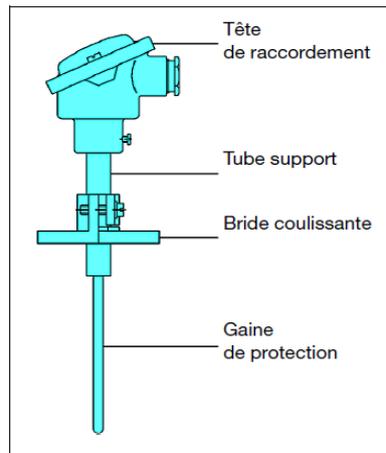


Figure 2.5 : Structure d'un thermocouple

Les thermocouples de type K sont toujours les thermocouples le plus utilisé dans l'industrie. La température maximale se situe vers 1100 °C, mais au-dessus de 800 °C l'oxydation provoque une dérive ; les thermocouples sortent progressivement de sa classe de tolérance. Il est toutefois possible de l'exposer brièvement à 1200 °C et sa table de référence s'étend au-delà de 1300 °C. Les type J sont l'un des rares thermocouples à pouvoir être utilisé sans risque en milieu réducteur. La température maximale en utilisation continue se situe autour de 700 °C, mais la table de référence des thermocouples de type J s'étendent au-delà de 1000 °C [11]. Par contre ces thermocouples utilisent se distingue par rapport à leurs fonctionnements dans le système de la gazéification de la SCPL, voir le tableau 1 suivant.

Tableau 1 : Caractéristiques simplifiées des thermocouples installées sur le gazéificateur

Type	Couple	Usage continue Usage intermittent	Précision (%)	Remarques
Capteurs des températures	Nickel-Aluminium	-180 à 1300 °C	1,5	Bien adapté aux milieux oxydants
Capteurs de niveau	Fer Cuivre-nickel	-180 °C à 750 °C	1,5	Bien adapté en milieux oxydants

2-3. Démarche du diagnostic des thermocouples

En fait pour ce travail, nous avons démonté les sondes de température du système de gazéification afin de vérifier le type de capteur mis en place ainsi que la marque de ce dernier.

En effet, le problème que tente de résoudre l'unité centrale est l'affichage des informations données par les thermocouples, au travers d'un tableau d'affichage.

En ce qui concerne le diagnostic des thermocouples, plusieurs vérifications sont susceptibles d'être faites [12] :

1. Effectuer un diagnostic électronique et relever les codes défauts à l'aide de la centrale d'acquisition ;
2. Vérifier les connecteurs pour découvrir la présence de corrosion ou de connexions desserrées ;
3. Vérifier que le câblage ne soit ni cassé ni endommagé, ce qui serait susceptible de provoquer un court-circuit au sol ;
4. Diagnostiquer les thermocouples pour détecter s'il y a une accumulation de contaminants et si nécessaire, le nettoyer avec un chiffon sec et propre.

Le test de diagnostic des capteurs avec la centrale d'acquisition, nous permettra de connaître le problème des différents capteurs installés dans le système de gazéification.

La méthodologie adoptée consiste dans un premier temps à tester les capteurs à température ambiante, puis d'utiliser le brûleur à biomasse (coques de cajou) connecté au niveau de la chaudière pour avoir un aperçu des performances des différents capteurs.

2-4. Identification des différents thermocouples du système de gazéification

Cette partie nous permet de connaître les différents types de capteurs installés dans le système de gazéifications. Nous avons d'abord démonté tous les capteurs du gazéificateur et ensuite appliquer les étapes 2 et 3 du paragraphe 2-2.3 permettant de vérifier s'ils sont corrosifs ou pas, et/ou endommagés ou pas. Ces capteurs sont dotés d'une tête de raccordement avec une vis intégrée (voir figure 2.6).



Figure 2.6 : Démontage des thermocouples du gazéificateur

2-5. Analyse des différents thermocouples

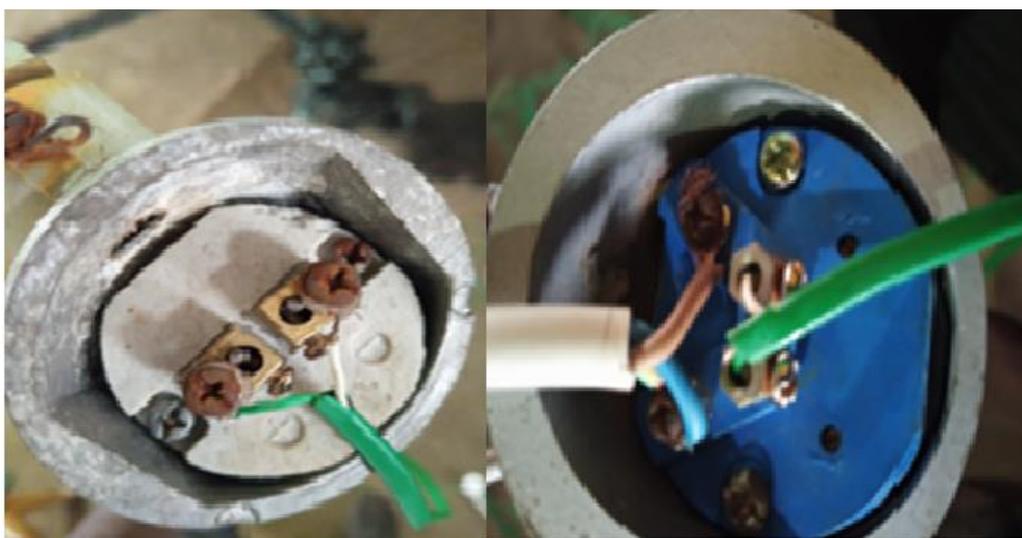
Dans ce système de gazéification nous avons huit (08) thermocouples qui sont installés sur tout le long du gazogène. Ces capteurs contrôlent la température durant les différentes étapes du processus de la gazéification ; ils informent sur les différentes réactions de gazéification liées à la production des gaz de synthèse à l'intérieur du gazogène.

Il existe également des capteurs de niveau permettant de contrôler les différents niveaux de chargement et de déchargement du combustible (coques de cajou) dans le réacteur et les capteurs des températures voire la figure ci-dessous.



Figure 2.7 : Les différents thermocouples du gazéificateur

La différence entre ces capteurs réside sur le fait que les capteurs de température ont deux fils d'alimentations alors que les capteurs de niveaux ont un seul fil d'alimentation. Les images de la figure 2.8 illustrent cette différence au niveau du câblage.



A : capteur de niveau

B : capteur de température

Figure 2.8 : Couplage des différents thermocouples

2-6. Analyse du tableau de commande électrique du gazéificateur

Le tableau de commande électrique sert à la distribution de l'énergie électrique depuis le point d'arrivée jusqu'aux différents équipements utilisateurs. Il est composé d'une enveloppe et d'un ensemble d'éléments dont le rôle est d'assurer la répartition de l'énergie, la protection, et le contrôle de l'installation électrique, en aval [13]. Les fonctions du tableau sont réalisées par un certain nombre de constituants et une architecture particulière. Ce regroupement d'appareillages et d'éléments, tous d'une importance capitale pour le bon fonctionnement de l'application, fait du tableau de commande électrique (basse tension) un élément clé de la distribution électrique. Son bon fonctionnement, dépend de la sécurité et de la disponibilité de l'ensemble de l'installation électrique. L'analyse de ce tableau de commande électrique va nous permettre d'identifier le problème recherché. Le tableau de commande électrique nous donne des informations des thermocouples sur la production du gaz de synthèse et le contrôle du système de fonctionnement du gazéificateur.

Ainsi pour la recherche de la cause principale du problème dans le tableau de commande électrique, nous allons procéder par des vérifications qui suivront la procédure énoncée précédemment (2-2.3) :

1. Analyser les informations données par le système automatisé du gazéificateur ;
2. Analyser les différents appareils à l'intérieur du tableau de commande électrique ;
3. Vérifier le raccordement des différents thermocouples au niveau du tableau d'affichage.

Le tableau de commande électrique, ou l'armoire électrique est indispensable dans le fonctionnement de ce système de gazéification car il commande l'ensemble de son alimentation électrique et les différents circuits. Ce dernier fonctionne donc comme une centrale de distribution du système global ; il assure le fonctionnement, la protection et la sécurité du gazogène (voir figure 2.9).



Figure 2.9 : Structure du tableau électrique

2-7. Analyse des différents appareils électriques du tableau de commande

Dans ce tableau électrique, nous allons essayer d'analyser quelques appareils comme : les variateurs de vitesse, le Programmable Logic Controller (PLC) et l'appareil d'inspections des températures pour identifier le problème majeur rencontré sur le système de gazéification. Ces différents appareils électriques sont des appareils fondamentaux, pour le contrôle du système. Donc l'analyse de ces éléments dans le tableau nous permettra d'identifier le problème cherché par rapport au contrôle de la température dans ce système gazéificateur.

2-7.1 Les variateurs de vitesse HLP-A100

Sur le tableau de commande électrique du gazéificateur, nous avons les variateurs de vitesse (onduleurs) tels les HLP-A100.

Ces variateurs électroniques sont des nouvelles technologies permettant de faire varier la vitesse des moteurs comme le Roots compresseur fan (2-2.1) qui permet d'aspirer les gaz produits et de les envoyer respectivement dans le système de lavage des gaz et dans le système tampon de stockage du gaz. Les variateurs HLP-A100 sont très utilisés dans de nombreuses applications industrielles ; en effet ils interviennent dans plusieurs domaines comme le contrôle de vitesse en boucle ouvert, le contrôle en boucle fermée du processus et la régulation de tension automatique [14]. Les variateurs HLP-100 sont contrôlés avec les panneaux de commande locale. Ils sont utilisés pour modifier les paramètres, surveiller l'état et contrôler le système de fonctionnement du gaz produit. Il existe trois (03) états de fonctionnement du variateur : état HAND, état AUTO et état OFF [15]. Le panneau de commande local (LCP) peut effectuer l'opération de modifications des paramètres, la surveillance de l'état et la commande d'entraînement (démarrage, arrêt).

La figure 2.10 présente l'image du variateur de vitesse HLP-A100 étudiée.



Figure 2.10 : Variateur de vitesse HLP-A100 [15]

2-7.2 Le système de contrôle, Siemens PLC

Le PLC (Programmable Logic Controller en anglais) est une nouvelle technologie de contrôle des appareils, en particulier dans le domaine de l'automatisation d'industrie. Le PLC est un système de mode d'automatisation qui offre une solution unique et évolutive pour assurer une communication sûre et sécurisée entre les appareils permettant d'analyser le bon fonctionnement du système de production des gaz. L'automate programmable PLC vérifie l'état des modules d'entrée et de tout dispositif connecté. Il reçoit les données par l'intermédiaire du module d'entrée, traite les informations qu'il recueille et transmet les solutions à temps réel. Il fournit un excellent rapport de performance, en combinaison avec d'autres appareils, pour donner les résultats au même moment. Cette automate programmable PLC a des modules d'entrée et sortie dans son système de fonctionnement. Les modules d'entrée et sortie sont chargés de connecter les capteurs et les actionner aux automates programmables pour détecter les différents paramètres tels que la pression, les températures et le débit [16]. Les modules d'entrée relient l'automate programmable à des dispositifs sur les équipements comme les capteurs, les détecteurs de niveaux et d'autres appareils. Enfin, les modules de sortie relient l'automate à des dispositifs de sortie comme les relais, les voyants, les vannes et d'autres composants.

La figure 2.11 suivante montre exemple de PLC.



Figure 2.11 : Automate type PLC (Programmable Logic Controller)

Cette automate programmable (PLC) a un tableau de visualisation d'état de contrôle de son processus de fonctionnement. Il envoie des ordres vers les préactionneurs à partir des données d'entrées, de consignes et d'un programme information par traitement séquentiel.

2-7.3 Appareil d'affichage des températures

Cet appareil d'affichage des températures de marque XMD est encore appelé instrument d'inspection des températures. Le rôle principal de cet appareil est d'afficher toutes les informations concernant la température lors de la production des gaz de synthèse. En fait l'objectif de cet appareil est de donner les informations des différents capteurs mis en place dans le système de la gazéification ; elle permet ainsi de surveiller les températures des différents capteurs installés sur le gazogène. Les informations reçues par les capteurs sont transformées et envoyées directement vers l'instrument d'inspection des températures, qui à son tour s'occupe de l'afficher sur le tableau de commande électrique [17].

Les capteurs de température sont directement raccordés sur l'appareil d'affichage de la température par leurs câbles.

Le problème d'affichage des valeurs de la température sur le tableau de commande électrique est le principal objet de notre étude. La figure 2.12 montre l'appareil d'affichage des températures.



A : Appareil

B : Ecran d'affichage des thermocouples

Figure 2.12 : Appareil d'inspection de la température des thermocouples

Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons eu à présenter le principe de fonctionnement du système de gazéification avant de passer aux méthodes de diagnostic des différents appareils liés au système de contrôle de la température dans le gazéificateur. Le système d'acquisition des données des thermocouples et le tableau de commande électrique qui font l'objet de notre étude ont été également présentés. Les résultats ainsi obtenus lors du diagnostic et des tests des différents thermocouples étudiés sont représentés dans le dernier chapitre.

Chapitre 3 : Résultats et discussions

Introduction

Après avoir présenté les méthodes de diagnostic des différents thermocouples installés dans le système de gazéification et l'analyse du tableau de commande électrique, nous allons d'abord, dans ce dernier chapitre présenter les résultats des tests des capteurs de température. Ces résultats portant sur les huit (08) thermocouples étudiés seront discutés. Ainsi l'influence de la température sur le système de gazéification a été évoquée. L'utilité des gaz de synthèse également a été évoquée.

3-1 Analyse des tests de diagnostic des différents thermocouples

Avant le test des thermocouples, nous avons d'abord nettoyés les thermocouples puis vérifié s'ils ne sont pas endommagés ou corrosive. En effet, les huit (8) thermocouples étaient tous installés sur le gazéificateur lors de l'installation du système de gazéification. Pour le diagnostic, nous avons jugé nécessaire de faire deux différents tests sur les thermocouples :

- Le premier test avec la centrale d'acquisition à température ambiante ;
- Et le seconde avec un brûleur à biomasse (des coques) connecter à la chaudière en fonctionnement.

3-1.1 Test à température ambiante des thermocouples avec la centrale d'acquisition

Ce premier test a été réalisé un matin aux environs dix (10) heures, à la température ambiante avec la centre d'acquisition de données. Par ailleurs, ce test est fait en présence de quelques techniciens de la SCPL, SA. La première phase du test consiste à la vérification du cablage des appareils et a aboutit à la conclusion que ces derniers ne sont pas endommagés ni corrodés. En fait ce test des thermocouples donne donc de bons résultats. Ainsi, sur les huit (08) thermocouples testés, six (06) ont donné des valeurs lisibles sur l'écran de la centrale d'acquisition (voir la figure 3.1).



Figure 3.1 : Tests à température ambiante avec la centrale d'acquisition

La figure 3.2 ci-dessous montre la variation des températures des 06 thermocouples à température ambiante.

Nous remarquons bien que ces six thermocouples donnent bien des résultats comparables et lisibles sur la centrale d'acquisition. Les valeurs sont comprises entre 30 et 30,3 °C. Cependant, aucun résultat n'a été lisible pour les thermocouple TC7 et TC8.

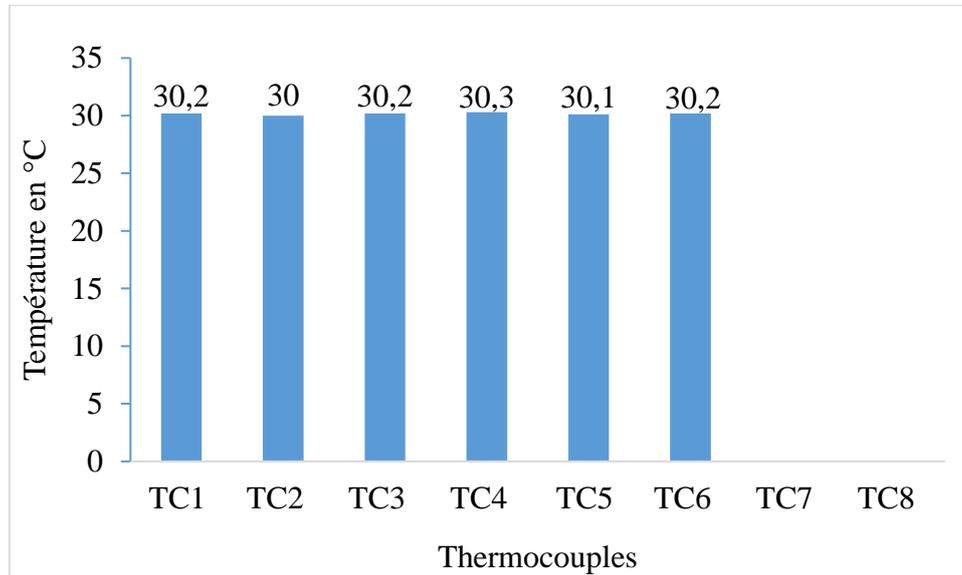


Figure 3.2 : Résultats à température ambiante des thermocouples

3-1.2 Test des thermocouples avec le brûleur en fonctionnement connecté à la chaudière

Dans cette deuxième partie, nous avons effectué les tests des (06) thermocouples du gazéificateur avec le brûleur à biomasse allumé. Ainsi, ce test nous a permis de suivre des variations et l'évolution des différentes températures de nos thermocouples. Ces résultats qui nous permettront de confirmer que ces capteurs n'ont aucun problème de fonctionnement dans le système. Ce test permet aussi, par ailleurs, de prouver que le système d'acquisition utilisé est capable d'afficher des valeurs de la température allant jusqu'au-delà de 322 °C selon la durée du test.

La figure 3.3 montre les travaux effectués avec les thermocouples connectés sur le brûleur à biomasse, logés au niveau de la chaudière à vapeur. Pour ce tests, nous avons placé chaque thermocouple entre le brûleur et la chaudiere pendant une durée d'un heure de temps.



A : Brûleur en fonctionnement de la chaudière **B** : Centrale d'acquisition

Figure 3.3 : Tests des thermocouples avec brûleur en fonctionnement et la chaudière

Ce deuxième test, nous a donné des valeurs satisfaisantes sur l'écran d'affichage du système d'acquisition. Lors de ce test, nous avons bien noté une augmentation de la température avec le temps comme illustré sur la figure 3.4. Les valeurs varient de 53,8 °C à 322 °C. Seuls les six thermocouples qui ont donné un résultat positif lors du test à température ambiante ont été mis à l'œuvre.

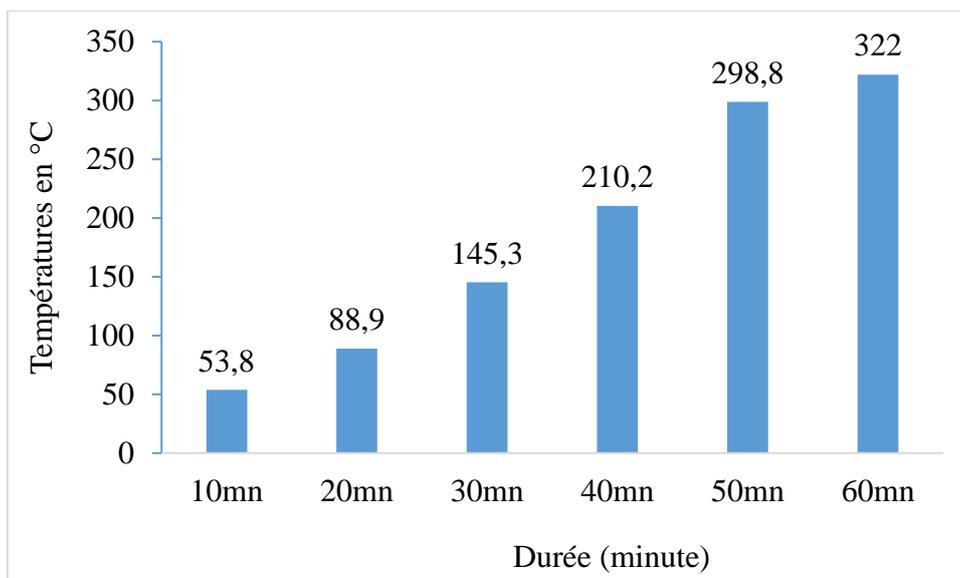


Figure 3.4 : Résultat du thermocouple (TC1) avec le brûleur en fonctionnement

3-2 Analyse du tableau d'affichage électrique

L'analyse des différents tests effectués sur les capteurs et les appareils électriques du tableau, nous ont ainsi permis d'identifier le problème sur le système d'affichage du tableau de commande du gazéificateur. Les différents diagnostics que nous avons mené sur les thermocouples nous rassurent et mettent en confiance sur leurs évolutions. Par ailleurs, cette analyse, a permis de déceler le problème sur l'appareil d'affichage des températures. Ce travail nous permet de conclure que pour effectuer un contrôle complet du système de gazéificateur, il faut que tous les appareils branchés au niveau du tableau de commande électrique fonctionnent en même temps. Nous remarquons bien que lors des tests de gazéification, les températures ne parviennent pas à s'afficher correctement sur le tableau de commande électrique. En effet, la réaction de gazéification ne se fait pas dans la plage de températures désirées (850 – 900 °C), le procédé se faisant ainsi à basse température correspond plus à une pyrolyse lente où la production du charbon et de gaz incondensables est favorisée.

En effet, la pyrolyse rapide à haute température présente un grand intérêt lorsqu'on s'intéresse aux procédés de gazéification, dans lesquels la température et la vitesse de chauffage est élevée. Elle permet également de maximiser les quantités de gaz de synthèse valorisables par plusieurs filières énergétiques. Le problème lié au non affichage de la température, qui est d'ailleurs la principale cause de l'arrêt de l'unité de gazéification de la SCPL, constitue donc un frein à la production d'un gaz de synthèse de qualité capable de faire fonctionner simultanément le groupe électrogène et la chaudière de la SCPL.

La localisation du problème de l'appareil de visualisation des températures sur le tableau de commande étant bien identifié par le présent diagnostic, la SCPL peut ainsi s'atteler à la résolution du problème décelé pour assurer une bonne marche de son système de gazéification.

3-4 Influence de la température sur le système de gazéification

Les observations et les analyses en relation avec le comportement du gazéificateur lors des tests de coques de cajou permettent, dans une première approximation, de juger de la qualité du gaz obtenu. Lorsque la température augmente, la quantité de gaz formée augmente. En effet, l'augmentation de la température favorise le craquage des vapeurs condensables et donc la formation de gaz [18]. Par ailleurs, à basse température, lorsque la vitesse de chauffage augmente, le rendement en gaz diminue. Si la vitesse de chauffage est élevée, on a la formation rapide des gaz, et donc une augmentation rapide de la pression à l'intérieur du réacteur et une expulsion brutale des gaz peut se produire. Afin d'évaluer l'effet de ces paramètres (température et vitesse de chauffage) sur la réactivité des coques de cajou, plusieurs tests ont été effectués sur le gazogène avec des résultats moins satisfaisants sur le gaz produit (voir figure 3.5).



A : Gaz de synthèse obtenu

B : Goudrons sur les tuyaux

Figure 3.5 : Premiers résultats du système de gazéification (mardi 20 juillet 2019)

La qualité du gaz et les propriétés des produits de la pyrolyse diffèrent en fonction des conditions opératoires, en particulier de la température et de la vitesse de chauffage. La vitesse de chauffage est une expression qui prend en compte la température des différentes réactions. La pyrolyse rapide à haute température présente un grand intérêt lorsqu'on s'intéresse aux procédés de gazéification, dans lesquels la température et la vitesse de chauffage sont élevées. Elle permet également de maximiser les quantités de gaz qui, après reformage, pourront former un gaz de synthèse valorisable par plusieurs filières énergétiques [18, 19].

Dans le cadre de nos travaux, la production de gaz est à favoriser, car le but est de produire le maximum de gaz de synthèse pour déclencher le fonctionnement du groupe électrogène et de la chaudière.

3-5 Les gaz de synthèse produits

Dans les réactions de gazéification, la température joue un rôle fondamental sur la production du gaz de synthèse. Le premier résultat obtenu par ce système de gazéification nous a montré l'importance des thermocouples dans le système. Par ailleurs, nous constatons que ce résultat n'est pas tellement satisfaisant. Par la suite, plusieurs essais de gazéification, ont été menés et ont donné des résultats satisfaisants malgré le problème rencontré avec l'appareil de lecture (tableau de commande) des températures. Le char obtenu lors de ces tests, jugé satisfaisant est illustré sur la figure 3.6. Les chars obtenus pourraient être utilisés pour d'autres applications principalement comme combustibles (briquettes de charbon) dans des applications domestiques et industrielles [21]. Ces chars analysés ont ainsi montré une bonne contenance énergétique, comparés au charbon de bois.

Les essais satisfaisants permettent aussi au gazéificateur de produire une quantité importante d'énergie qui pourra être utilisée pour produire de l'électricité via le groupe électrogène mais aussi pour chauffer la chaudière qui produira la vapeur nécessaire à l'unité de cuisson des noix de cajou.



A : Gaz de synthèse produits

B : Chars obtenus

Figure 3.6 : Résultats satisfaisants du système de gazéification

Conclusion

En somme, nous avons présenté les résultats correspondants aux différents tests de vérifications des thermocouples pour le contrôle des températures sur le système de fonctionnement du gazéificateur de la SCPL, SA. Sur ce, nous avons pu analyser le tableau de commande électrique, pour déceler le problème dans le système de contrôle des températures. A l'aide de la centrale d'acquisition de données, nous avons pu faire des tests pour voir l'état des thermocouples installés sur le système. Le travail effectué, ayant donné des résultats satisfaisants sur six (06) thermocouples, nous a ainsi permis de faire l'analyse des différents appareils du tableau de commande électrique. L'analyse du tableau d'affichage du système de gazéification, nous a permis de remarquer que c'est l'appareil d'affichage des températures qui ne permet pas de lire les informations correspondantes aux mesures de températures des différents thermocouples.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce mémoire de stage est de faire le diagnostic du système de contrôle de la température du gazéificateur de la SCPL, SA de Ziguinchor. Les travaux présentés dans ce mémoire traitent de la mise en place d'une méthodologie de diagnostic du système de contrôle des températures du gazéificateur de la SCPL, SA. En effet, le diagnostic constitue un véritable outil d'aide pour l'identification de problème au niveau industriel car dans les unités de valorisation énergétique de la biomasse par la gazéification, la température est incontestablement l'un des paramètres les plus importants à maîtriser ; cette dernière étant liée à la vitesse de chauffage. Elle conditionne en particulier, le degré de conversion de la biomasse en produits solides, liquides et gazeux. Ainsi, si dans le système de gazéification de la biomasse de la SCPL, SA, ces dernières ne s'affichent pas sur le tableau de commande électrique, il serait extrêmement difficile de contrôler le fonctionnement du gazéificateur. Ainsi le bon fonctionnement du système de gazéification dépend de l'appareil de contrôle des températures. L'étude est portée sur le diagnostic de huit (08) thermocouples ; cependant six (06) ont pu donner des valeurs. Les résultats obtenus des six (06) thermocouples durant les tests de diagnostic ont donné, à l'ambiante une température de 30 à 30,3°C et aux tests dans sur le brûleur de la chaudière, des températures allant jusqu'à 322 °C (sur une durée du test de 60 minutes).

En perspectives, vue la quantité de coques de cajou que la SCPL produit chaque jour, il serait intéressant de valoriser ces déchets et non pas les jeter dans l'environnement. La valorisation de ces déchets issus de la transformation des noix de cajou, nous permettra non seulement de lutter contre le réchauffement climatique, mais aussi de protéger notre environnement contre la déforestation par la mise en œuvre d'un combustible alternatif. Le bon fonctionnement du tableau de commande électrique du système de gazéification, permettra à la SCPL de gagner en termes d'énergie (en réalisant des économies), de produire des briquettes de charbon via le char issu de la gazéification mais aussi de créer des emplois dans la région. Ce travail de diagnostic nous permet ainsi de recommander à la SCPL, SA de procéder au changement du tableau de commande électrique mais aussi de procéder au remplacement des deux thermocouples qui n'ont pas pu donner de mesures de température. Cependant, une autre option est toujours possible si jamais le matériel est toujours sous garantie ou que la SCPL dispose d'une convention de maintenance avec le fournisseur, de faire appel à ce dernier pour une maintenance ou modification du tableau de commande électrique.

Références bibliographiques

- [1] Y. L. Zhao, Y. Steinberger, M. Shi, L. P. Han, et G. H. Xie, « Changes in stem composition and harvested produce of sweet sorghum during the period from maturity to a sequence of delayed harvest dates », *Biomass and Bioenergy*, vol. 39, p. 261-273, avr. 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2012.01.020.
- [2] A. Diedhiou, L.-G. Ndiaye, A. Bensakhria, K. A., et O. Sock, *Potentiel de valorisation thermochimique des résidus agricoles et végétaux de la région de la Casamance*. Mersenne, 2014.
- [3] R. Louvel et C. de Gromard, « De la biomasse à la bioéconomie, une stratégie énergétique pour l'Afrique ? », *Afrique contemporaine*, vol. 261-262, n° 1-2, p. 223-240, 2017, doi: 10.3917/afco.261.0223.
- [4] ADEME, « PYROLYSE ET GAZEIFICATION POUR LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE », oct. 2001. [En ligne]. Disponible sur: https://www.econologie.com/file/technologie_energie/Pyrolyse_gazeification.pdf
- [5] SNV_CIR, « LE GUIDE DE LA TRANSFORMATION DE L'ANACARDE AU BURKINA FASO », MINISTÈRE DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE ET DE L'ARTISANAT, Projet d'appui à la commercialisation de mangue séchée et de noix de cajou transformée, nov. 2017.
- [6] A. TALL, « AMELIORATION DES QUALITES COMBUSTIBLES DES COQUES D'ANACARDES PAR L'UTILISATION D'UN ADDITIF METALLIQUE COMPLEXANT LES MOLECULES DU CNSL », Mémoire de Master, INSTITUT INTERNATIONAL D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT (2iE)/BURKINA FASO, 2013.
- [7] M. Mami, « Etude expérimentale et modélisation de la combustion de biocombustibles solides issus de la biomasse lignocellulosique sur lit fixe. », 2021. doi: 10.13140/RG.2.2.19087.71841.
- [8] P. Eranian, « Centrale de gazéification de biomasse à Güssing en Autriche (©EDF-Philippe Eranian)/Gazéification : définition, procédé, principe, enjeux et énergie », 3 juillet 2011. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gazeification> (consulté le 18 juin 2023).
- [9] F. Druillole, *CENBG - DAQ Cours2018 v5 | PDF | Convertisseur analogique-numérique / Capteur/Système h'acquisition ha hnkkéas*. 2018. [En ligne]. Disponible sur: <https://fr.scribd.com/document/507506346/CENBG-DAQ-cours2018-v5-1>

- [10] « Téléchargement Mesure de la température OMEGA _RTD Pt100 OMEGA Engineering ». <https://www.usinenouvelle.com/expo/mesure-de-la-temperature-omega-rtd-pt10-c18415-116003.html> (consulté le 17 juin 2023).
- [11] « Capteurs thermocouples - Premier fabricant de capteurs à thermocouple - TC S.A. » <https://www.tcsa.fr/thermocouples/thermocouples.html> (consulté le 19 juin 2023).
- [12] Delphi Technologies, « Comprendre vos capteurs : le capteur de température des gaz d'échappement », *Default*. <https://www.delphiautoparts.com/fr-fr/centre-de-documentation/article/comprendre-vos-capteurs-le-capteur-de-temperature-des-gaz-dechappement> (consulté le 19 juin 2023).
- [13] DOCPLAYER, « ETUDE AU DIAGNOSTIC ET A LA MAINTENANCE DES TABLEAUX ELECTRIQUES. - PDF Free Download », 14 novembre 2010. <https://docplayer.fr/31192612-Etude-au-diagnostic-et-a-la-maintenance-des-tableaux-electriques.html> (consulté le 19 juin 2023).
- [14] A. Soualhi, « Du diagnostic au pronostic de pannes des entraînements électriques », PhD Thesis, Université Claude Bernard-Lyon I, 2013.
- [15] HLOPI, « HLP-A100 Series General Drive-Standard Drive-Zhejiang Holip Electronic Technology Co., Ltd. » <https://www.jslingyue.com/en/cpxq/245.html> (consulté le 18 juin 2023).
- [16] IP SYSTEMES, « Qu'est ce qu'un automate programmable industriel ? », *IP SYSTEMES*, 04 2021. <https://www.ip-systemes.com/details-qu+est+ce+qu+un+automate+programmable+industriel+-772.html> (consulté le 19 juin 2023).
- [17] S7-200, *Automate programmable S7-200 Manuel système*, 08/2008 A5E00307988--04. 2008. [En ligne]. Disponible sur: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/582/1109582/att_22064/v1/s7200_system_manual_fr-FR.pdf
- [18] PNUD, « Promotion de la production durable de biomasse électricité au Bénin », 2017. [En ligne]. Disponible sur: <https://info.undp.org/docs/pdc/Documents/BEN/Pro%20Doc%20Biomass.pdf>
- [19] C. Couhert, « Pyrolyse flash à haute température de la biomasse ligno-cellulosique et de ses composés: production de gaz de synthèse », PhD Thesis, École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007.
- [20] T. Godjo, J.-P. Tagutchou, P. Naquin, et R. Gourdon, « Valorisation des coques d'anacarde par pyrolyse au Bénin », *Environnement, Ingénierie & Développement*, vol.

N°70-novembre 2015, p. 11-18, janv. 2015, doi: 10.4267/dechets-sciences-techniques.3282.

[21] P. Girard, « Les voies thermochimiques classiques », 1997, [En ligne]. Disponible sur: <https://agritrop.cirad.fr/391173/1/ID391173.pdf>