

**EFFICACITE ENERGETIQUE DES
CHAUDIERES DE L'UNITE AGRICOLE
INTEGREE DE ZUENOULA (PRODUCTION
D'ENERGIE)**

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE
L'ENVIRONNEMENT**

OPTION : ENERGIE et GENIE DES PROCEDES INDUSTRIELS, FROIDS

Présenté et soutenu publiquement en juin 2012 par :

N'DE Atsey Jean - Marc

Travaux dirigés par : **Pr. COULIBALY Yezouma**, Chef UTER-GEI-Fondation ZiE

M. KOUAME Désiré, Chef Service production énergie-SUCRIVOIRE

Promotion [2011/2012]

REMERCIEMENTS/ DEDICACES

Je rends grâce à Dieu et dédie ce travail :

A mes parents, pour leurs soutien inconditionnels et de leurs précieux conseils.

A mes frères et sœurs et amis

A toute la promotion 2011-2012 de la fondation 2IE

A tous les enseignants qui ont contribués à notre formation

Nous exprimons notre sincères remerciements tous les personnes qui, de près ou de loin de par leur actes ou conseils, ont contribué à la réalisation de ce projet.

- ✓ En l'occurrence Pr COULIBALY Yezouma, pour son encadrement tout le long de ce mémoire, au Dr. FRANCIS SEMPORE, au Dr AZOUMAH Yao et Dr PABYAM Sido.

Nous remercions également :

- ✓ M.AKPAGNI, Directeur de l'Unité Agricole Intégré de Zuenoula
- ✓ M.OUATTARA EHOURLAN, Directeur de l'Usine, pour nous avoir acceptés au sein de ce département pour ce stage.
- ✓ M.KOUAME Désiré, notre maître de stage, pour sa disponibilité et pour ces conseils fructueux.
- ✓ M.YAO YAO Gaoussou, Chef de service technique de l'Unité Agricole Intégrée de Zuenoula, pour son aide inestimable.
- ✓ M. Antoine BAYLI, pour soutien et conseils dans la réalisation de ce mémoire
- ✓ A tous les travailleurs de l'UAI

RESUME

La production d'énergie reste au cœur de toutes les préoccupations dans les industries sucrières en Afrique. Particulièrement en Côte d'Ivoire, l'industrie sucrière se trouve confrontée à plusieurs problèmes liés à la faible efficacité énergétique des procédés, la maîtrise de l'énergie dans l'usine et la valorisation des déchets industriels^[19].

Le présent rapport portant sur << l'efficacité énergétique des chaudières de l'unité agricole intégrée de ZUENOULA >> présente le bilan énergétique des installations de l'usine (allant de la bagasse à la production de vapeur), des solutions techniques pour optimiser sa capacité production de vapeur, ainsi que des voies d'économie d'énergie dans les procédés, et de la valorisation des résidus issus des procédés tels que la mélasse et les cendres.

Ce projet réalisé au sein de l'unité agricole intégrée de ZUENOULA>>, Nous a permis de quantifier les pertes thermiques au niveau des chaudières. Ensuite, proposés des solutions en vue d'optimiser la production de vapeur de la chaufferie. Enfin, nous avons proposé la valorisation de la mélasse issus du procédé de fabrication du sucre en biogaz ainsi les cendres de la combustion comme amendements.

Mots Clés :

1 – Efficacité énergétique

2 - Biogaz

3 - Bagasse

4 - Mélasse

ABSTRACT

Energy generation stays in the heart of materials cares in African sugar industries. Particularly, in Ivory Coast, sugar industry is confronted with several problems due to low energy efficacy of process, the control of energy in the factory and valorization of industrial waste^[19].

This report covers << energy efficiency of boilers in the farm of Zuenoula >>, it presents the energy assessment of plant facilities (ranging from *sugar residu* to steam producing), technical solutions to optimize steam production, as well as ways of saving energy in process, and recovery of residues from synthesize such as ash and molasses. Thus, we propose to quantify the heat loss of boilers within the farm unit of Zuenoula.

We also propose solutions to optimize the production of steam from the boiler. Finally, we proposed the development of value-adding of ashes and molasses from the production of sugar.

Key words:

1 - Energy efficacy

2 - Biogas

3 - Treacle

4 - Bagass

LISTE DES ABREVIATIONS

Ø : Diamètre

CO₂ : Dioxyde de carbone

GES : Gaz à effet de Serre

H₂O : eau

kcal : Kilocalorie

kg : Kilogramme

KW : Kilowatt

kWh : Kilowatt heure

MDP : Mécanisme pour le Développement propre

MJ : Mégajoules

max : maximum

min : minimum

mm CE : millimètre de colonne d'eau

MW : Mégawatt

N₂ : Azote

Nm³ : Normal mètre cube

O₂ : Oxygène

PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

TeqCO₂ : Tonne équivalent Carbone

Tfh : Tonne Fibre heure

TRI : Temps de Retour sur Investissement

UAI : Unité Agricole Intégrée

VA : Pouvoir comburivore en combustion avec excès d'air

VA° : Pouvoir comburivore en combustion stœchiométrique

VF : Pouvoir fumigène sec

VFH : Pouvoir fumigène humide

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristique chimique de l'eau de la chaudière

Tableau 2 : récapitulatif du tonnage de canne broyée et bagasse produite

Tableau 3 : bilan de matière de la combustion

Tableau 4 : débits massiques et enthalpies de la vapeur d'eau

Tableau 5 : Calculs des puissances thermiques mises en jeu lors de combustion.

Tableau 6 : Calculs des pertes de charge

Tableau 7 : Configuration initiale du système

Tableau 8 : Configuration pour l'optimisation du système

Tableau 9 : Etude technico-économique de l'installation d'un shredder à vapeur

Tableau 10 : Diamètres des moulins recommandés

Tableau 11 : Diamètre des moulins après mesure

Tableau 12 : Etude technico-économique amélioration des conditions de fonctionnement des moulins et du réseau vapeur de l'usine.

Tableau 13 : caractéristique chimique de la mélasse

Tableau 14 : Etude technico-économique de la valorisation de la mélasse

LISTE DES FIGURES

Figure 1 Organigramme de l'UAI de Zuenoula

Figure2 : Bilan massique du ballon de stockage de vapeur surchauffée

Figure 3 : consommation moyenne journalière de vapeur

Figure 4 : Bilan énergétique global de matière par tonne de cannes broyée

Figure 5 : Bilan massique de l'installation du shredder

Figure 6 : Structure des moulins

Figure 7 : Panne pour de l'usine la campagne 2011-2012

Figure 8 :Composition du biogaz

SOMMAIRE

DEDICASES.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT.....	iv.
LISTE DES ABREVIATIONS.....	vi.
LISTE DES TABLEAUX.....	2.
LISTE DES FIGURES.....	3.
I. INTRODUCTION.....	9
II. OBJECTIFS DU TRAVAIL.....	12
III. MATERIELS ET METHODES	13
IV. RESULTATS.....	19
V. DISCUSSION ET ANALYSES.....	35
VI. RECOMMANDATIONS.....	37
VII. CONCLUSION ET PERCEPTIVES.....	38
VIII. BIBLIOGRAPHIES	39
IX. ANNEXES.....	40

I. INTRODUCTION GENARALE

I-1. Contexte

La production de la vapeur occupe une place essentielle dans les entreprises sucrières, car la vapeur est un moyen facile de transporter de très grandes quantités d'énergie. L'énergie de la vapeur est utilisée dans tout le processus de transformation, de fabrication dans les entreprises agroalimentaires comme l'unité agricole intégrée de zuenoula. Cependant, les centrales industrielles de production de vapeur peuvent être relativement complexes.

Pendant le processus de production d'énergie, il y'a d'énormes pertes thermiques (dans les canalisations et les procédés), qui diminuent les performances énergétiques de l'entreprise.

Face à cette situation, un bilan énergétique devient incontournable.

I.2. Présentation de la structure d'accueil

Notre stage, pour ce mémoire de fin d'études, s'est déroulé au sein de SUCRIVOIRE, à l'usine de l'unité agricole intégrée de Zuenoula, plus particulièrement au service production énergie.

SUCRIVOIRE, filiale du groupe SIFCA est une société basée à Abidjan. Elle compte deux complexes agroindustriels à Borotou et Zuenoula. Elle a fait son entrée dans le groupe SIFCA en 1997, suite à la privatisation de l'ex société d'Etat SODESUCRE.

SUCRIVOIRE possède 11 000 hectares de plantations industrielles de canne à sucre et 2 unités industrielles de production de sucre de canne d'une capacité nominale de 100 000 T/An.

SUCRIVOIRE développe des activités dans l'exploitation de plantations de canne à sucre, production et commercialisation de sucre de canne. SUCRIVOIRE aimerait valoriser de manière efficace la bagasse de canne à sucre dans la perspective de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

L'équipe dynamique de l'usine de l'UAI de Zuenoula, est composée à ce jour de plusieurs membres ; représentés dans le diagramme ci-dessous.

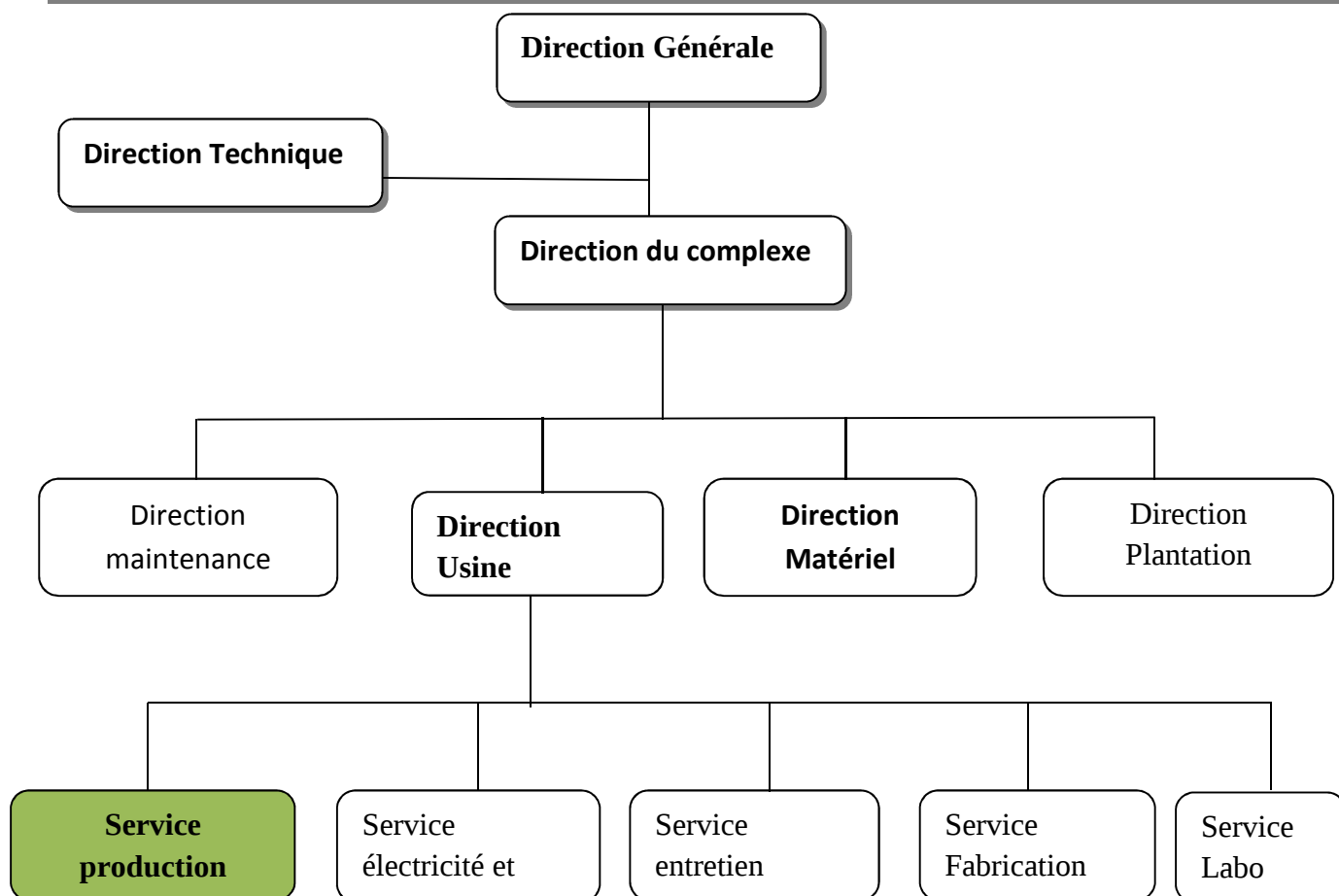


Figure 1 Organigramme de l'UAI de Zuenoula

I-3- Problématique

SUCRIVOIRE a pour objectif de rentabiliser efficacement ses consommations énergétiques. Cependant, cette entreprise est confrontée à certains problèmes de maîtrise d'énergie (mauvais calorifugeage de tout le réseau vapeur, vieillissement de tous les équipements ...), qui influencent énormément sur son taux d'indépendance énergétique vis-à-vis de la CIE.

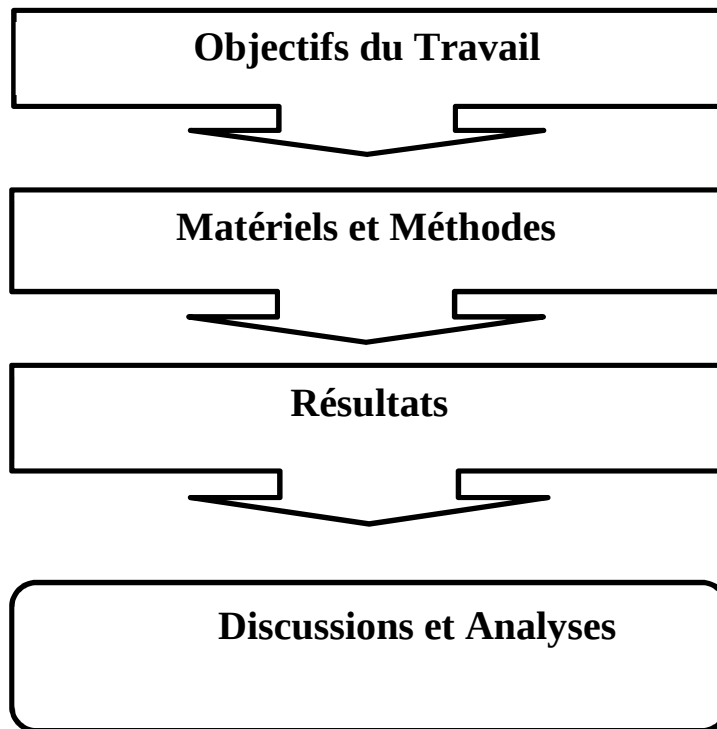
C'est dans cette optique que les responsables du service production énergie de l'UAI de Zuenoula, ont opté pour une étude approfondie sur la production de la vapeur et pour une proposition de solutions exploitables en vue d'améliorer cette production.

Ainsi, le travail soumis à notre appréciation consiste à :

- Faire le Bilan énergétique complet, évaluer les pertes thermiques et les pertes de charge des réseaux de fluide de l'usine.
- Proposer des solutions pour optimiser la combustion pour améliorer le rendement des chaudières.
- Evaluer le potentiel d'économies d'énergies et proposer des solutions pour la valorisation des résidus industriels.

I.4 - Méthodologie de travail

Afin de mener à bien notre travail, le présent rapport comporte, outre l'introduction et les annexes, quatre parties qui sont les suivantes :



II. OBJECTIFS DU TRAVAIL

Afin de répondre au cahier de charge notre présent rapport aura pour objectif d'évaluer le bilan énergétique des chaudières de l'usine de l'unité agricole intégrée de Zuenoula et ensuite proposé des solutions exploitables pour optimiser la consommation énergétique dans les procédés. Il s'agit pour nous ici :

- Faire le bilan énergétique de l'usine (**depuis la bagasse jusqu' à la production de la vapeur**).
- Proposer des solutions en vue d'optimiser la capacité de production de vapeur.
- proposer des solutions d'économie d'énergie.
- Valoriser les résidus industriels (**mélasse et Cendres volantes des chaudières**) dans les procédés.

III. MATERIELS ET METHODES

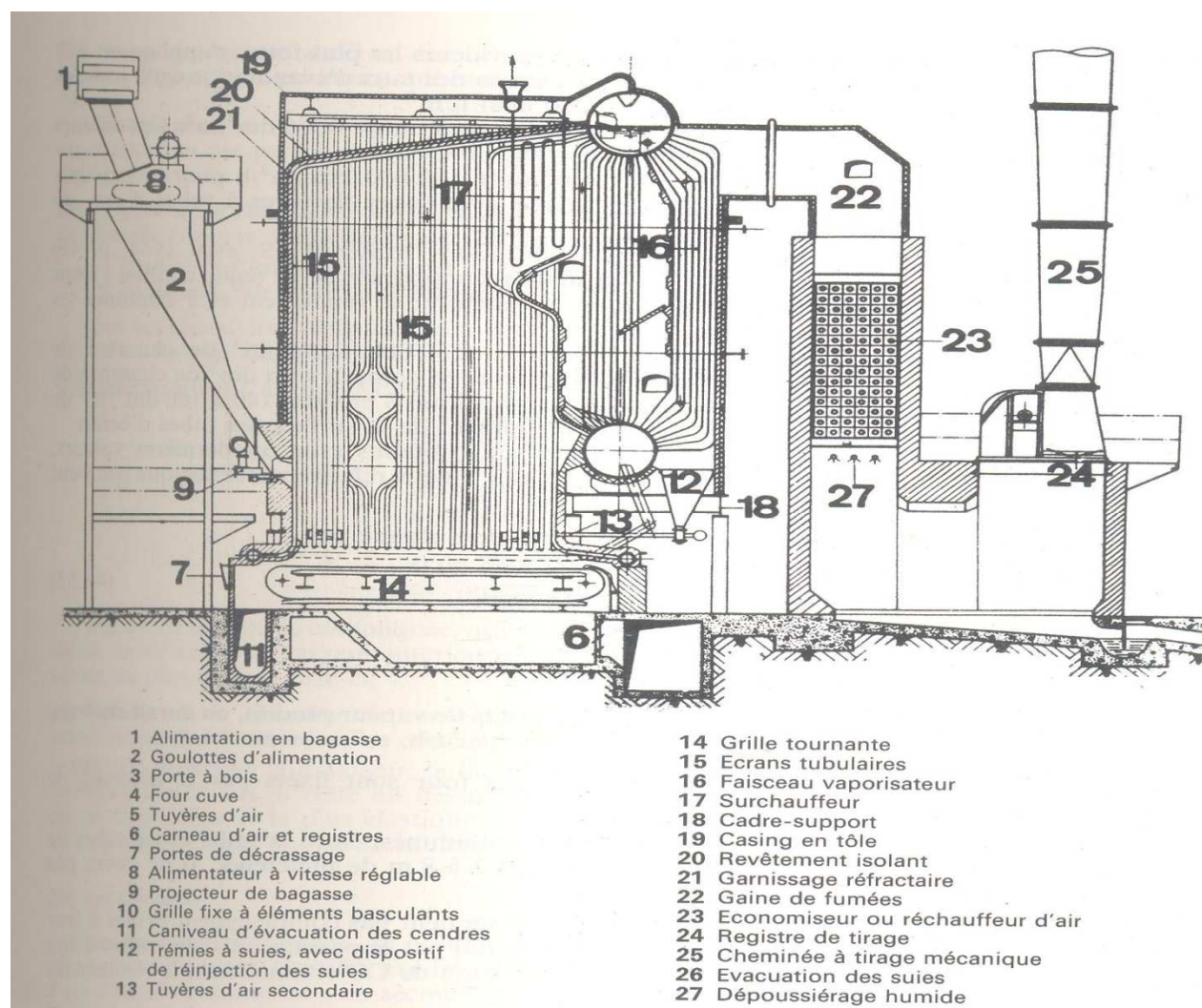
A. Description de la chaudière (source : document d'installation des chaudières de l'UAI).

L'unité agricole intégrée de Zuenoula comprend deux chaudières à bagasse de type **DENAEYER**, chacune de capacité de 65 T/h de vapeur avec des caractéristiques suivante :

Pression sortie surchauffeur : 29 bars effectifs

Température vapeur surchauffeur : 380°C

1. Eléments principaux de la chaudière.



➤ Les ventilateurs

La chaudière est équipée des ventilateurs suivants :

- 1 ventilateur de soufflage d'air sous grille.
- 1 ventilateur d'air de combustion fuel- oil commun aux deux brûleurs
- 1 ventilateur d'air de distribution dans les 6 alimentateurs.
- 1 ventilateur d'air de turbulence.
- 1 ventilateur de tirage.

2. Eaux de la chaudière

La qualité de l'eau joue un rôle primordial dans le bon fonctionnement de la chaudière. Il est indispensable de contrôler régulièrement ces caractéristiques et veiller à ce qu'elles restent conformes aux spécifications requises.

L'eau des chaudières de l'UAI est de l'eau circulant à l'intérieur du générateur .cette eau provient de la bache alimentaire est constitué généralement d'un mélange d'appoint (eaux traitée : qui ne contient calcium, ni du magnésium) et de retour (vapeur condensée retournée dans le circuit d'eau d'alimentation). Le traitement de l'eau de la chaudière se faire par différentes étapes (**voir annexe III**).

pH	10,5 - 11,5
Titre Alcalimétrique (TA)	8 - 15 f°
Titre Alcalimétrique Complet (TAC)	< 2 TA
Phosphate	30 - 50 mg/l
Silice	< 40 mg/l
Sulfite de sodium	10 - 30 mg/l
SiO ₂ /TAC	< 1
TA/TAC	> 0,5

Tableau 1 : Caractéristique chimique de l'eau de la chaudière

3- Schéma synoptique des chaudières (commun aux deux chaudières)

La chaudière à tubes d'eau produit de la vapeur surchauffée, utilisée dans deux réseaux vapeur en régulation de pression.

L'air de combustion, alimenté en débits par une soufflante, est régulé en excès d'air (boucle ouverte). Elle est équipée de tubes d'eau reliant les ballons inférieur et supérieur, dans lesquels est produite la vapeur, d'un économiseur, échangeur permettant de préchauffer l'eau d'appoint en refroidissant les fumées, et d'un surchauffeur vapeur dans la zone radiante (schéma voir annexe.

B. Bilan énergétique des installations (allant de la bagasse à la production de vapeur)

Cette partie de notre étude vise à établir le bilan des consommations énergétiques, depuis la bagasse à la production de vapeur. De plus ensemble des données utilisées pour notre étude sont issues des bulletins de suivi de consommation et de production d'énergie. Ce sont des valeurs moyennes de consommation et production d'énergie durant la campagne 2011-2012.

Il constitue les points qui suivant :

- ❖ Broyage

A ce niveau, nous avons pris le tonnage moyen et comme mois de référence le mois de mars 2012. Cette partie de l'usine est composé de coupe canne (**ébaucheur, tronçonneur et finisseur**) et de cinq (05) moulins.

- ❖ Combustion : Les deux chaudières

- ❖ Unité de stockage de vapeur surchauffée : Barillet

1. Evaluation des pertes.au niveau la combustion et du réseau de vapeur

Cette partie consistera à évaluer les pertes de la combustion et dans le réseau de vapeur, proposer des solutions pour réduire ces pertes ainsi que des propositions pour amélioration de manière significatif le rendement des chaudières et le réseau de vapeur.

1.1. Evaluation des pertes thermiques au niveau de la chaudière

Il s'agit des pertes issues de la combustion et que l'on peut rencontrer:

- Pertes par chaleur sensible des fumées
- Pertes par imbrulés
- Perte par chaleur sensible des mâchefers
- Pertes par les parois (rayonnement et convection du corps de la chaudière).

1.2 .Evaluation des pertes de charge du réseau de vapeur

Il s'agit pour nous d'évaluer les pertes des charges linéaires et singulières du réseau vapeur. La formule de calcul utilisée est celle de **COLEBROOK** ^[3] décrit de la manière suivante :

Principe de la méthode de calcul de Colebrook et marche à suivre est la suivante :.

La perte de charge ΔP est donné par la formule suivante : $\Delta P = JL\omega / 10\ 000$ dans laquelle

ΔP : perte de charge cherchée en kg/cm^2

L : longueur droite fictive de la tuyauterie en m

ω : poids spécifique du fluide dans les conditions de température et de pression de l'écoulement en kg/m^3

J : coefficient donné par l'abaque

Pour déterminer ce coefficient J au moyen de l'abaque, il faut connaître au préalable le diamètre D de la tuyauterie, la nature et l'état de sa face interne, ainsi que la vitesse et le nombre de Reynolds **Re** caractérisant l'écoulement. Nous indiquons ci-dessous les moyens pratiques pour déterminer ces quatre paramètres d'entrée.

1.2.1. Détermination des paramètres d'entrée

- Diamètre intérieur de la tuyauterie (en mm). Tenir compte des dépôts éventuels qui réduiront ce diamètre dans le temps.
- Nature et état de la face interne
- Vitesse (en m/s). elle peut se calculer par la formule suivante :

$$V = 353,7 \ q / D^2$$

- Nombre de Reynolds = $1000 \ VD / \nu$; avec ν (viscosité cinématique) = $1000 \ \mu / \omega$

- Poids spécifique réel (en kg/m^3)

1.2.2. Détermination du coefficient J

Le coefficient J se détermine au moyen de l'abaque de Colebrook

2- Optimisation de la production de vapeur

Dans cette seconde partie, nous proposerons une solution de préparation de la bagasse et l'air pour la combustion en vue d'améliorer le rendement des chaudières.

3- Diagnostic de performance d'usine

Les chaudières doivent faire objet de contrôles réguliers afin de veiller à leur bon fonctionnement et leur efficacité énergétiques. Cette étude permettra d'évaluer les pistes qui nous permettront d'améliorer le rendement des chaudières.

Cela s'est fait par étapes :

- ✓ Une visite préliminaire sur le terrain (fréquence des problèmes durant la campagne 2001-2012).
- ✓ Identifié les processus de gaspillage d'énergie.
- ✓ Relevé ou mesure des paramètres.

B- Proposition des solutions d'économie d'énergie en vue d'accroître notre indépendance en énergie. .

4 .Valorisation de la mélasse en vue d'accroître notre indépendance en énergie et le taux de cendre.

Les sous-produits de l'industrie sucrière représentent la majeure partie de ce gisement. ». Ainsi, la mélasse « peut être valorisé en biogaz. Pour la production électricité. >> .Les cendres de la bagasse, « bien qu'étant un produit minéral et non pas organique, peuvent être utilisées en agriculture en tant qu'amendement calcique, engrais phosphorique et potassique.

4.1. Valorisation de la mélasse en biogaz

La valorisation de la mélasse en biogaz destiné, fait objet d'étude et de recherche. Le taux d'indépendance de l'énergie de l'UAI pour la campagne 2011-2012 est de **86 %**, et le reste est fourni par la CIE (compagnie ivoirienne d'électricité). Nous avons rencontré le service laboratoire et il ressort que la quantité de mélasse obtenue en fin de fabrication de sucre est de **4.32%** du tonnage de canne broyée. C'est un gisement très important pour réaliser des économies d'énergies. En effet, il est obtenu environ 228 m³ de biogaz par tonne de matière fraîche de mélasse^[10]. Nous essayerons à partir des mélasses d'évaluer la quantité et les coûts de production de biogaz, et de valorisation de ce biogaz en électricité.

4.2. Valorisation de cendres issues de la combustion

Les observations sur les cultures et les analyses de sols ont montré que l'efficacité des apports de cendres est réelle. Ces cendres sont issues de la combustion à 1100°C de la bagasse. Dans notre étude, nous essayerons de définir l'intérêt de valoriser ces cendres volantes.

5. Etudes environnementales

Dans cette partie il s'agira d'évaluer la quantité de CO₂ économiser ou émis dans l'environnement par la valorisation de ces résidus issus des procédés de l'UAI.

IV. RESULTATS

A. Bilan énergétique (depuis la bagasse à production de vapeur)

1. Broyage : Cette unité est composée de deux partir à savoir

- La coupe- canne dont le rôle est de défibrer la canne provenant du champ et cinq (05) moulins pour Extraction du jus de canne.

		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
Semaine 1	cannes broyées	1 371	0	1 314	4 157,00	4 204	4 254	2 404
	Bagasse	413	0	481	1 411	1 307	1 295	816
Semaine 2	cannes broyées	4023	4035	1815	3800	3907	3456	3550
	Bagasse	1212	1345	613	1335	1260	1110	1130
semaine 3	cannes broyées	735	2918	3907	3946	3234	3652	3037
	Bagasse	236	936	1232	1258	1027	1105	925
Semaine 4	cannes broyées	1686	0	2211	3814	3800	3770	2170
	Bagasse	517	0	699	1238	1199	1222	714
						Canne broyée en moyenne	2 798.97	
						Bagasse en moyenne	897.7931	

Unité: valeurs exprimées en T/J

Tableau 2 : récapitulatif du tonnage de canne broyée et bagasse produite

Nous observons en moyenne **2 798.97 T/J** de canne broyée, pour un objectif de **3250T/J** (source : laboratoire de l'UAI) soit un manque à gagner de **451.03 T/J**. Cela est dû à l'arrêt temporaire (un Arrêt broyage pour entretien périodique du deuxième jour de la première et dernière semaine du mois de mars).

2. Combustion

2.1. Calcul du pouvoir calorifique inférieur (PCI)

Le PCI de la bagasse se détermine par la formule par la suivante :

$$\text{PCI} = 4250 - 12\% \text{taux de sucre bagasse} - 4850\% \text{taux d'humidité bagasse}$$

Source : Direction de l'usine (service production)

A.N : % taux de sucre bagasse = **2.43** ; % taux d'humidité bagasse = **51.50**

D' où **PCI = 1752 kcal/kg** soit **7.323 MJ/kg**

2.2.Bilan de matière de la combustion

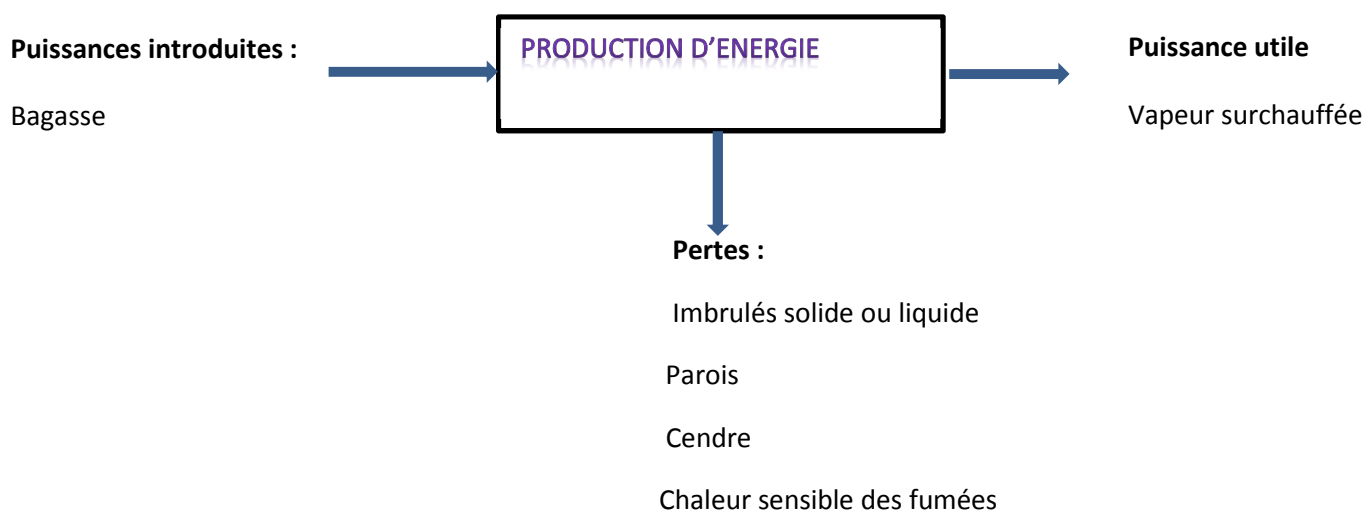
La composition massique élémentaire de la bagasse est ^[2] :

composition moyenne	C	H	O	N	MM
%	53,1	6,03	38,7	1,25	9,3

Pouvoir comburivoire V°A (Nm3/kg combustible)	5,040081
Pouvoir fumigène humide V°HF (Nm3/kg combustible)	5,658661
Pouvoir fumigène sèches V°F (Nm3/kg combustible)	4,983301
Volume d'air VA (Nm3air/kg combustible)	7,5601215
Volume de Fumées humides VFH (Nm3fumées/kg combustible)	8,1787015
Volume de Fumées sèches VF (Nm3fumées/kg combustible)	7,5033415
Volumes des constituants des fumées	
Volume d'oxygènes dans les fumées VO2 (Nm3 O2/kg combustible)	0,529208505
Volume d'eau dans les fumées VH2O (Nm3 H2O/kg combustible)	0,67536
Volume de CO2 dans les fumées VCO2 (Nm3 CO2/kg combustible)	0,99297
Volume d'eau dans les fumées VN2 (Nm3 N2/kg combustible)	5,982495985
Composition élémentaire des fumées de combustion	
%CO2	13,23370394
%H2O	9,000789848
%N2	79,73109027
%O2	7,052971066
Total (%)	109,0185551

Tableau 3 : bilan de matière de la combustion

2.3. Calculs de puissances mis en jeu



Pour faire le bilan de puissance, nous avons fait les hypothèses suivantes :

T° combustible = **28°**; T° air = **30°** avec un excès d'air de **50%**.

N.B : le ratio de consommation énergétique des chaudières est : **2.16 kg vapeur/kg bagasse**

Débits massiques moyens	
Vapeur chaudière 1 (CH1) en kg/h	40 749
Vapeur chaudière 2 (CH2) en kg/h	39 503
Air chaudière 1 (CH1) en Nm3/h	142624,3755
Air chaudière 2 (CH2) en Nm3/h	138263,4998
Combustible chaudière 1 (CH2) en kg/h	18 865,35
Combustible chaudière 2 (CH2) en kg/h	18 288,53
Enthalpies réelles (communs aux deux chaudières)	
Enthalpie de l'air en kcal/kg	13,97
Enthalpie de la bagasse en Kcal/kg	14,18
Entrée eau alimentation CH kcal/kg (63bars, 105°)	179.166
Sortie vapeur CH kcal/kg (30bars, 380°)	764,452

Tableau 4: débits massiques et enthalpies de la vapeur d'eau

Pour tous calculs faits, on obtient :

	Chaudière 1	Chaudière 2
Puissances introduites (Pth introduites) en (KW)	41067,94335	39812,25201
Perte par chaleur sensible des fumées en (KW)	14583,22668	14137,33069
Pertes par imbrulés solides en KW	0	0
Perte par chaleur sensible mâchefers (KW)	0	0
Pertes thermique aux parois	410,6794335	398,1225201
Pertes Totales en KW	14993,90612	14535,45321
Puissances Utiles en (KW)	26074,03723	25276,7988

Tableau 5: *Calculs des puissances thermiques mises en jeu lors de combustion.*

N.B : Les pertes par imbrulés sont négligées à cause de la récupération des imbrulés dans les foyers de combustion.

Les pertes thermiques aux parois sont égales à 1% de la puissance produite^[4].

2.4.Calcul de rendement des chaudières

Le rendement thermique des chaudières η_{CH} est défini comme suit :

$$\eta_{CH} = (\text{Puissance thermique introduite} - \text{Pertes}) / (\text{Puissance thermique introduite})^{[1]}$$

$$\eta_{CH\ 1} (\%) = 63.49 \quad ; \quad \eta_{CH\ 2} (\%) = 63.49$$

Nous avons un rendement réel de 63.49 % alors que le constructeur évalue le rendement nominal à environ **80%** soit un manque à gagner de **16.51%**. Les pertes thermiques élevées expliquent ce

manque à gagner. Pour améliorer ce rendement, nous proposerons par la suite des solutions techniques pour optimiser la combustion d'où la capacité de production de vapeur.

3. Ballon de stockage de la vapeur (Barillet)

La vapeur issue des surchauffeurs est stockée dans un ballon appelé le **Barillet** à 30 bars ; 380°C ; puis envoyé pour la détente dans les turbines. A partir du ratio de consommation énergétique des chaudières qui est de 2.16 kg vapeur/kg bagasse et du tonnage mensuel de la bagasse **897.79 T/J** (tableau 1), nous avons **1 939.22 T/J** de vapeur. Les pertes au niveau du barillet sont estimée à 5 % de la vapeur produite , donc **1 842.25 T/J** vapeur est déstockée.

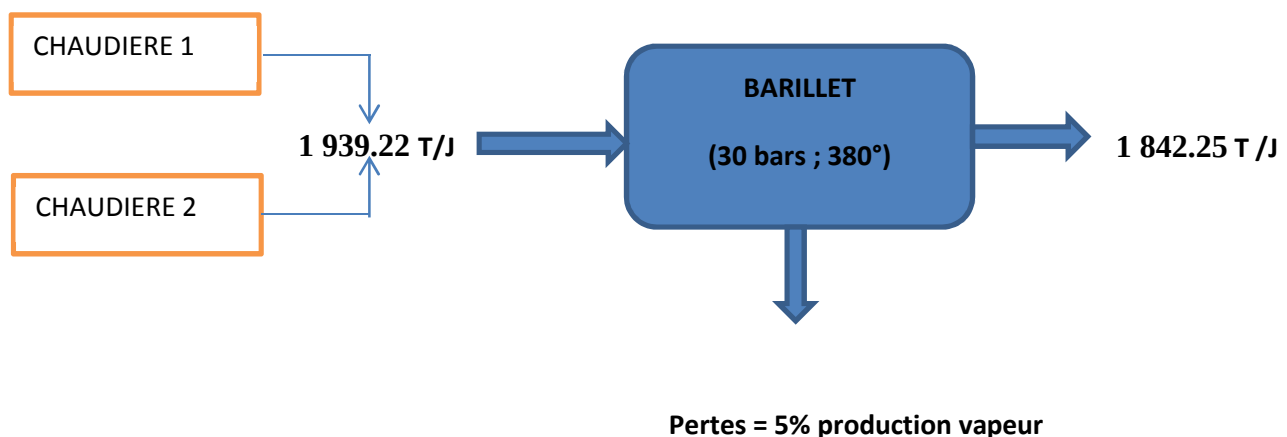


Figure2 : Bilan massique du ballon de stockage de vapeur surchauffée

3.1 . Utilisation de la vapeur

La vapeur surchauffée (**1 842.25 T/J**) issue du barillet ,environ **1 330.34 T/J vapeur** arrive au niveau des turbines sous pression pour la détente et le reste de la vapeur (**511.91 T/J vapeur**) est destiné à alimenter le process de fabrication et à tourner les moulins pour l' extraction du jus.

La production de l'électricité est assurée par deux turbines couplées à des alternateurs :

- un turboalternateur (Turbo 2) SIEMENS de **6.28 MW** (à soutirage et condensation).
- un turboalternateur (Turrbo 1) ASEC de **3 MW** (turbine à contre-pression).

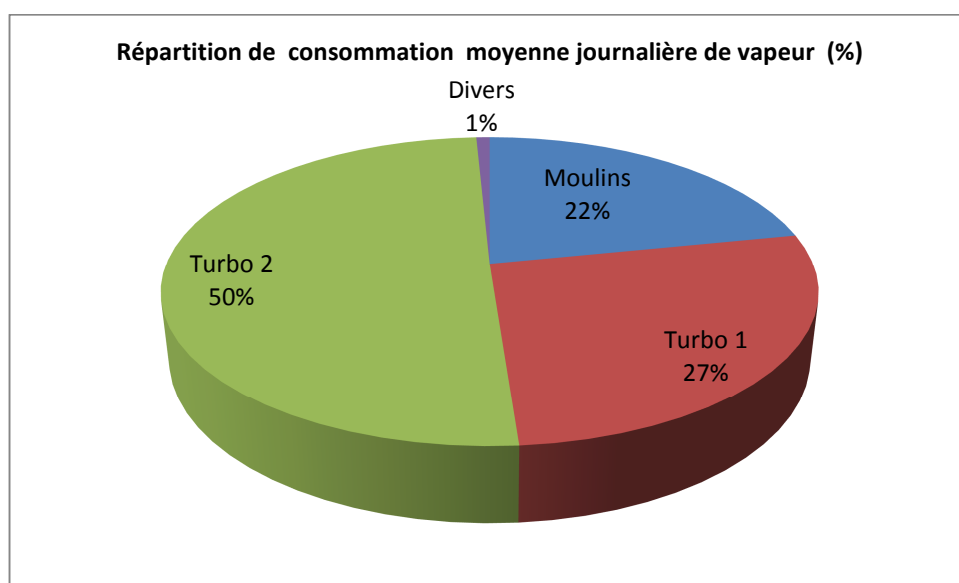


Figure 3 : *consommation moyenne journalière de vapeur*

4.5 Evaluation des pertes de charge^[2]

L'évolution des pertes de charge s'est calculé par la méthode de **colebrook** détaillé ci- dessus . Le circuit vapeur utilisé pour le calcul sont en annexe I.

Troncons	Diamètre (mm)	Débit (m3/h)	vitesse (m/s)	v (cSt)	Nombre de coude à 90° singularités	Longueur (m)	ω (kg/m3)	Re (10 ⁵)	J	ΔP (kg/cm ²)
Pompe alimentaire 1 - CH1	150	89,4	1,421261	0,312	8	40	961,92	6,83298558	0,035	0,28280448
Pompe alimentaire 2 - CH2	150	89,4	1,421261	0,312	8	40	961,92	6,83298558	0,035	0,28280448
CH1-Barrilet	250	45	40	2,943	7	70	10,25	33,9789331	9	1,112125
CH2-Barrilet	250	45	40	2,943	7	70	10,25	33,9789331	9	1,112125
Barrilet - Turbo ASEC	200	17	40	2,943	5	27	10,25	27,1831464	15	0,9680927
Barrilet - Turbo Siemens	200	37	40	2,943	5	27	10,25	27,1831464	15	0,9680927
Barrilet - Evapo	50	-	40	2,9443	6	60	0,3716	6,79278606	100	0,345588
Barrilet - Cuite	50	-	40	2,943	6	60	0,3716	6,79578661	100	0,345588
Barrilet - Moulins	200	-	40	49,7	8	34	0,3716	1,60965795	14	0,243663
									Total	5,66088336

Tableau6 : *Calculs des pertes de charge*

N.B : Les valeurs du nombre de Reynolds (Re) sont supérieur à la valeur critique du nombre de Reynolds (**4000**) donc : **L' écoulement est turbulent^[5]**.

De plus, le calcul est vérifié par un logiciel^[6] en annexe.

La synthèse du bilan énergétique global (une tonne de cannes broyées) est résumée sur dans la figure ci- dessous :

2.16 Kg vapeur/bagasse

$\eta=63\%$

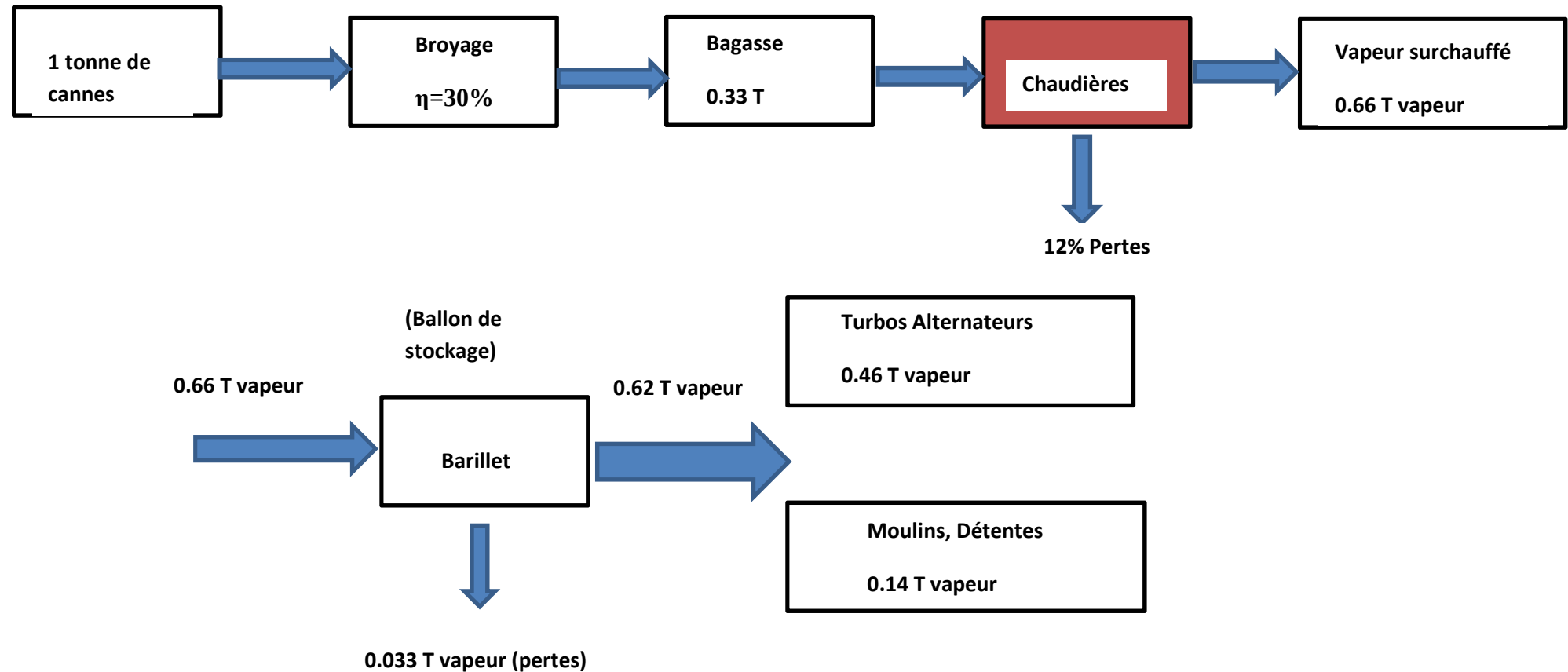


Figure 4 : Bilan énergétique global de matière par tonne de cannes broyé

2. Optimisation de la production de vapeur

a) **Première solution adapté aux besoins** : l'optimisation de la production de la vapeur par une bonne préparation et extraction du jus de la canne .C'est dans cette optique nous proposons l'installation d'un **shredder** d'un coût d'investissement de 2,5 milliard FCFA.

➤ Installation d' un shredder

Le nom shredder vient du verbe anglais << To shred>> qui signifie : coupe en petits morceaux, déchiqueter, mettre en lambeaux^[7] .cet appareil permet d' ouvrir le maximum de cellules contenant du jus sucré, tout en maintenant la canne en fibres longues pour éviter le colmatage des rainurages des moulins et augmenter l' efficacité de l' imbibition

Dimensionnement de l'appareil :

Un bon indice de préparation peut donc s'obtenir avec 50 à 80 KW/Tfh(source : E.Hugot <<la sucrerie de la canne>>) . Le shredder proposé dans notre cas est un shredder type tongaat d' une capacité de 4000 T/J soit 167 T/h de puissance absorbée 45KW/tfh et de puissance installée 65 KW/th.

Ainsi ,pour une puissance de 65KW/Tfh, il nous faut une turbine vapeur qui a puissance de **1 300 KW**.

De plus ,avec un ratio de **13.5 kg vapeur/kWh**^[7], il est installé en remplacement de la coupe-canne finisseur. La puissance consommée dans le shredder est récupérée dans le moulin, dont le travail se trouve allégé.

Donc avec se ratio nous avons le débit de la turbine est :

$1300 \text{ KW} \times 13.5 \text{ kg/kWh} = 17.5 \text{ T/h}$ (envions **18 T/h** comme extension à cause des pertes de charge).

Le débit de vapeur des moulins se trouvera réduit de **10 à 15 %** suit à l' installation dushredder^[8].

Dans notre cas, prenons 13% de réduction.

Performance obtenue grâce à l'installation du shredder.^[7]

Configuration initiale :

- 3 coupes-cannes (ébaucheur, tronconneur, finisseur).
- 5 moulins BUCKAU WOLF à chapelledroite.

Tonnage de fibre	23,61 T/h
Pol bagasse	2,43%
Extraction réelle	94,83%
Indice de préparation (IP)	< 91
Humidité bagasse	51,50%
Pouvoir calorifique (PCI)	1752 kcal/kg

Tableau7 : Configuration initiale du système

Configuration proposée :

- 1 shredder,
- 2 coupe-cannes (ébaucheur, tronconneur)
- 5 moulins BUCKAU WOLF à chapelledroite.

Tonnage de fibre	61,31 T/h
Pol bagasse	2,23%
Extraction réelle	97,05%
Gain en extraction du jus	0.53%
Indice de préparation (IP)	91
Humidité bagasse	47,51%
Pouvoir calorifique (PCI)	1945 Kcal/Kg

Tableau8 : Configuration pour l'optimisation du système

N.B : L'installation(shredder + coupe cannes) permet au premier moulin d'extraire aisément **70 %** du jus de canne^[7]. L'indice de préparation avec l'utilisation du shredder est comprise entre 90% et 92%.

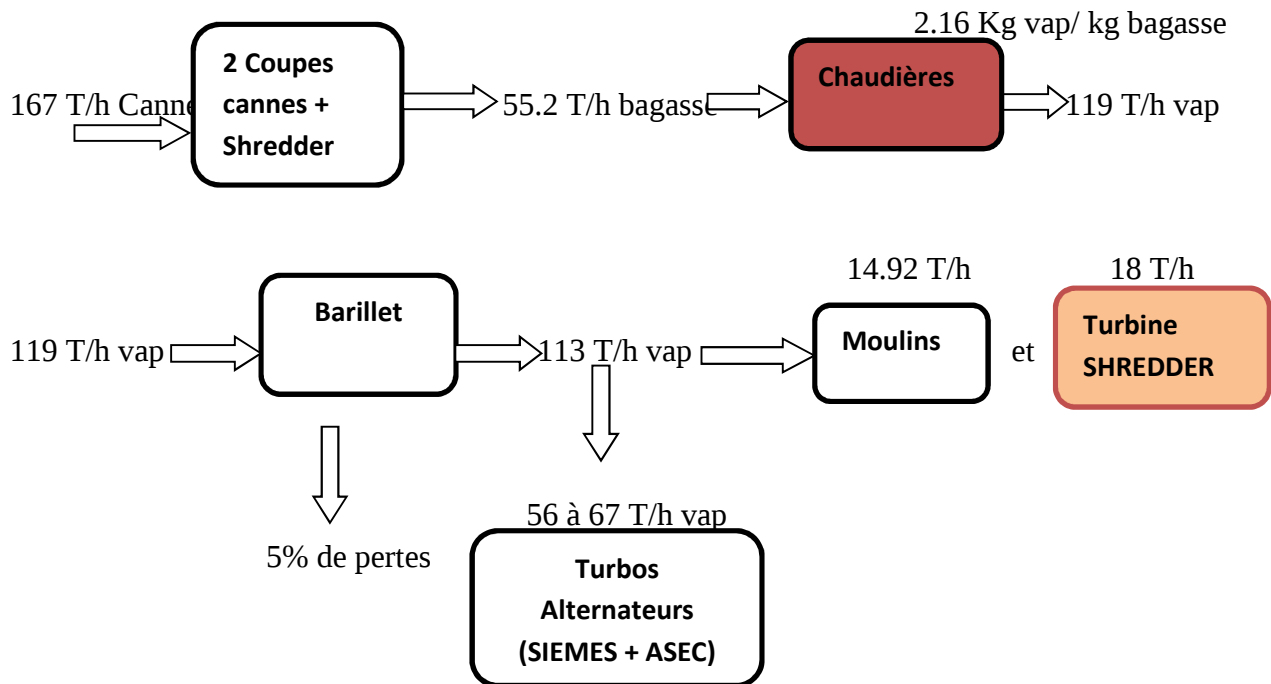


Figure 5 : Bilan massique de l'installation du shredder

Etude technico- économique de l'installation du shredder à vapeur

Cette étude nous permettra d'évaluer le gain financier annuel de l'installation du shredder et le délai de rentabilité du capital investi. Pour 400.000 Tonnes des cannes traitées, une production supplémentaire de sucre de 3500 à 4000 tonnes^[9]. L'atelier Shredder, du fait de l'amélioration de l'extraction, devrait apporter une production supplémentaire 5 à 650 tonnes^[9].

	Situation initial	Situation optimisée (avec shredder)
Moulins (réduction de 13% de consommation vapeur)	16,88	14,92
Détente MP (augmentation de 25 % de consommation vapeur)	0,6	0,95
Détente BP (augmentation de 25 % de consommation vapeur)	3,2	4,25
Turbine SIEMENS	38	38
Turbine ASEC	18	18
Shredder à turbine à vapeur	-	18
Total disponible vapeur (T/h)	76,76	113
Total consommation réelle (T/h)	76,75	110,4
Gain en vapeur (T/h)	-	2,6
Gain en vapeur (T/J)		62,4
Gain journalier en électricité (KWh/J)		6 664
Gain financiers du surplus d'énergie par jour (FCFA)		373 185
Gain financiers du surplus de vapeur (en FCFA) sur 6 mois		67 173 120
Gain financiers du sucre produit (en FCFA) sur 6 mois	-	354423647,7
Gains Total du projet (FCFA)		421 596 768
Cout d'investissement en FCFA avec TVA (18%)	-	2 500 000 000
Temps de retour sur investissement (TRI) par an	-	6
Puissance fournie en KW	5 373,20	5 373,20
Energie fournie en KWh	128956,8	128956,8

Tableau 9 : Etude technico- économique de l'installation d'un shredder à vapeur

N.B : Le prix du Kilo de sucre pris en compte sorti Zuenoula est **550 FCFA**, soit $0.84\text{€}/\text{Kg}^{[9]}$.

Le TRI s'est calculé sans taux d' actualisation .Pour cette campagne nous réalisé **44 087.26 tonnes de sucres.**

b). Deuxième solution adaptée aux besoins : Amélioration des conditions de fonctionnement des moulins et la remise en état du réseau vapeur de l'usine.

L'un des problèmes majeurs de la production de vapeur est l'état des moulins d'extraction.

Ces moulins n'arrivent pas à assurer souvent une bonne extraction. Cela s'explique par l'usure et le mauvais état des cylindres (ouverture arrière et avant) des moulins et vieillissement des calorifuges du réseau vapeur.

Nous proposons comme solutions pour remédier à ce problème :

- Réglage des ouvertures d'entrées et de sorties des cylindres.
- Calorifugeage du réseau vapeur
- Réhabilitation des éléments mécaniques des turbines (revision approfondie des moulins et procédés ensuite au remplacement des bandes d'étanchéité, élément de régulation).

Réglage des ouvertures d'entrées et de sorties des cylindres : cela consiste à une revision approfondie des cylindres en fonction des diamètres. Dans notre cas nous des marges des diamètre des cylindres définis dans le tableau ci-dessous :

	Ø CYLINDRE SUPERIEUR;		Ø CYLINDRE ENTREE;		Ø CYLINDRE SORTIE;	
	Max	Mini	Max	Mini	Max	Mini
Moulin N°1	980	930	936,6	881,2	980	926
Moulin N°2	980	930	979,6	968,9	980	926
Moulin N°3	980	930	980	970,3	980	964,8
Moulin N°4	980	980	980	965	980	980
Moulin N°5	980	930	980	970,2	980	968,8

Tableau10 : Diamètres des moulins recommandés

Nos investigations sur le terrain nous à permis constaté l'état des cylindres après campagne consignée dans le tableau ci – dessous :

	Ø CYLINDRE SUPERIEUR;	Ø CYLINDRE ENTREE;	Ø CYLINDRE SORTIE;
Moulin N°1	970	913	965
Moulin N°2	966	936	970
Moulin N°3	973	889	887
Moulin N°4	973	952	975
Moulin N°5	970,6	958	967

Tableau11 : Diamètre des moulins après mesure

Au regard de tout cela, nous devons remplacer :

- ✓ les cylindre d'entrée des moulins N°2 à 5
- ✓ les cylindre de sortie des moulins N°3 à 5

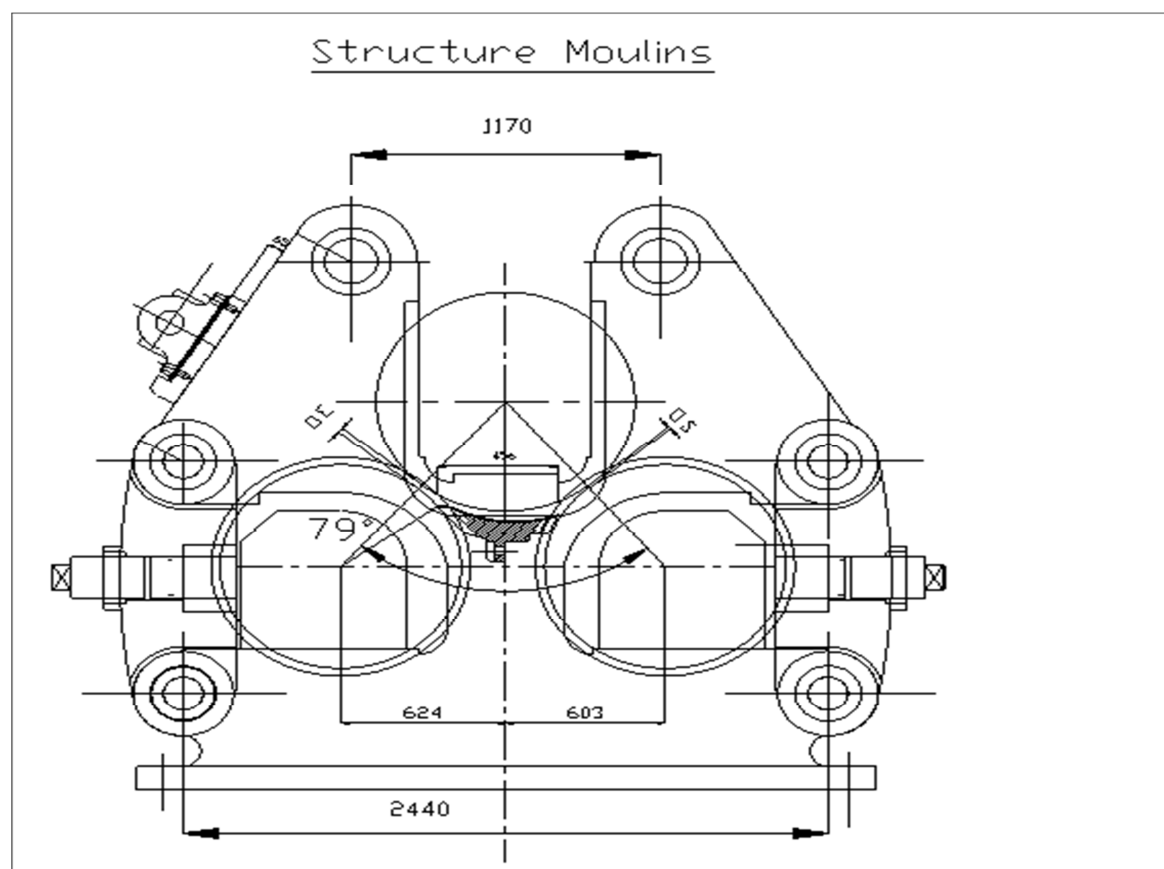


Figure 6 : Structure des moulins

Etude technico- économique de cette opération

Le coût de global de cette opération est d'environ **913 258 230 FCFA** ; nous supposons que cette solution devrait nous permettre de gagner **80%** de la vapeur perdus dans le réseau vapeur ; **0.3%** de jus de canne et de diminuer le taux d' humidité de **2%**.

Débit vapeur (T/h)	76,76
Débit vapeur perdu (T/h)	14,428
Pourcentage de vapeur récupérée sur perte %	80%
Quantité de vapeur récupérée (T/h)	11,5424
Gain journalier en électricité (KWh/J)	28 205
Gain financiers produit en vapeur (en FCFA)	284 070 690
Humidité bagasse %	49,51
Gain financier de sucre produit en FCFA sur 180 jours	354 423 647,7
Coût d'investissement en FCFA	913 258 230
Temps de retour sur investissement (TRI en année)	4,5

Tableau 12 : *Etude technico- économique amélioration des conditions de fonctionnement des moulins et du réseau vapeur de l' usine.*

c) Troisième solution adaptée aux besoins : Optimisation de l'excès d'air

L'une des raisons de base de la mauvaise combustion est l' insuffisance ou l'excès d'air. Pour réduire les pertes de la combustion, il faut optimiser l'excès d' air^[4] .C'est dans cette optique nous proposons à la suite de notre étude la mise en place d' un analyseur d' oxygène (O2).

Caractéristique de l'appareil

L' analyseur O₂ utilisé dans notre cas est de type OXYMITTER , il est composé d' un capteur (entre sortie faisceau arrière et entré économiseur) et d' un transmetteur.

Tension d'entrée	90 -250 V
Fréquence	50/60 Hz
Puissance apparente	500 VA

Il nous permettra de maîtriser le O₂ nécessaire pour une bonne combustion (mélange d' air et combustibles). L' oxygène recommandé pour une bonne combustion est 6% O₂ , pour 14% CO₂ et 2% CO ,pour une température foyer 1000-1100).<<source :service production d' energie de L' UAI>>.

N.B :4% de O₂ risque de trop chauffer le foyer de combustion.).<<source : service production d' énergie de L' UAI>>.

Le coût d' investissement est d'environ **4 millions de FCFA**. Nous supposons que cette solution pourra réduire les pertes de la combustion de 10%, donc amélioré le rendement d'environ **3%**.

3. Diagnostic de performance de l'usine

Les pannes rencontrées pour la campagne sucrière 2011-2012, se résume par le graphique ci – dessous (Direction usine service Labo):

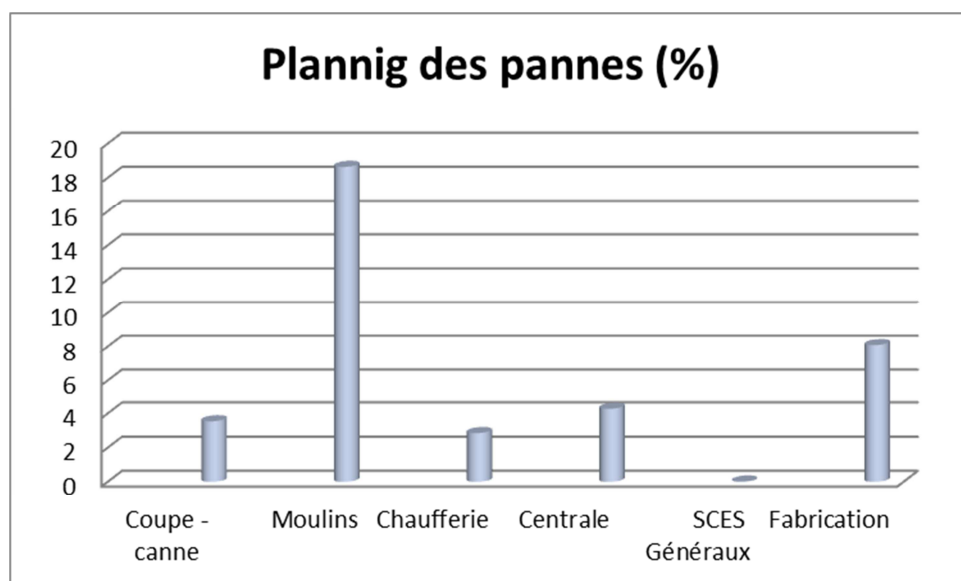


Figure 7: Panne pour de l' usine la campagne 2011-2012

Nous avons effectué des mesures(débit vapeur, débit massique et perte de charge) qui nous à permit de faire le bilan énergétique de toute la chaufferie.

B. Proposition des solutions d'économie d'énergie en vue d'accroître notre indépendance en énergie.

a) Valorisation de la mélasse en biogaz

La valorisation de la mélasse complète la valorisation de la bagasse pour assurer l'autonomie énergétique de l'UAI. Nous proposons la méthanisation de cette mélasse.

La composition de la mélasse est consignée dans le tableau ci-dessous :

Matière Sèches (%)	73
Matière minérales (%MS)	14
Sacharose (%)	30
Calcium (g/KgMS)	7,4
Phosphore (g/KgMS)	0,7
Potassium (g/KgMS)	40
Matière azotées (%MS)	16

Tableau13 : caractéristique chimique de la mélasse

En effet, on a pour une tonne de mélasse 228 m³ biogaz. La quantité de mélasse produite pour la campagne est de **19469.08 Tonnes** soit une moyenne de 108 tonnes par jour, ce qui revient Donc pour une production de 19469.08 tonnes, nous produisons **4 438950 m³biogaz**.

La méthanisation produit du biogaz qui est majoritairement constitué de méthane (environ 60%) ^[iii]. D'où **2686733.04 m³** de méthane, en raison de 308 m³/h. La composition du biogaz est définie dans le tableau ci- dessous :

Méthane (CH₄)	50 – 75 %
Dioxyde de carbone (CO₂)	25 – 45 %
Vapeur d'eau (H₂O)	2 – 7 %
Azote (N₂)	0 – 2 %
Hydrogène (H₂)	0 – 1 %
Oxygène (O₂)	0 – 2 %
Hydrogène sulfuré (H₂S)	0 – 2 %
(source Bayer)	

Figure 8 : Composition du biogaz

Un mètre cube biogaz possède un pouvoir calorifique de 6 kWh^[iii], cela signifie que notre projet produit **26.6 GWh** électrique d'où **6 925 kWh** par jour.

Ce biogaz chargé en soufre, donc requiert l'installation d'un système de lavage du gaz (pour éviter la corrosion des équipements).

Le calcul technico-économique en résumé dans le tableau ci – dessous :

Quantité de substrat (mélasse) consommé par jour (Tonne)	108
Coût d'investissement pour 2MW (FCFA)	6 550 000 000
Energie produite par jour (kWh) E	69 254
Consommable (pompe, brasseurs, injecteur) 10% énergie produite ^[iii] (kWh)	6 925
Coût du KWh sur CIE (FCFA/kWh TTC)	56
Gain réalisé sur l'énergie CIE par an (FCFA)	1 415 555 556
Coût de maintenance par an (2% de l'investissement) ^[iii] en FCFA	58 950 000
Revenus annuels nets moyens	1 356 605 560
Temps de retour sur investissement (en années)	4,82

Tableau14 : Etude technico-économique de la valorisation de la mélasse.

b) Valorisation de cendres volantes issues de la combustion

Après méthanisation, les boues résiduelles seront mélangées avec les cendres issues de la combustion pour être épandues et serviront d'amendement organique.

Ce mélange contient en effet d'azote et du potassium et constitue un amendement organique de qualité. Les **15 à 20 m³** du mélange produit par jour durant la saison cannière permettent ainsi de réduire **de 25 à 35%** les achats d'engrais chimiques^[12].

Ces cendres peuvent être aussi utilisées en terrassement notamment en remblai. Les conditions générales d'utilisation des cendres volantes en remblais sont regroupées dans les guides français des terrassements routiers^[13].

C). Etudes environnementales

Le projet de production et d'utilisation du biogaz a un impact significatif sur l'environnement notamment le climat. Ils sont liés à la réduction de l'énergie électrique qu'auraient produite les centrales de la CIE. Notre projet produit environ **69 254 kWh** par jour.

Le facteur émission de GES du CIE est de **0.7291 Teq CO₂/MWh**^[14], donc ce projet permet d'éviter **9 089 Teq CO₂ par an**.

Selon les mécanismes (MDP et MOC) arrêtés au protocole de Kyoto en 1997 qui vise à encourager tout projet luttant contre les émissions du CO₂ dans le monde, ce projet présente une opportunité réelle d'obtention de crédits de réduction d'émission vérifiés (<<Verified d' Emission Réduction ou Vers>>) sur le marché de la compensation volontaire. Le prix unitaire de la Teq CO₂ est de **10 euros**^[15].

Ainsi, la quantité de CO₂ séquestré par notre projet étant de **9 089 Teq CO₂ par an**, équivalent à un coût de **9 0890 euros** soit **59 532 950 FCFA**.

V. DISCUSSION ET ANALYSES

1- Analyse du bilan énergétique (de la bagasse à production vapeur)

Au regard de la structure énergétique de l' UAI Zuenoula, nous constatons :

- Pour un rendement nominal de combustion 80% (source : service production energie), nous avons environ 63% d' ou un manque à gagner de **16 à 17 %**. Cela est dû à un énorme perte constater au niveau des chaudières et aussi la qualité de la bagasse.
- Au niveau du barillet nous évaluons les pertes du tonne de cannes broyées à **0.003 T** vapeur et 5% de perte au niveau du ballon de stockage.

2- Analyse de l'optimisation de la production vapeur

Le gain en vapeur avec l'installation du shredder est d'environ **2.6 T/h** d'où un gain journalier de **62.4 Tonne**. De plus, le taux d'humidité de la bagasse est réduit de **4%**.

Avec les ratios de consommation énergétiques (2.16 Kg vapeur/kg bagasse et 231.6 kWh/T bagasse nous avons donc **106.8 kWh/T vapeur**) réalisés pour la campagne 2011-2012, nous avons une production énergétique journalière de **6 664 kWh/J**, ce qui entraîne un gain financier en énergie de **67 173 120 FCFA**.

Ainsi si nous ajoutons le gain en extraction du jus de **0.53%** ^[9]; finalement, on obtient un gain en production de sucre d'environ **644 T/an**, soit un gain financier **354 423 650 FCFA par an**.

Le gain financier total du projet s'élève à **421 173 120 FCFA/an**. Avec, un temps de retour sur investissement de qui est d'environ **06 ans**.

N.B : Le prix du kWh acheté par l'UAI à CIE est de 56 FCFA TTC (**depuis 2012**).

Au niveau du projet d'amélioration des conditions de fonctionnements des moulins et de la remise en état du tout le réseau vapeur de l'usine (**deuxième solution**), le prix d'investissement est de **918 258 230 FCFA**, nous constatons un surplus de vapeur qui est d'environ **264 T/J** d'où un gain en vapeur de **284 070 690 FCFA**.

Le gain financier total du projet est de **350 943 075 FCFA**, avec un temps de retour sur investissement qui est de **4.5 ans**.

3- Analyse de l'optimisation de l'excès d'air

Ce projet dont le coût d'investissement est de **4.500 000 FCFA**, nous permet d'analyser la quantité O₂ dans l'air nécessaire pour une bonne combustion, donc permettra également d'améliorer le rendement de 3%.

4- Analyse des propositions de solution d'économie d'énergie

Le Projet de valorisation de la mélasse est une opportunité à l'UAI d'être indépendant de la CIE. La production d'énergie électrique de ce projet est de **26.6 GWh** et génère également un gain annuel de **135 660 560 FCFA**, avec un temps de retour sur investissement qui est de **4.82 ans**.

Cette production couvre environ :

- une campagne d'une durée de 6 mois dont une consommation électrique est de **25.58 GWh**.
- Quatre (4) d'inter - campagne d'une durée 06 mois chacune dont la consommation est de **8.3 GWh**.

Sur le plan environnemental, le projet présente des impacts environnementaux positifs majeurs du fait de la mise en œuvre d'une énergie propre et renouvelable. Il nous a permis de séquestrer environ **9 089 T_{eq} CO₂ par an**.

VII. RECOMMANDATIONS

Sur le plan énergétique

L'analyse du bilan énergétique montre que le rendement des chaudières est faible 63% soit un manque à gagner de 16 à 17%. Pour atteindre le débit nominal (65T/h), nous recommandons à l'usine quelques suggestions :

- Une unité de préparation de la bagasse issue des moulins avec les fumées de récupération de la cheminée. En effet, La température de sortie des fumées de la cheminée est de 211°C, on sait que 1% d'humidité représente 50 kcal ^[18], plus la bagasse sera sèche, plus le pouvoir calorifique sera élevé.
- Le foyer de combustion a été dimensionné pour une dépression de 5mmCE.
Cependant la dépression mesurée au niveau des chaudières est égale à la moitié de la valeur préconisée. Les conséquences à cette anomalie font que la turbulence au niveau du foyer conditionne la combustion (influent sur le rendement).Donc une évaluation des pertes charge doit être faite, et ceci, dans l'optique de redimensionner les ventilateurs de tirage chargé de créer cette dépression.

Sur le plan environnemental

L'installation d'une centrale thermique par usage du biogaz est plus écologique et compétitive que l'énergie électrique d'origine fossile délivrée par la CIE.

La mise en œuvre de cette centrale permettra à l'UAI d'être autonome à 50% du point de vue énergie électrique avec une production d'environ 69 MWh par jour.

Le projet permettra à L' UAI d'éviter **9 089 Teq CO2** par an, soit l'équivalent **59 532 950 FCFA**, avec un temps de retour sur investissement qui est de 4.82 ans.

V. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les chaudières de l'UAI présentent de nombreuses anomalies d'alimentation en combustibles à production de vapeur. Le bilan énergétique que nous avons réalisé montre bien le faible rendement des chaudières soit 63 %. C'est dans cette optique que nous avons proposé des solutions techniques proposées pour améliorer son efficacité, .parmi ces solutions, nous avons l'installation d'un shredder pour une bonne préparation de la canne enfin d'une extraction optimisée et d'un analyseur d'oxygène (O₂) pour une bonne combustion.

A cela s'ajoute la valorisation de la mélasse, qui permettra à l'UAI d'être indépendant à **100%** de la CIE.

Ce projet produit environ 69 MWh/J pour une puissance instantanée de 2MW. Cela permettra à l'UAI également d'éviter environ 9 089 Teq CO₂ par an.

La mise en œuvre de ce projet nécessite une démarche rigoureuse à savoir^[iii] :

- ✓ une prise de contact avec les entreprises engagées dans cette expérience.
- ✓ une connaissance sur les réglementations et prescription technique
- ✓ le choix du constructeur
- ✓ Contact avec les financeurs et banques.

Ce projet sera intéressant, dans la mesure où il séquestre du CO₂. Par ailleurs, la Côte d'Ivoire étant signataire de la convention de cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et son protocole de Kyoto^[iv], le projet présente des opportunités réelles d'obtention de ressources nécessaires pour son financement.

VIII : Bibliographie

Ouvrages et articles

- [1] :A. Bensakhria, 2011 cours : *combustion et chaudières*
- [2] : Catalogue-Formulaire SERSEG. PP. F163-164, N°79/1, 1^{er} EDITION (Novembre 1979)
- [3] : J. BLIN 2011.Cours: *Chimie Biochimie associées à la filière biomasse énergie, Master 2 énergie*
- [4] :Y. COULIBAY, 2011.Cours : *Economies d' énergies dans le batiment et l' industrie .*
- [5] :Y.AZOUMAH, 2011.Cours:*Transfert thermique*
- [6]: POMPES MORET-ENSIVAL,Version 1.01 (c) JPS.PP 98/2000
- [7] : FCB,Division sucrerie :Groupe Fives-lille
- [8] : Mouhamadou NIANG, Mémoire, *Etude technico-économiques des systèmes d' entraînement pour la commande et du 6^e moulin de la campagne sucrière sénégalaise.*
- [9] : Atèles Consulting Group : Rapport n°2 projet d'investissement pour la sucrerie de Zuenoula
- [10]: Chritel BRUNSCHWIG,2011,cours : *Les filière biochimique pour la production de biocarburants*
- [11] : M.Bally : Mémoire de master : *optimisation énergétique de l'UAI de zuenoula*
- [12] : Direction d' agriculture et de la forêt ,SERH : *Diagnostic sur la valorisation de la biomasse en guadeloupe.*
- [13] : M.AFECHAR, chef de servive de recherche au CNER : *Valorisation des cendres volantes dans le domaines routier.*
- [14]: CLEAN DEVELOPPEMENT MECHANISM-PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM AKUEDO (CDM-PDD) Version 03 – in effect of: 28 july 2006
- [15]: Projet intégrateur Master2 2010-2011, *Valorisation des résidus organiques du 2IE par méthanisation pour l'alimentation en biogaz du restaurent de Kamboinsé.*
- [16] : E.HUGOT ,la sucrerie de la canne ,3^e EDITION. Technique et Documentation

[17] : Y. COULIBAY, 2011.Cours : Thermodynamique Appliquée

[18] : S TOURE, Mémoire : Amélioration du rendement des chaudières à Bagasse type BR1 à CSS

[19] : G. Maxime Junior, Mémoire : *Audit énergétique*

Sites internet

[i] : <http://www.entreprises.ccip.fr/>

[Ii] : http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10906.htm

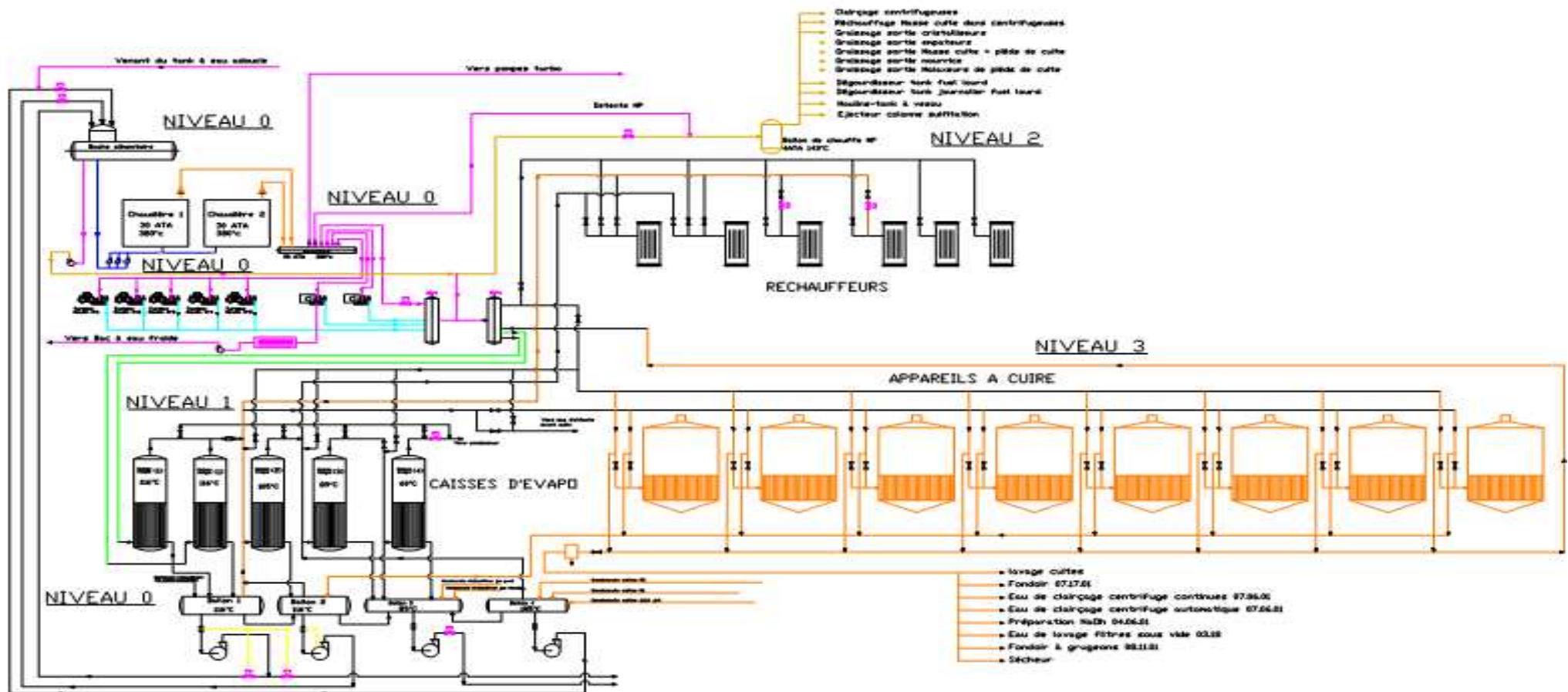
[iii] : <http://www.agri02.com>:Méthamisation à la ferme

[iv] : <http://www.mdp-cotedivoire.org/fr/>

IX. ANNEXES

Annexe I : schéma des différents circuits vapeur	P 39
Annexe II : Formulaire	P 40
Annexe III : Etape de traitement de l'eau de la chaudière	P 41
Annexe IV : Schéma synoptique de la chaudière	P 42
Annexe V : Méthaniseur agricole.puidoux suisse et calendrier previsionnel du projet	P 43
Annexe VI : Etat des sols après apport de cendres.....	P 43
Annexe VII : Schéma synoptique du process de production de vapeur.....	P 47
Annexe VIII : répartitions des consommations moyennes journalières	P 48

Annexe I : schéma des différents circuits vapeur



Annexe II : Formulaire

Calculs en combustion :

COMBUSTION NEUTRE STOECHIMETRIQUE
 (AIR : 79% N₂, 21% O₂)

Composition massique élémentaire du déchet ou combustible	Carbone : C (%) Chlore : Cl (%) Soufre : S (%) Humidité : E (%)	Hydrogène : H (%) Oxygène : O (%) Azote : N (%) Inertes : K (%)
Pouvoir comburivore	$V^{\circ}O_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0187 C + 0,056 H + 0,007 (S - O) - 0,0016 Cl$ $V^{\circ}A \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0889 C + 0,2667 H + 0,0333 (S - O) - 0,0075 Cl$ $P^{\circ}A \text{ (kg/kg)} = 1,29 V^{\circ}A$	
Pouvoir fumigène		
Fumées humides	$V^{\circ}FH \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0889 C + 0,3227 H + 0,008 N + 0,0333 S - 0,0263 O - 0,0027 Cl + 0,0124 E$ $P^{\circ}FH \text{ (kg/kg)} = P^{\circ}A + (1 - K/100)$	
Fumées sèches	$V^{\circ}F \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0889 C + 0,2107 H + 0,008 N + 0,0333 S - 0,0263 O + 0,0004 Cl$ $P^{\circ}F \text{ (kg/kg)} = P^{\circ}FH - (E/100 + 9H/100)$	
CO ₂	$V^{\circ}CO_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0187 C$ $\alpha_0 \text{ (%) } = 100 V^{\circ}CO_2/V^{\circ}F$	
H ₂ O	$V^{\circ}H_2O \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,112 H + 0,0124 E - 0,0031 Cl$ $V^{\circ}H_2O \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}FH - V^{\circ}F$	
HCl	$V^{\circ}HCl \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,0063 Cl$	
SO ₂	$V^{\circ}SO_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,007 S$	
N ₂	$V^{\circ}N_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,008 N + 0,79 V^{\circ}A = V^{\circ}FH - V^{\circ}CO_2 - V^{\circ}SO_2 - V^{\circ}HCl - V^{\circ}H_2O$	

COMBUSTION OXYDANTE COMPLETE
 excès d'air : e (%)

Volume d'air	$VA \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = na V^{\circ}A = V^{\circ}A (1 + (e/100))$	
Volume et masse de fumées		
Fumées humides	$VFH \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}FH + (e/100) V^{\circ}A$ $PFH \text{ (kg/kg)} = P^{\circ}FH + (e/100) P^{\circ}A$	
Fumées sèches	$VF \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}F + (e/100) V^{\circ}A$	
Volume des constituants des fumées	$VCO_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}CO_2$ $VH_2O \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}H_2O$ $VO_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = (\tau O_2 / 100) (e / 100) V^{\circ}A$ $VN_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = 0,008 N + (\tau N_2 / 100) VA = VFH - VCO_2 - VSO_2 - VHCl - VO_2 - VH_2O$	
	$VSO_2 \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}SO_2$	$VHCl \text{ (Nm}^3/\text{kg)} = V^{\circ}HCl$

Calculs des Puissances thermiques

$$P_{th \text{ utile}} = 1,163 \cdot 10^{-3} (h_v - h_e) m_v$$

- h_v : enthalpie de la vapeur d'eau surchauffée à T et P en sortie chaudière (kcal/kg)
 h_e : enthalpie de l'eau d'alimentation de la chaudière (kcal/kg)
 m_v : débit de vapeur (kg/h)

$$P_{th \text{ introduites}} = 1,163 \cdot 10^{-3} (m_c PCI + m_c h_c + m_a h_a)$$

- m_c : débit de combustible (kg/h ou Nm³/h)
 m_a : débit d'air (kg/h ou Nm³/h)
 PCI : pouvoir calorifique inférieur du combustible (kcal/kg ou kcal/Nm³)
 h_c : enthalpie du combustible (kcal/kg ou kcal/ Nm³)
 h_a : enthalpie d'air (kcal/kg ou kcal/Nm³)

Pertes par chaleur sensible des fumées

$$P_f = 1,163 \cdot 10^{-3} (m_c VFH C_{pf} t_{sf})$$

- m_c : débit de combustible (kg/h ou Nm³/h)
 VFH : volume de fumées humides produits (Nm³/kg ou Nm³/ Nm³)
 C_{pf} : chaleur spécifique moyenne des fumées (kcal/Nm³°C)
 t_{sf} : température de sortie de fumées en cheminée (°C)

Imbrûlés solides

$$P_{is} = (1,163 \cdot 10^{-3} m_m C_{is} \cdot 81,30) = 0,0946 m_m C_{is}$$

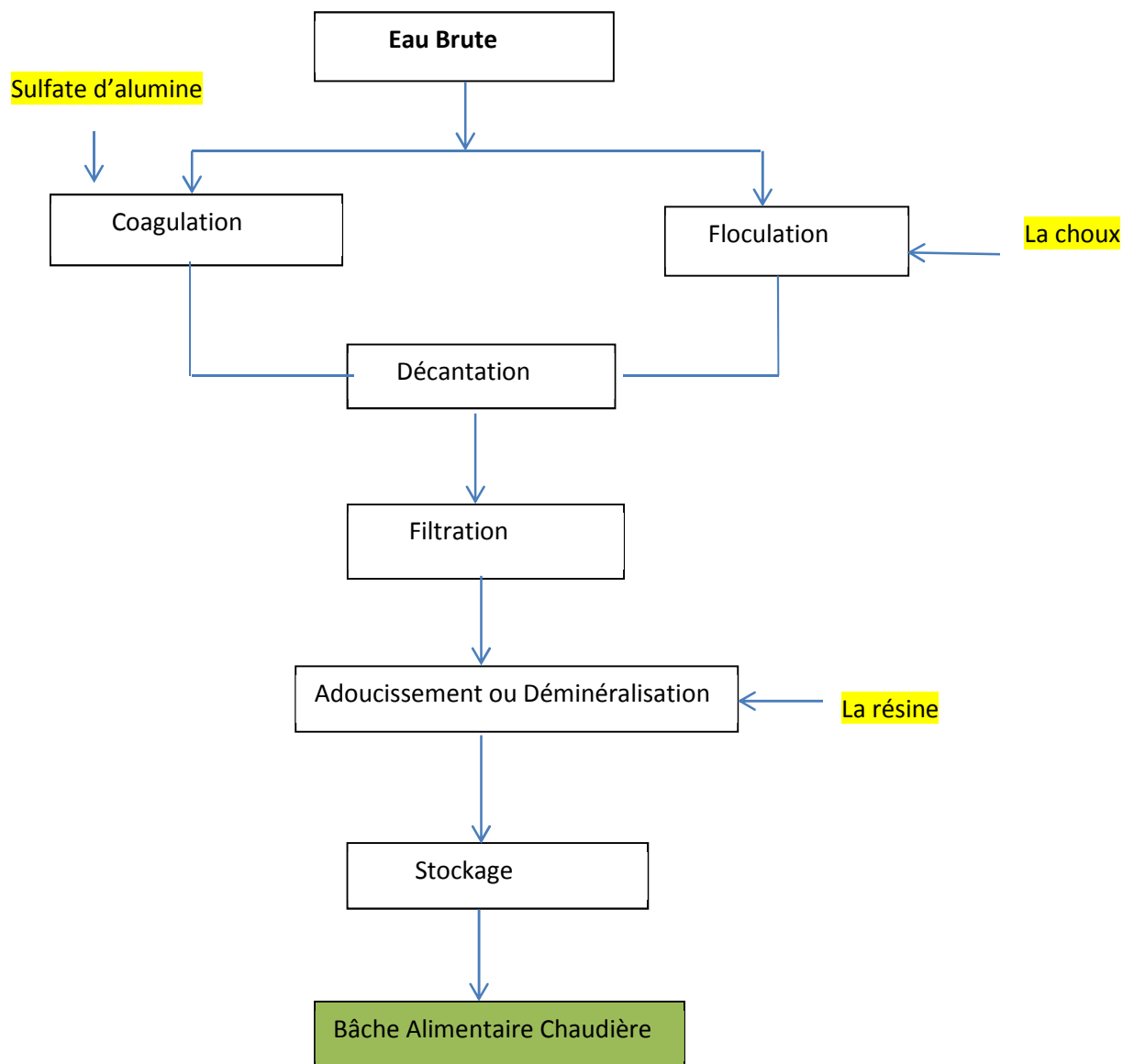
- m_m : débit de mâchefers récupéré (kg/h)
 C_{is} : teneur en carbone dans les mâchefers (%)

Pertes par chaleur sensible des mâchefers

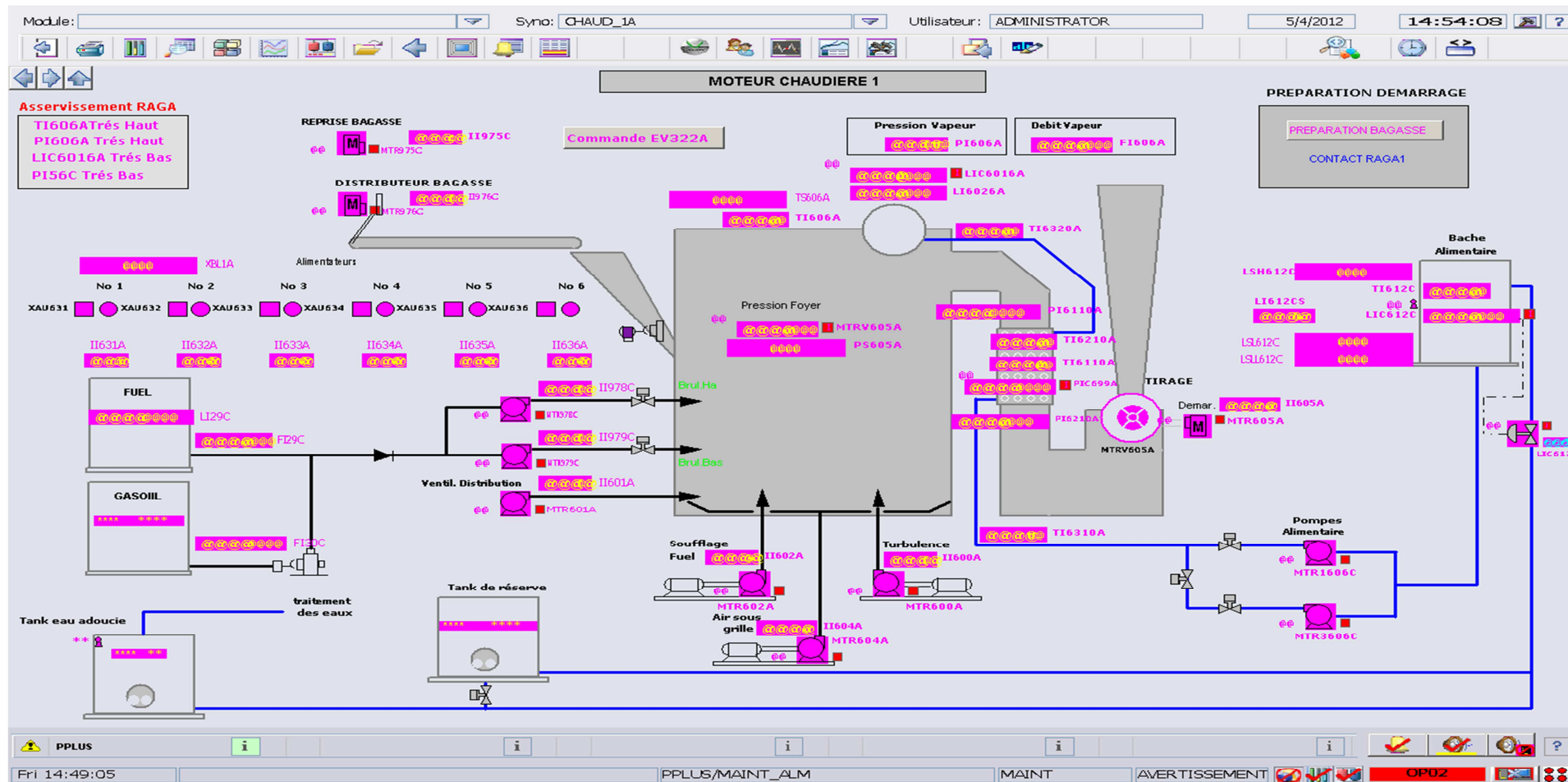
- m_m : débit de mâchefers récupéré (kg/h)
 C_{pm} : chaleur spécifique moyenne des mâchefers (0,2 kcal/kg°C)
 t_m : température d'extraction des mâchefers (°C)

Annexe III : Etape de traitement de l'eau de la chaudière

:



Annexe IV:schéma synoptique de la chaudière



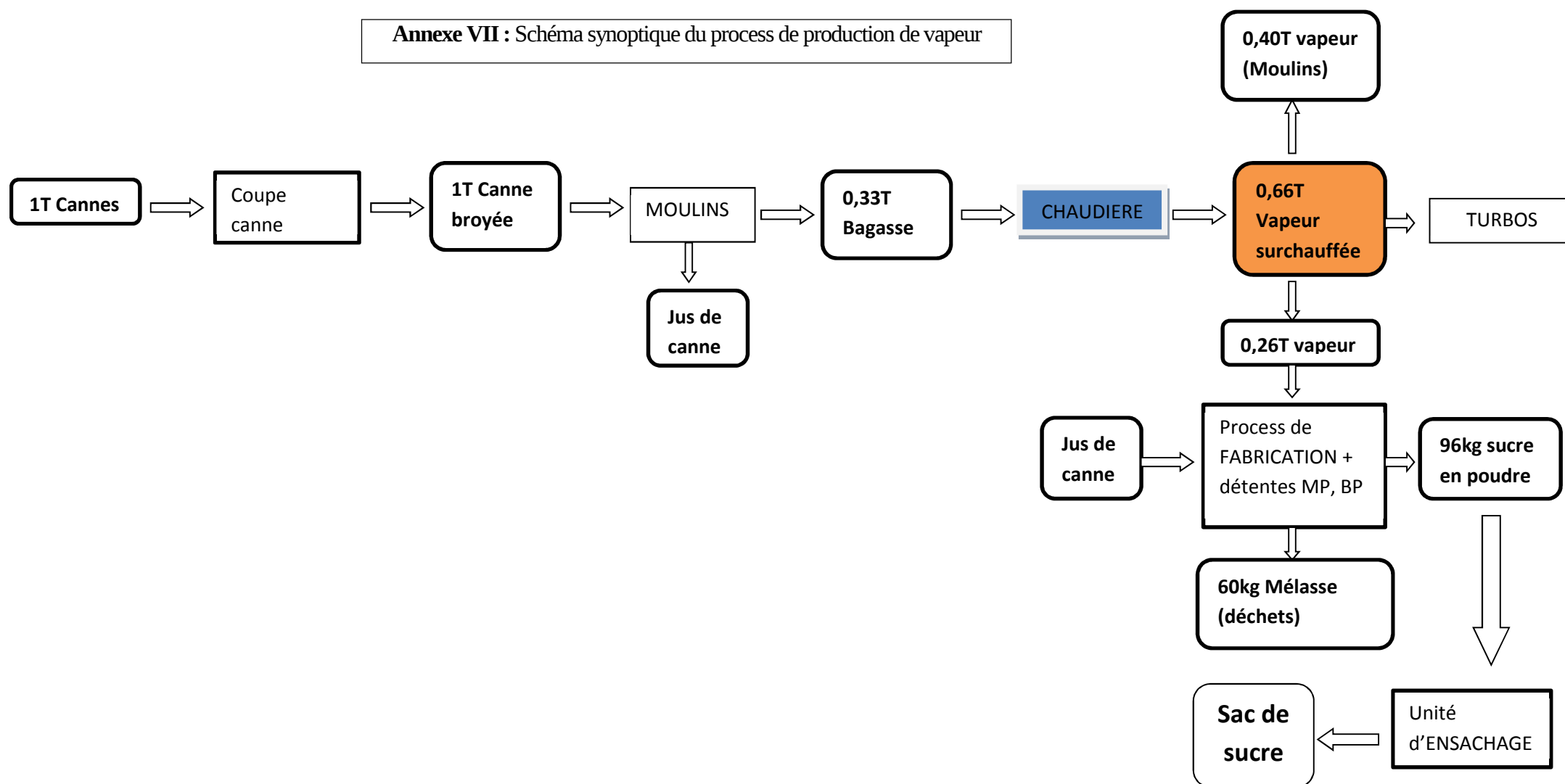
Annexe V : Méthaniseur agricole.puidoux suisse et calendrier previsionnel du projet



Annexe VI : Etat des sols après apport de cendres



Annexe VII : Schéma synoptique du process de production de vapeur



Annexe VI : répartitions des consommations moyennes journalières

