



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement  
International Institute for Water and Environmental Engineering



**AUDIT ENERGETIQUE DE LA SUCRERIE  
DE L'UNITE AGRICOLE INTEGREE DE  
ZUENOULA (PRODUCTION ET  
TRANSFORMATION D'ENERGIE)**

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

**OPTION : ENERGIE et GENIE DES PROCEDES INDUSTRIELS**

Présenté et soutenu publiquement le 18 juin 2011 par

**GOSSE Maxime junior**

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

**M. KOUAME Désiré**, Chef Service production énergie-SUCRIVOIRE

**Jury d'évaluation du stage :**

Président : **Pr. COULIBALY Yezouma**

Membres et correcteurs:

**M. Francis SEMPORE**

**M. Henri KOTTIN**

**Promotion [2010/2011]**

## DEDICACES

*Je dédie ce mémoire*

➤ *A Dieu tout puissant pour toutes ses merveilles*

➤ *A mes parents :*

*Mon père GOSSE Bahi Jean et ma mère BOBI Brigitte, pour  
l'encadrement et toute l'attention dont j'ai pu bénéficier de leur part.*

➤ *A tous mes frères & sœurs.*

## REMERCIEMENTS

*Nous tenons au terme de notre formation de Master d'ingénierie option énergie à prouver notre gratitude à tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à cette formation.*

*Pour ce faire, nous saisissons l'opportunité que nous offre la rédaction du présent mémoire pour adresser du fond du cœur toute notre reconnaissance aux responsables de l'UTER GEI, et à tout le corps professoral de la Fondation 2IE.*

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

*Nous remercions également :*

*M. AKPAGNI, Directeur de l'Unité Agricole Intégrée de Zuenoula*

*M. OUATTARA EHOURAN, directeur de l'Usine, pour nous avoir acceptés au sein de son département pour ce stage.*

*M. KOVAME Désiré, notre maitre de stage, pour sa réelle sympathie et pour ses conseils fructueux*

*M. Antoine BAYILI, pour son aide inestimable dans la réalisation de ce mémoire et pour ses idées éclairées*

*M. KRA, pour sa participation dans la synthèse des idées*

*MM. SORHO, KONE, pour toute la disponibilité dont ils ont fait preuve à notre égard dans l'entreprise.*

*Je ne saurais terminer sans mentionner tout le personnel de l'usine et mes amis de classe*

*Que le tout puissant les en rétribue !*

## 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. Le présent rapport, traitant du « *Audit énergétique de la sucrerie de l'unité agricole intégrée de ZUENOULA (Production et Transformation d'énergie)* » présente le bilan énergétique de toutes les installations de l'usine (allant de la bagasse jusqu'à l'électricité), des solutions techniques pour optimiser la production d'énergie (chaleur et électricité), ainsi que des voies d'économie d'énergie dans les procédés, et de valorisation de la mélasse.

Ce travail mené au sein de l'usine de SUCRIVOIRE-ZUENOULA nous a permis de quantifier les pertes thermiques au niveau des chaudières et au niveau des turbines. Ensuite, nous avons proposé des solutions techniques en vue d'optimiser la production de vapeur et la production d'électricité, ainsi que des mesures d'économies d'énergie au niveau de la chaufferie. Pour finir, nous avons proposé la valorisation en biogaz et électricité de la mélasse résiduelle issue du procédé de fabrication du sucre.

### Mots Clés:

**1 – Efficacité énergétique**

**2 - mélasse**

**3 - Bagasse**

**4 - Biogaz**

---

**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. This report about « *Energizing audit of sugar refinery of Zuenoula's agricultural integrated unit (Production and energy processing)* », presents the energizing balance of all of factory's installation (from bagass to electricity generation), technical solutions in order to optimize energy production (heat and electricity), and ways to make energy saving in the process and valorization of treacle.

This work, done in Zuenoula's factory-SUCRIVOIRE allows us to quantify thermal loss in boiler and turbines. Afterwards, we proposed technical solutions in order to optimize steam and electricity production, thus measures for energy saving of boiler room. Finally, we proposed the valorization of treacle in biogas and electricity.

**Key words:**

---

**1 – Energy efficacy**

**2 - Treacle**

**3 - Bagass**

**4 - Biogas**

---

## LISTE DES ABREVIATIONS

**CO<sub>2</sub>** : Dioxyde de carbone

**DPE** : Diagnostic des Performances Energétiques

**GES** : Gaz à effet de Serre

**H<sub>2</sub>O** : eau

**Kcal** : Kilocalorie

**Kg** : Kilogramme

**KW**: Kilowatt

**KWh**: Kilowatt heure

**MDP** : Mécanisme pour le Développement Propre

**MJ** : Mégajoules

**MW** : Mégawatt

**N<sub>2</sub>** : Azote

**Nm<sup>3</sup>** : Normal mètre cube

**O<sub>2</sub>** : Oxygène

**PCI** : Pouvoir Calorifique Inférieur

**TCO<sub>2e</sub>** : 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

## SOMMAIRE

DEDICACES.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME .....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	2
LISTE DES FIGURES.....	3
<b>I- INTRODUCTION GENERALE .....</b>	<b>4</b>
<b>II- OBJECTIFS DU TRAVAIL .....</b>	<b>8</b>
<b>III- MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>9</b>
<b>IV- RESULTATS.....</b>	<b>13</b>
<b>V- DISCUSSIONS ET ANALYSES.....</b>	<b>35</b>
<b>VI- RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>39</b>
<b>VII- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>40</b>
<b>VIII- BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>41</b>
<b>IX- ANNEXES .....</b>	<b>43</b>

---

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Récapitulatif du tonnage de cannes broyées et bagasse produite

Tableau 2 : Eléments caractéristique de la combustion

Tableau 3 : Composition élémentaire des fumées de combustion

Tableau 5 : Calculs des Puissances thermiques mises en jeu lors de la combustion

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

Tableau 5 : Calculs des Puissances thermiques mises en jeu lors de la combustion

Tableau 6 : Calculs des pertes de charges

Tableau 7 : Tableau des enthalpies des points du cycle de Hirn avec la turbine SIEMENS

Tableau 8 : Tableau des enthalpies des points du cycle de Hirn avec la turbine ACEC

Tableau 9 : Etude économique de l'installation du shredder

Tableau 10 : Etude économique de la réhabilitation des éléments mécaniques des turbines

Tableau 11: Etude technico-économique des deux solutions combinées: installation shredder et réhabilitation turbines

Tableau 12 : Mesures d'économies d'énergies

Tableau 13: Etude technico-économique de la valorisation en biogaz et électricité de la mélasse

## **LISTE DES FIGURES**

- Figure 1 Organigramme de l'UAI de Zuenoula
- Figure 2: Organisation du mémoire
- Figure 3 : bilan massique du ballon de stockage de vapeur surchauffée
- Figure 4 : Bilans matières des turboalternateurs
- Figure 5 : Bilan énergétique global par tonne de canne broyée
- Figure 6 : Cycle de Hirn avec turbine SIEMENS
- Figure 7 : Cycle de Hirn avec turbine ACEC
- Figure 8 : bilan massique pour installation d'un shredder
- Figure 9 : Pourcentage des pannes Usine
- Figure 10 : répartitions des consommations moyennes journalières

## **I- INTRODUCTION GENERALE**

### **I-1- Contexte**

Les crises successives de l'énergie depuis 1973 ont fait naître une notion peu connue jusque là dans le comportement du consommateur d'énergie. C'est la notion d'économie d'énergie. Il y a quelques décennies, personne ne se souciait de l'utilisation efficace de l'énergie dans les activités industrielles <sup>[2]</sup>.

Particulièrement dans l'industrie sucrière, ce phénomène est d'autant plus important que ces industriels valorisent la bagasse de canne à sucre pour produire de l'énergie thermique et électrique. Cette énergie est produite à partir d'un cycle à vapeur d'eau.

Pendant le processus de production d'énergie, il ya 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. Ainsi, pour optimiser les consommations énergétiques de l'usine, il serait bénéfique d'implémenter les énergies renouvelables dans les procédés <sup>[6]</sup>.

### **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 et de générer des crédits carbone et initier des projets MDP.

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.

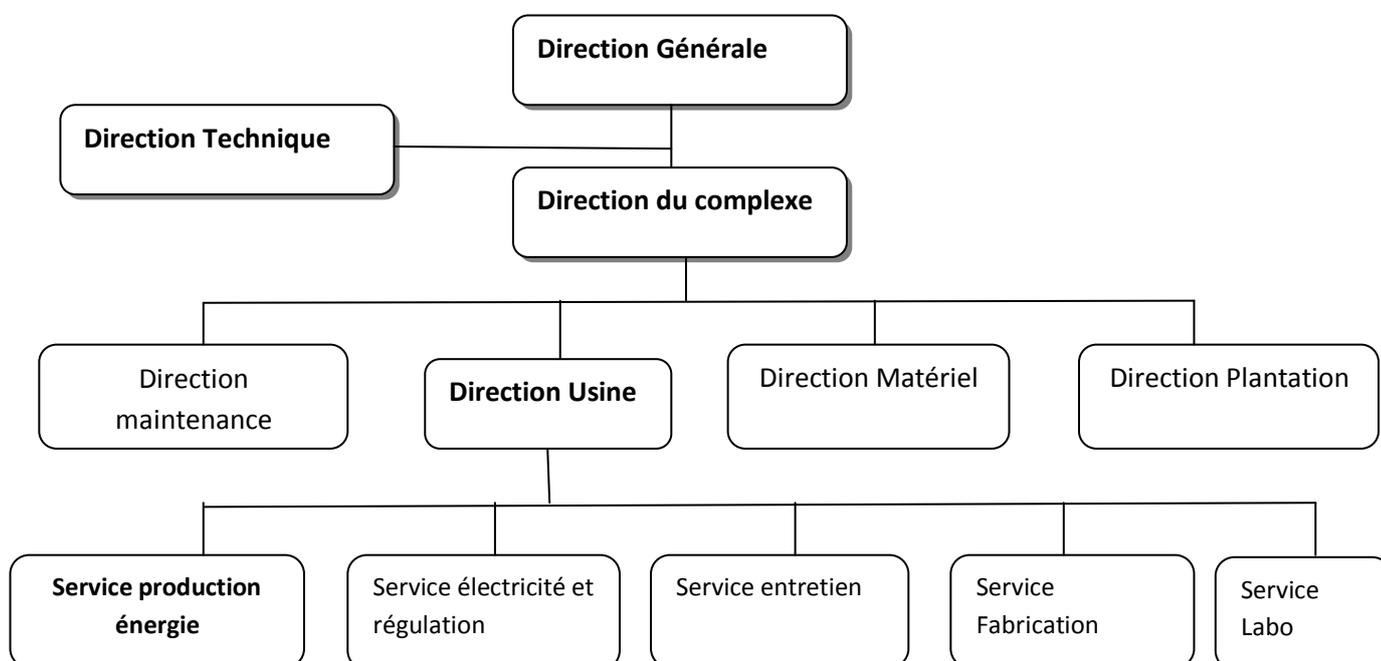


Figure 1 Organigramme de l'UAI de Zuenoula

### **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, qui influencent énormément sur son taux d'indépendance énergétique vis-à-vis de la CIE.

C'est dans ce cadre que les responsables du service production énergie de l'UAI de Zuenoula, ont opté pour une étude approfondie sur les consommations énergétiques dans les procédés de production d'énergie et pour une proposition de solutions exploitables quant à l'introduction des énergies renouvelables dans les procédés.

Ainsi, le travail soumis à notre appréciation consiste à :

- Effectuer le Bilan énergétique complet, évaluer les pertes thermiques et les pertes de charges des réseaux de fluide de l'usine.
- Proposer des solutions pour optimiser les consommations énergétiques dans les procédés (chaufferie, production d'électricité)
- Evaluer le potentiel d'économies d'énergies et proposer des solutions pour la valorisation des résidus industriels.

## **I-4- Méthodologie de travail**

Pour mener à bien ce travail, le document sera présenté en quatre parties dont le schéma suivant en fait la description :

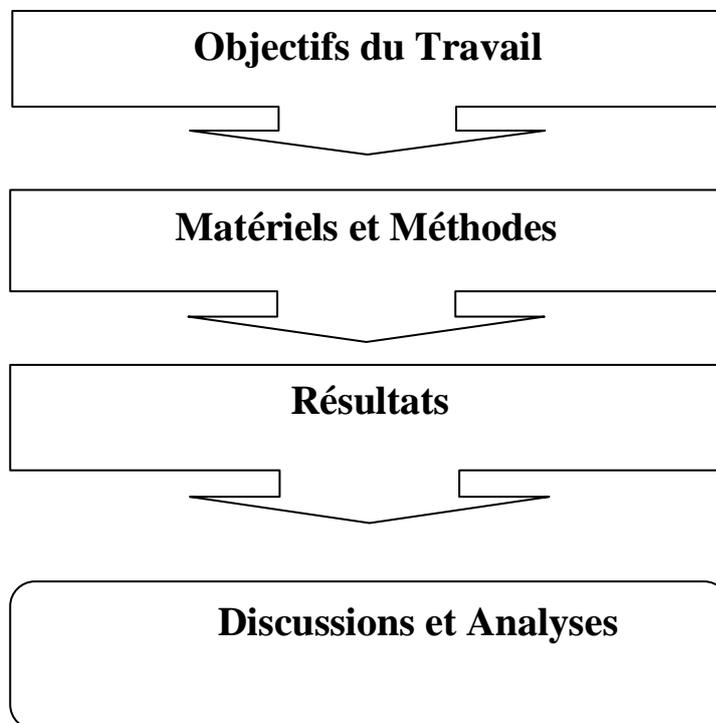


Figure 2: Organisation du mémoire

## **II- OBJECTIFS DU TRAVAIL**

La démarche scientifique mise en place a pour objectif d'évaluer le bilan énergétique de toutes les installations de l'usine de l'unité agricole intégrée de Zuenoula, et proposer des solutions exploitables à moyen terme pour l'optimisation des consommations énergétiques dans les procédés.

C'est-à-dire de :

- ✓ Faire le Bilan énergétique des installations de l'usine (Depuis la bagasse jusqu'à l'électricité).
- ✓ Proposer des solutions en vue d'optimiser la capacité de production en vapeur et en électricité.
- ✓ Evaluer le potentiel d'économies d'énergies dans les procédés et proposer des mesures d'économies d'énergies.
- ✓ Valoriser l'utilisation des énergies renouvelables telles que les résidus industriels (mélasse), dans les procédés (production de chaleur et électricité).

### **III- MATERIELS ET METHODES**

#### **A. Système d'information et études énergétiques**

L'ensemble des informations utilisées pour notre étude seront prises dans les bulletins de suivi des consommations et productions d'énergies. Les valeurs prises seront obtenues à partir d'une moyenne des consommations et des productions d'énergie durant la campagne de l'année 2010-2011. Notons que, notre étude portera sur la chaîne de production d'énergie de l'usine (de la bagasse à l'électricité).

##### **1) Bilan énergétique des installations (de la bagasse à l'électricité)**

Cette partie de notre étude vise à établir le bilan des consommations énergétiques, allant de la bagasse jusqu'à la production d'électricité.

Les points suivants constitueront le bilan énergétique :

a) Le broyage

Au niveau de l'unité de broyage, nos investigations auprès du service production énergie, ont permis de réaliser le tableau 1 donnant le tonnage moyen de cannes broyées pour la campagne 2010-2011. Nous avons pris comme référence le mois de Février 2011. Notons que, le compartiment « broyage » est composé des sous unités suivantes :

- Coupe canne
- Moulins

b) La combustion

- Les chaudières

c) Le stockage de la vapeur surchauffée

- Le ballon de stockage (Barrilet)

d) La production d'électricité

- Les turbines
- Les alternateurs

La synthèse du bilan énergétique sera présentée sous forme de schéma synoptique (allant de la bagasse à la production d'électricité)

## 2) Etude de remise à niveau des réseaux de vapeur

Cette partie de notre étude consiste en une étude approfondie sur le réseau de vapeur. L'objectif de cette partie sera d'évaluer les pertes dans le réseau de vapeur, puis de proposer des solutions de réduction de ces pertes, ainsi que des propositions d'amélioration des productions de vapeur et d'électricité.

### a) Evaluation des pertes de charges

Cette partie de notre étude consistera à évaluer l'ensemble des pertes de charges linéaires et singulières du réseau de vapeur, ce à l'aide de la méthode de calcul de COLEBROOK <sup>[10]</sup> (voir Annexe 2).

### b) Evaluation des pertes d'énergies

Dans cette section, nous déterminerons les pertes d'énergies au niveau des différents postes du cycle thermodynamique de la vapeur d'eau notamment au niveau des turbines. Cette détermination se fera à partir du tracé et de l'analyse du cycle thermodynamique de Hirn.

### c) Optimisation de la production de vapeur

Dans un second temps, nous proposons une solution technique pour améliorer le système de broyage des cannes, en vue d'optimiser la production de vapeur, l'indice de préparation de la bagasse et la combustion dans la chaudière.

### d) Optimisation de la production d'électricité

Dans un troisième temps, nous exposerons une solution technique pour améliorer la capacité de production d'électricité des turboalternateurs, puis une solution combinée (optimisation vapeur et électricité).

### 3) Diagnostic des performances énergétiques (DPE)

Dans cette partie, nous effectuerons un pré-diagnostic des performances énergétiques. La réalisation d'un diagnostic énergétique des installations contribuera à identifier les pistes d'amélioration des systèmes de production et de réduction des coûts énergétiques, tout en contribuant à optimiser la production elle-même.

Le DPE se fera selon les étapes suivantes <sup>[8]</sup>:

- Etape 0 : Fréquence des problèmes rencontrés
- Etape 1 : Collecte des données, examen et plan des installations
- Etape 2 : Réalisation de campagnes de mesures
- Etape 3 : Hiérarchisation des actions

Les résultats du DPE seront consignés dans un tableau afin de mettre en relief les actions à entreprendre ainsi que les coûts potentiels liés à ces actions d'économies d'énergies.

#### **B. propositions de solutions en vue d'accroître l'indépendance énergétique de l'usine**

Le taux d'indépendance énergétique de l'usine est évalué à environ **85%**, le reste (15%) de l'énergie produite, est fournie par la CIE. (Source Annexe 1)

Dans l'objectif de valoriser les énergies renouvelables dans les procédés, et d'améliorer les économies d'énergies, nous proposerons dans la suite de notre étude une solution éco-énergétique de production d'énergie. Enfin, nous ferons une étude d'impact environnemental, en vue de quantifier la quantité de CO2 économisée à partir de cette source primaire d'énergie.

### a) Valorisation de la mélasse en biogaz

La part la plus importante d'économie d'énergie vient de la maîtrise du procédé, liée principalement au gisement d'énergie valorisable au niveau des effluents liquides et solides de l'usine <sup>[8]</sup>. C'est dans cette optique que nous avons contacté le service Laboratoire de l'usine pour obtenir les valeurs sur les quantités de mélasse obtenues en fin du processus de fabrication du sucre.

Il ressort que la mélasse représente environ **4,12%** du tonnage de cannes broyées.

C'est donc un gisement très important pour réaliser des économies d'énergies. En effet, Il est obtenu environ 228 m<sup>3</sup> de biogaz par tonne de matières fraiche de mélasse <sup>[5]</sup>.

Nous effectuerons une étude sur la quantité et les coûts de production de biogaz, et de valorisation de ce biogaz en électricité, ce à partir de la mélasse.

### b) Etude d'impact environnemental

Cette section sera consacrée à l'étude d'impact environnemental de la valorisation de la mélasse. Quelle sont les quantités de CO2 séquestrées? Ce projet est-il éligible au MDP?

## IV- RESULTATS

### A. Etudes énergétiques

#### 1) Bilan énergétique des installations (de la bagasse à l'électricité)

##### a) Le broyage

L'unité de broyage se compose de deux sous unités ; A savoir, les coupe-canne dont le rôle est de défibrer la canne qui arrive des champs ; ensuite les moulins (au nombre de 5) permettent de recueillir le jus de canne.

Les résultats obtenus lors de nos investigations au niveau de l'unité de broyage sont résumés dans le tableau 1 ci-dessous :

		Tableau 1 : Récapitulatif du tonnage de cannes broyées et bagasse produite						
		Jour 1	Jour 2	Jour 3	Jour 4	Jour 5	Jour 6	Jour 7
Semaine 1	canne broyées*	3 363,00	1 731,00	0	1 336,00	3 962,00	4 150,00	4 046,00
	bagasse produite*	1 152,00	551	0	436	1 263,00	1 460,00	1 430,00
Semaine 2	canne broyées*	4 056,00	4 373,00	3 705,00	2 806,00	3 915,00	3 752,00	3 422,00
	bagasse produite*	1 427,00	1 548,00	1 222,00	904	1 341,00	1 215,00	1 147,00
Semaine 3	canne broyées*	3 959,00	3 350,00	2 187,00	0	3 401,00	3 460,00	2 040,00
	bagasse produite*	1 283,00	1 132,00	737	0	1 110,00	1 152,00	641
Semaine 4	canne broyées*	3 615,00	3 030,00	3 660,00	3 421,00	3 304,00	3 640,00	2 043,00
	bagasse produite*	1 131,00	933	1 139,00	1 081,00	1 061,00	1 200,00	658
		Moyenne canne broyée*						3297
		Moyenne bagasse produite*						1091

NB : \*les valeurs sont données en T/J

Nous obtenons une moyenne de canne broyée d'environ **3297 T/j**, pour une capacité nominale de **4000 T/j**, soit un manque à gagner de **703 T/J** ;

##### b) La combustion

#### i-Calcul du PCI

Le PCI de la bagasse se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$\text{PCI} = 4250 - 4850 * \% \text{humidité} - 12 * \text{taux sucre}$$

(Source : document constructeur CHAUDIERE DENAEYER)

Avec taux de sucre = 1% et % humidité = 50% ; On a : **PCI = 1825 kcal/kg, soit PCI = 7,639 MJ/kg**

## ii- Caractéristiques de la combustion

Nos calculs sont faits sur la base de la composition massique élémentaire (en %) de la bagasse <sup>[9]</sup>:

C : 53,1    H : 6,03    O : 38,7    N : 1,25    MM : 9,3

Les résultats sont consignés dans le tableau2 ci-dessous :

combustion stœchiométrique VA°=	5,040081
Pouvoir comburivore VA (Nm3 air/kg combustible)	7,5601215
volume fumées humides en condition stœchiométrique VFH°=	5,773981
Pouvoir fumigène humide VFH (Nm3 fumées / kg combustible)	8,2940215
volume fumées sèches en condition stœchiométrique VF°=	4,983301
Pouvoir fumigène sec VF (Nm3 fumées /kg combustible)	7,5033415
Volume H2O dans fumées (Nm3 eau/ kg combustible)	0,79068
Volume oxygène dans les fumées VO2 (Nm3 O2/kg combustible)=	0,529208505
Volume CO2 dans les fumées VCO2 (Nm3 CO2/kg combustible)=	0,99297
Volume N2 dans les fumées VN2 (Nm3 N2/kg combustible)=	5,981162995

Pour une meilleure interprétation du tableau précédent, nous évaluons la composition élémentaire des fumées de combustion. (Voir Tableau 3 ci-dessous)

% CO2 =	13,2337039
% H2O =	10,5377051
% O2 =	7,0529711
% N2 =	79,713325
total =	110,53

## iii- Calculs des puissances mises en jeu

Pour l'évaluation des puissances, nous faisons les hypothèses suivantes :

$T^{\circ}\text{air} = 28^{\circ}$  ;  $T^{\circ}\text{entrée combustible} = 28^{\circ}$  ; excès d'air = 50 %

De plus, nous avons utilisé des valeurs d'enthalpies et débits massiques, mesurées sur le terrain. (Voir tableau 4)

Tableau 4 : enthalpies de la vapeur d'eau et débits massiques	
<b>enthalpies réelles</b>	
entrée CH en kJ/kg (0,5b ; 105°C)	<b>750</b>
entrée CH en kcal/kg	<b>179,1686574</b>
sortie CH en kJ/kg (30b ; 380°C)	<b>3200</b>
sortie CH en kcal/kg	<b>764,4529384</b>
Enthalpie de l'air (h air) en kcal/kg	<b>8,708</b>
Enthalpie du combustible (h combustible) kcal/kg	<b>9,576</b>
<b>débits massiques moyens</b>	
combustible CH1 (kg/h)	<b>21044,3131</b>
combustible CH2 (kg/h)	<b>17881,0868</b>
vapeur CH1 (kg/h)	<b>45876,60256</b>
vapeur CH2 (kg/h)	<b>38980,76923</b>
air CH1 (Nm <sup>3</sup> /h)	<b>159097,5639</b>
air CH2 (Nm <sup>3</sup> /h)	<b>135183,1888</b>

Tous calculs faits, nous donnent les résultats suivants :

Tableau 5 : Calculs des Puissances thermiques mises en jeu lors de la combustion		
	CH1	CH2
<b>P th utile (kW)</b>	31227,5436	26533,649
<b>P th introduite (kW)</b>	46511,64192	39520,3541
<b>Pertes par chaleur sensible fumées (kW)</b>	16761,35116	14241,9082
<b>Pertes par imbrulés solides (kW)</b>	0	0
<b>Pertes par imbrulés gazeux (kW)</b>	0	0
<b>Pertes par chaleur sensible mâchefers (kW)</b>	0	0
<b>Pertes thermique aux parois (kW)</b>	465,1164192	395,203541
<b>PERTES TOTALES (kW)</b>	17226,46758	14637,1117

Il est important de noter que les pertes par imbrulés sont négligées à causes du système de récupération des imbrulés au niveau des foyers de combustion.

Nous prendrons les pertes aux parois égales à 1% de la puissance thermique introduite <sup>[2]</sup>.

#### iv-Rendement de combustion

Les rendements de combustion des chaudières sont obtenus par la formule suivante :

$$\eta_c = (\text{Puissance thermique introduite} - \text{Pertes}) / \text{Puissance thermique introduite}$$

(Source [1])

AN :	rendements réels	
	$\eta$ CH1 %	62,96
	$\eta$ CH2 %	62,96

Le constructeur évalue le rendement nominal des chaudières à  $\eta_{ch} \approx 80\%$

Soit un manque à gagner d'environ **18%** ; Ce manque à gagner s'explique par les pertes thermiques élevées et le fort taux d'humidité dans la bagasse. Pour remédier à ce problème, nous proposons dans la seconde partie de notre étude une solution technique pour optimiser la production de vapeur, et des mesures palliatives (issues d'un pré-diagnostic énergétique) en vue de l'amélioration des économies d'énergies au niveau des différents postes utilisateurs.

#### c) Le stockage de la vapeur surchauffée

Après la combustion dans les chaudières, la vapeur surchauffée est recueillie dans un ballon de stockage (Le Barrilet) à environ 30bars ; 380°C, avant d'être envoyée pour la détente dans les turbines. Ainsi on obtient selon le tableau 1, **1091 T/j de bagasse** ; la combustion dans les chaudières nous donne environ **2182 T/j de vapeur** qui seront stockées dans le ballon ; Notons que cette valeur s'obtient à partir du ration de consommation énergétique des chaudières qui est de **2 kg vapeur/ kg bagasse**. Enfin, lors du déstockage, il ne reste que **1877 T/j de vapeur**. Le bilan massique au niveau du ballon de stockage est résumé par la figure suivante :

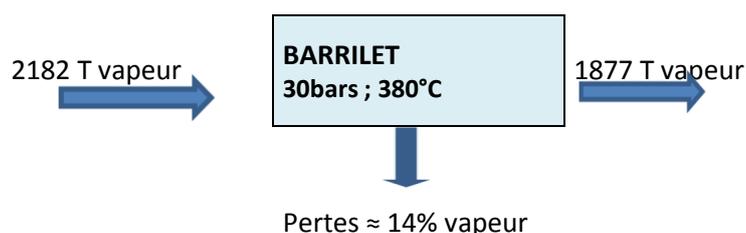


Figure 3 : bilan massique du ballon de stockage de vapeur surchauffée

d) La production d'électricité

La production d'électricité est principalement assurée par des Turbines couplées à des alternateurs. Il ya deux turbines au niveau de la centrale : un turboalternateur de **6,28 MW** et un Turboalternateur de **3MW**.

La vapeur surchauffée (**1877 T/j vapeur**) issue du ballon de stockage arrive au niveau des turbines sous pression pour la détente. On a environ **1300T/j vapeur** ;

Le reste de la vapeur (**577 T/j vapeur**) permet d'alimenter le process de fabrication et les moulins. Ceux-ci permettent de recueillir le jus de canne après l'étape de défibrage au niveau des coupes cannes. Pour l'évaluation des puissances électriques fournies, on tient compte des ratios de consommations des différentes turbines. La figure 4 ci dessous en fait un résumé.

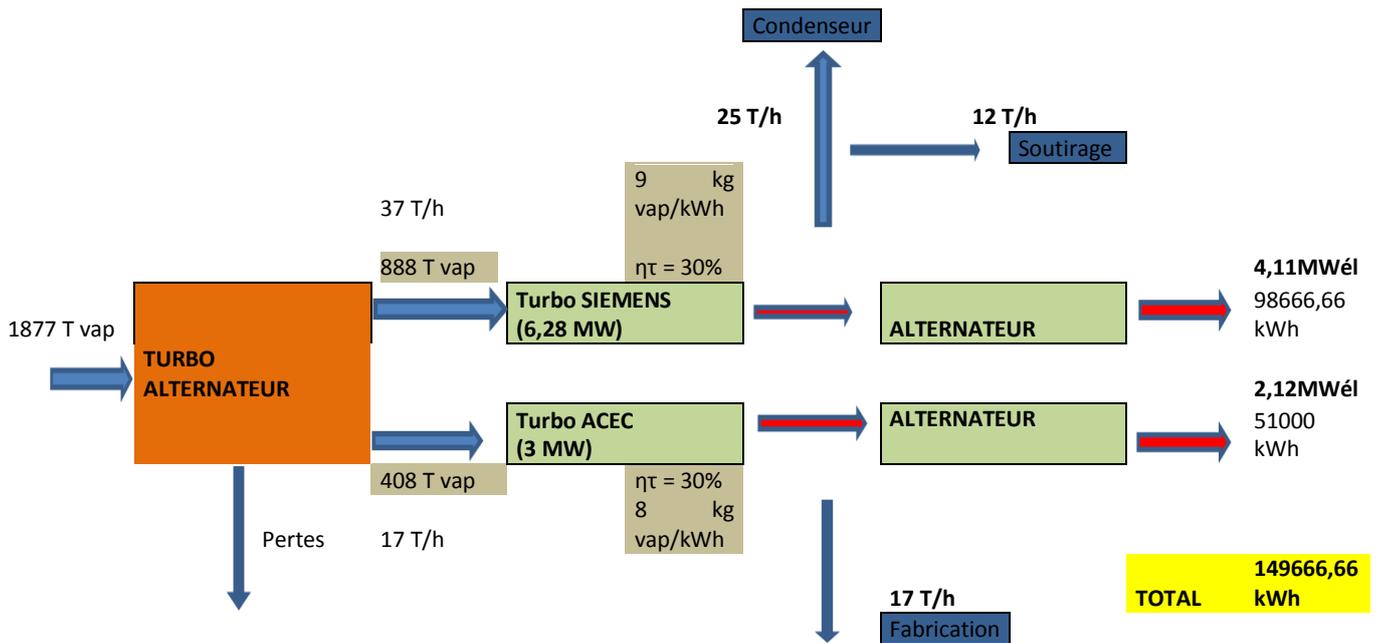
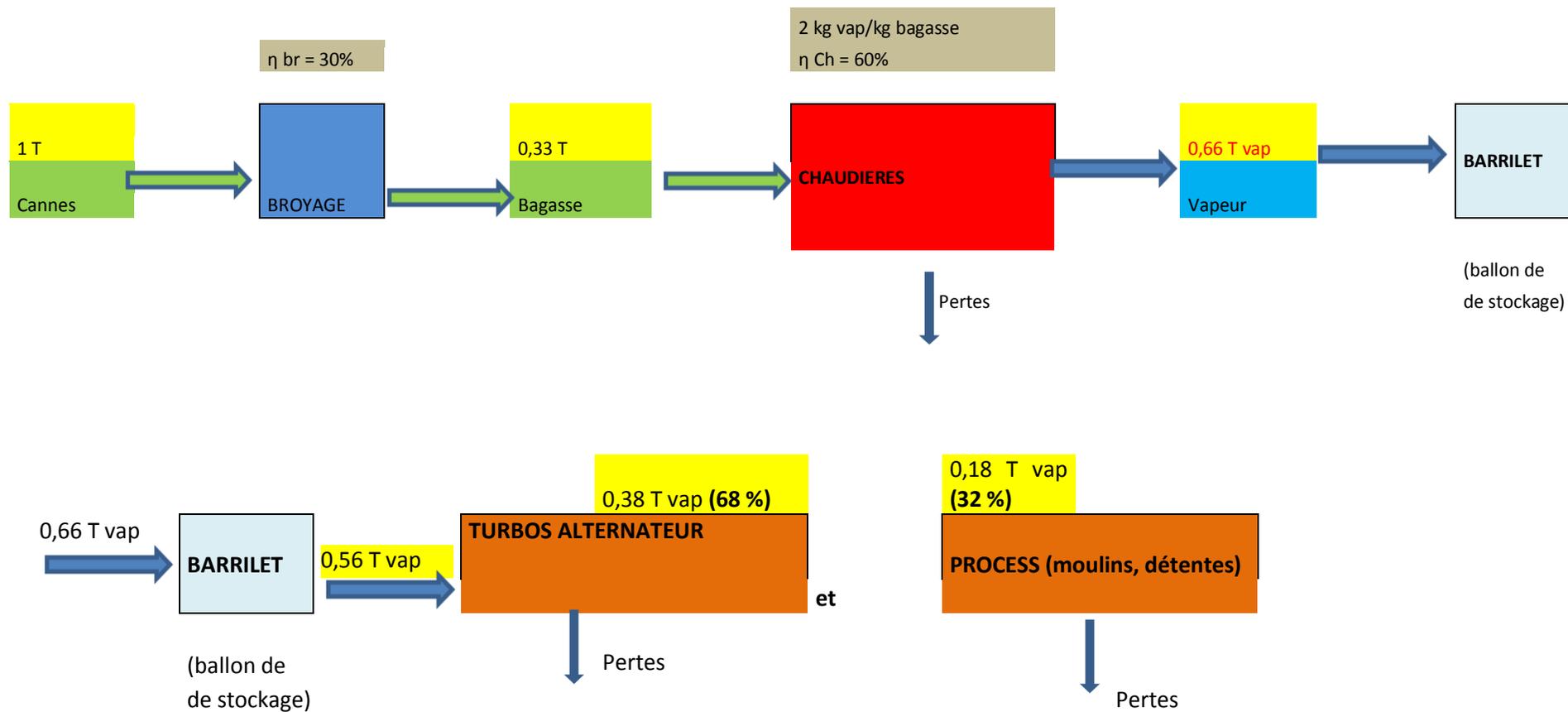


Figure 4 : Bilans matières des turboalternateurs

**NB** : Il est important de noter qu'il ya d'énormes pertes au niveau des turbines lors de la détente. Le calcul détaillé de ces pertes se fera dans la section suivante traitant du calcul des pertes de charges et d'énergies du cycle de la vapeur d'eau.

La synthèse du bilan énergétique global pour **une tonne de canne broyée** est résumée sur la figure ci-dessous :



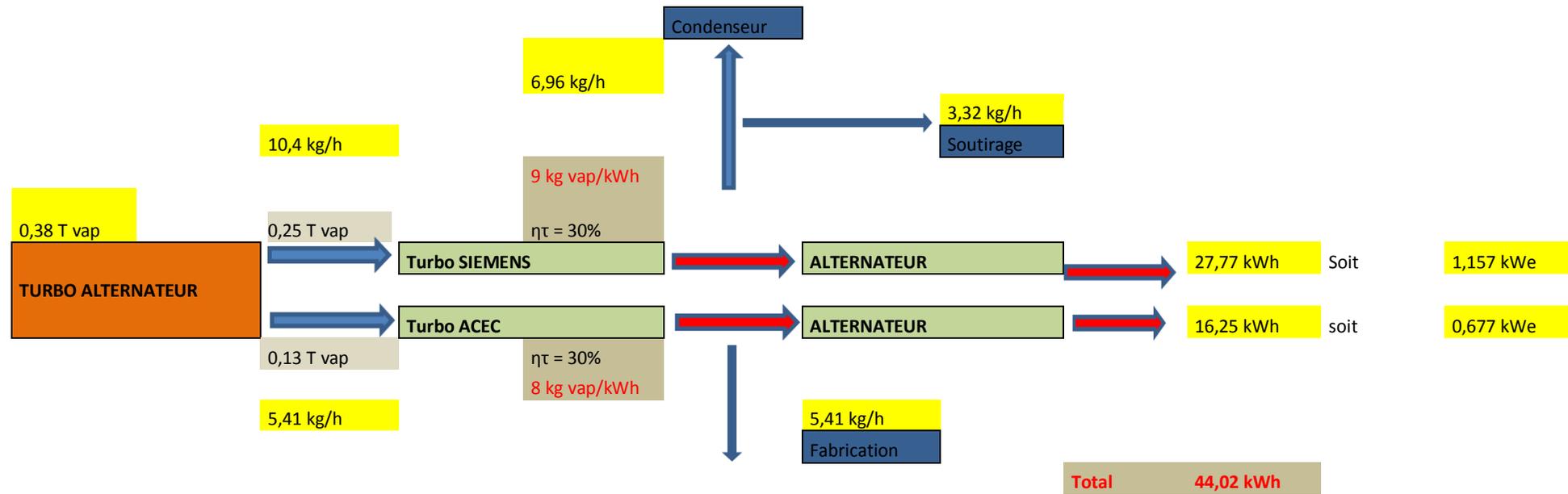


Figure 5 : Bilan énergétique global par tonne de canne broyée

## 2) Etude de remise à niveau des réseaux de vapeur

### a) Evaluation des pertes de charges

- ✓ L'évaluation des pertes de charges s'est faite à partir de la méthode de COLEBROOK <sup>[10]</sup> décrite en Annexe2. Le circuit de vapeur considéré dans notre cas est en Annexe3.

Les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Calculs des pertes de charges

TRONCONS	Longueurs (m)	φ (mm)	débit (m3/h)	vitesse (m/s)	v (cSt)	ω (kg/m3)	Re	J	SINGULARITES	
									nombre de coude à 90°	ΔP (kg/cm <sup>2</sup> )
pompe alim1 - Chaudière1	40	150	89,4	1,42126133	0,312	961,92	683298,718	0,035	8	0,28280448
pompe alim2 - Chaudière2	40	150	89,4	1,42126133	0,312	961,92	683298,718	0,035	8	0,28280448
Chaudières 1 - Barrilet	70	250	45	40	2,934	10,25	3408316,29	10	7	1,112125
Chaudières 2 - Barrilet	70	250	45	40	2,934	10,25	3408316,29	10	7	1,112125
Barrilet - Turbo Siemens	26	200	37	40	2,934	10,25	2726653,03	17	5	0,9322375
Barrilet - Turbo Acec	26	200	17	40	2,934	10,25	2726653,03	17	5	0,9322375
Barrilet - Moulins (*5)	35	200	-	40	49,7	0,3716	160965,795	15	8	0,25083
Barrilet - Détente MP (cuite)	60	50	-	40	2,934	0,3716	681663,258	100	6	0,345588
Barrilet - Détente BP (évapos)	60	50	-	40	2,934	0,3716	681663,258	100	6	0,345588
										5,59633996

## b) Evaluation des pertes d'énergies

L'évaluation des pertes d'énergies concernent essentiellement les gros consommateurs d'énergie du cycle à vapeur d'eau : à savoir la chaudière et les turbines ;

Le calcul des pertes au niveau des chaudières a été abordé dans la partie « bilan énergétique des installations » du présent rapport. Nous nous contenterons d'exposer, dans cette section, les résultats relatifs aux investigations sur les turbines.

### i- Cas de la Turbine SIEMENS : 6,28 MW

- Le cycle à vapeur d'eau

Le cycle thermodynamique à vapeur d'eau ci-dessous illustre la circulation de la vapeur d'eau avec la turbine SIEMENS (à condensation).

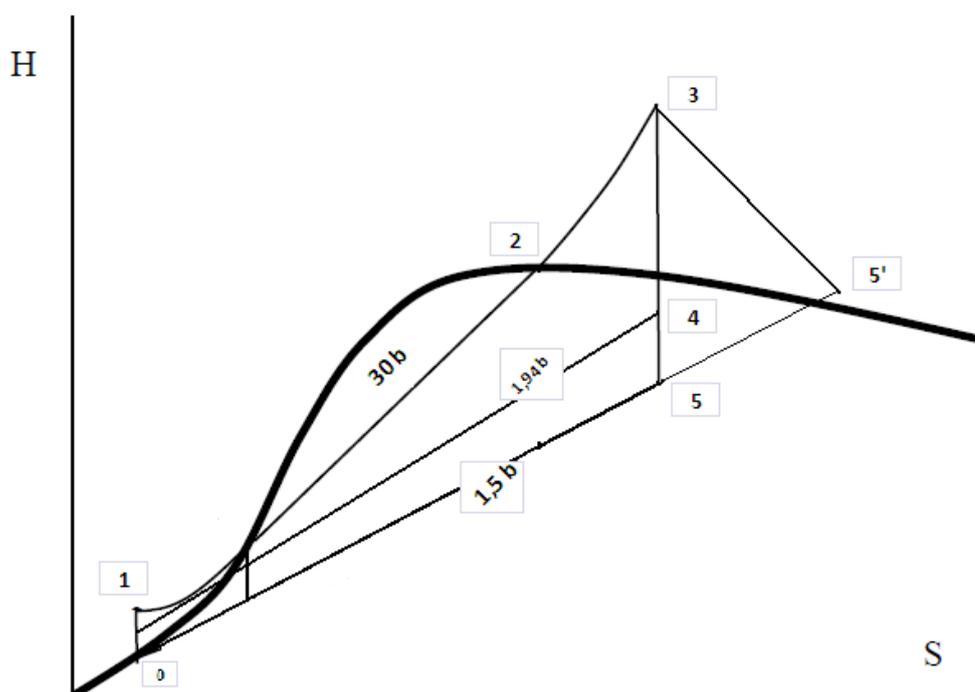


Figure 6 : Cycle de Hirn avec turbine SIEMENS

Les valeurs des enthalpies sont consignées dans le tableau 7, à la page suivante.

**NB** : La nomenclature du cycle est la suivante :

0 - 1 : pompage	3 - 5: détente théorique
1 - 2: vaporisation	3 - 5': détente réelle
2 - 3: surchauffe	4: soutirage

Tableau 7 : Tableau des enthalpies des points du cycle de Hirn avec la turbine SIEMENS

points du cycle	enthalpies (kJ/kg)	Température (°C)	Pression (bar)
0	466,9	-	1,5
1	470,55	110	38
2	2805,5	-	30
3	3200	380	30
4	2780	-	1,94
5	2500	-	1,5
5'	2750	140	1,5

- Evaluation des rendements globaux et pertes

Les formules de calculs sont en annexe4. Les Applications numériques nous donnent les résultats ci-dessous :

**Rendement thermodynamique du cycle :  $\eta_{th} = 28,97 \%$**

**Rendement interne de la turbine SIEMENS :  $\eta_i = 64,28 \%$**

**Pertes d'énergie dues à l'accroissement d'entropie : Pertes =  $100 - \eta_i = 35,71 \%$**

**On prendra pour nos calculs rendement mécanique de la turbine :  $\eta_i = 85 \%$**

Le rendement global est obtenu par le produit des trois rendements précédents ; on a :

**$\eta_{g \text{ réel}} = 15,8 \%$**

**$\eta_g \text{ théorique} = 32 \%$**

ii- Cas de la turbine ACEC : 3 MW

- Le cycle à vapeur d'eau

Le cycle thermodynamique à vapeur d'eau ci-dessous illustre la circulation de la vapeur d'eau avec la turbine ACEC (Turbine à contre-pression).

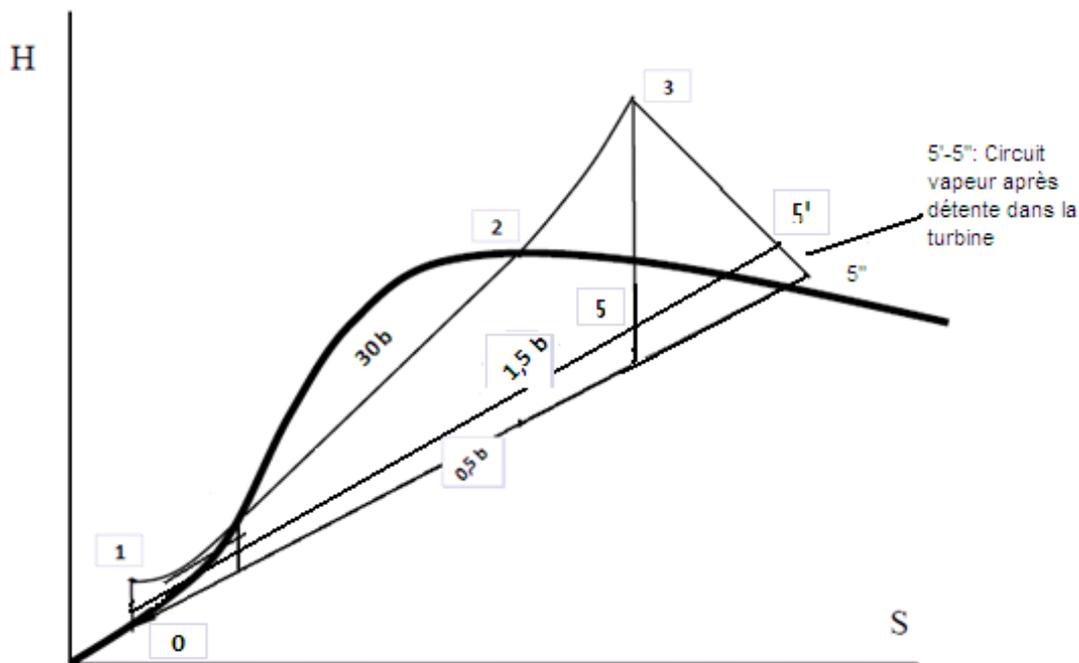


Figure 7 : Cycle de Hirn avec turbine ACEC

Les valeurs des enthalpies sont consignées dans le tableau 8

**NB** : La nomenclature du cycle est la suivante :

0 - 1 : pompage	3 - 5:détente théorique
1 - 2: vaporisation	3 - 5':détente réelle
2 - 3:surchauffe	

Tableau 8 : Tableau des enthalpies des points du cycle de Hirn avec la turbine ACEC

points du cycle	enthalpies (kJ/kg)	Température (°C)	Pression (bar)
0	191,7	-	0,1
1	195,49	110	38
2	2805,5	-	30
3	3200	380	30
4	-	-	-
5	2500	-	1,5
5'	2760	89	1,5

- Evaluation des rendements globaux et pertes

Les formules de calculs sont en annexe4. Les Applications numériques nous donnent les résultats ci-dessous :

**Rendement thermodynamique du cycle :  $\eta_{th} = 27,94 \%$**

**Rendement interne de la turbine ACEC :  $\eta_i = 62,85 \%$**

**Pertes d'énergie dues à l'accroissement d'entropie : Pertes = 100 -  $\eta_i = 37,14 \%$**

**On prendra pour nos calculs rendement mécanique de la turbine :  $\eta_i = 85 \%$**

Le rendement global est obtenu par le produit des trois rendements précédents ; on a :

**$\eta_{g \text{ réel}} = 12,4 \%$**

**$\eta_g \text{ théorique} = 32 \%$**

### c) Optimisation de la production de vapeur : Solution 1

L'optimisation de la production de vapeur passe par une bonne préparation de la bagasse en amont de la chaîne de production ; Ainsi, nous proposons un « Shredder » d'une capacité de **4000t/j** entraîné par une turbine à vapeur. Le coût de l'investissement est de 1,5 milliard FCFA ; Les marges de gain obtenues par remplacement du coupe-canne finisseur par le Shredder sont consignées dans le tableau 9.

NB: Il est important de noter que l'usine compte trois coupe cannes : un coupe-canne ébaucheur, un coupe-canne tronçonneur et un coupe-canne finisseur. Le présent calcul est fait pour le remplacement du coupe-canne finisseur par le shredder.

#### Caractéristiques de l'équipement :

Shredder type Tongaat : Puissance absorbée = 45 kW/tfh ; puissance installée = 65 kW/tfh

Un shredder Tongaat d'une capacité de 20 kW/tfh est alimenté par une turbine à vapeur de 280 kW (Source : E.HUGO « la sucrerie de cannes » P.891)

Dans notre cas : 65 kW/tfh, il nous faut une turbine de 1000 kW avec 13,5 kg vap/kWh (Source : E.HUGO « la sucrerie de cannes » PP.58-66)

Soit un débit de vapeur de :  $1000 \text{ kW} * 13,5 \text{ kg/kWh} = \underline{13,5 \text{ T/h}}$ ;

Prenons débit vapeur = **15 T/h**

Gain en extraction de Jus = 0,1 % ; Indice de Préparation (IP) = 91 (Source : E.HUGO « la sucrerie de cannes »)

Caractéristiques vapeur : Admission: 28b, 380°C (h = 3200 kJ/kg);

#### Dimensionnement du shredder :

Notre dimensionnement se base sur une consommation journalière de **4000 T/J, soit 166T/h**.

Le Shredder est un appareil destiné à la préparation de la canne avant broyage au niveau des moulins, en éclatant les fibres de la canne ; il permet un travail plus efficace des moulins en facilitant l'extraction du jus. Son nom lui vient du verbe anglais « to shred » qui signifie : couper en petits morceaux, déchiqueter, mettre en lambeaux <sup>[11]</sup>.

Le bilan massique est résumé sur la figure ci-dessous :

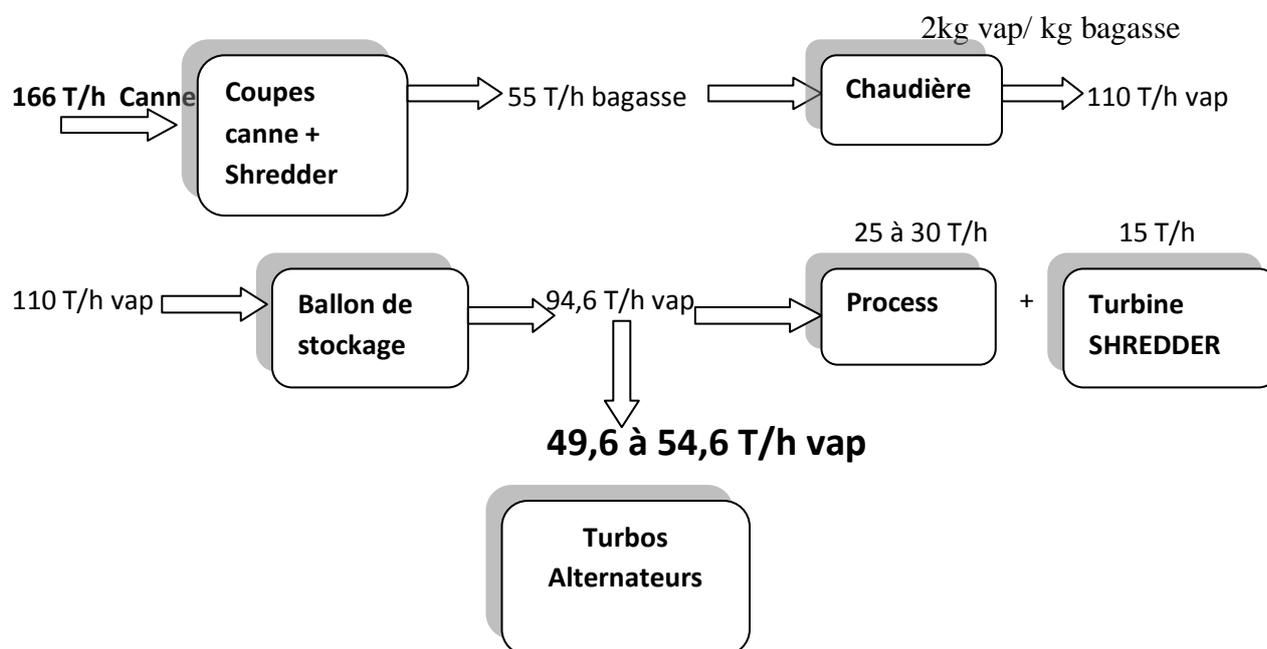


Figure 8 : bilan massique pour installation d'un shredder

L'étude technico-économique de notre solution nous a permis d'évaluer le gain financier annuel du projet d'installation d'un shredder, ainsi que le délai de rentabilité du capital investi. Les résultats sont consignés dans le tableau 9 à la page suivante.

NB : Le débit de vapeur des moulins (initialement de 19 T/h) se trouve diminuer de 10 à 15% suite à l'installation du shredder <sup>[12]</sup>

Tableau 9: Etude technico-économique de l'installation d'un Shredder à vapeur		
	Situation de référence 3200T/J	solution avec shredder 4000T/J
PUISSANCE FOURNIE kW	6220	6220
ENERGIE FOURNIE kWh	149666	149666
<b>TOTAL VAPEUR DISPONIBLE (en T/h)</b>	<b>78,2</b>	<b>94,6</b>
SIEMENS	37	37
ACEC	17	17
Moulins (diminution de 12% de consommation)	19	16,72
Détente MP (augmentation de 25% de consommation en vap)	0,9	1,125
Détente BP (augmentation de 25% de consommation en vap)	4,2	5,25
SHREDDER avec turbine à vapeur	0	15
Puissance moyenne disponible (kW)	6220	6220
Puissance réelle fournie (kW)	6220	6220
<b>Totale consommation réelle</b>	<b>78,1</b>	<b>92,10</b>
Gain en vapeur (T/h)	-	2,51
Gain en vapeur (T/J)	-	60,12
Surplus Energie en kWh	-	6 961,26
Gain financier du surplus énergie par Jour (en FCFA)	-	522 094,74
<b>Gain financier du surplus énergie vapeur par an (en FCFA) 180Jour</b>	-	<b>93 977 052,63</b>
Gain surplus puissance instantanée produite (kW)	-	0
Gain financier surplus puissance instantanée produite/J en kWh	-	0
Gain financier surplus puissance instantanée produite/an en kWh	-	0
<b>Gain financier du surplus énergie turbo par an (en FCFA) 180Jour</b>	-	<b>0</b>
<b>Gain financier de sucre produit par an (en FCFA) sur 180Jour</b>	-	<b>68 405 200,00</b>
	-	
<b>Gain financier annuel du projet:</b>	-	<b>162 382 252,63</b>
<b>Coût d'investissement en FCFA TTC</b>	-	<b>1 500 000 000,00</b>
<b>Temps de retour sur investissement (TRI en année)</b>	-	<b>9,24</b>

NB : Les calculs du TRI sont faits sans actualisation

#### d) Optimisation de la production d'électricité : Solution 2

La production d'électricité se trouve en bout de la chaîne de production d'énergie ; Une bonne production d'électricité passe d'abord par la bonne qualité de la vapeur (P=30b ; T=380°C).

Le problème majeur au niveau de la production d'électricité est que les turbines n'arrivent pas à monter en puissance.

Cela s'explique par plusieurs facteurs qui sont :

- Un accroissement d'entropie trop élevé lors de la détente
- Fuite de vapeur au niveau des brides (éléments de régulations souvent défectueux)
- La régulation n'est pas bien assurée (Ouverture et la fermeture des soupapes HP et BP)
- Turbulences dans les écoulements

Nous proposons donc des solutions pour remédier à ces problèmes :

- Limiter les turbulences dans les écoulements (assurer un bon calorifugeage)
- Assurer une bonne régulation des soupapes (Ouverture et fermeture)
- Dans une turbine à vapeur, pour optimiser la détente, il faut que la veine de vapeur soit tangentielle par rapport aux aubages de la turbine
- Réhabilitation des éléments mécaniques des turbines

La réhabilitation des éléments mécaniques des turbines consiste en une révision approfondie des turbines. On procède ensuite au remplacement des éléments suivants : Bande d'étanchéité, éléments de régulation, Calorifugeage des turbines Moulins et des Turbo alternateurs.

NB : L'offre de prix pour la liste des pièces de rechange est en annexe 7.

Le coût global de cette opération est d'environ 350 000 000 FCFA ; Nous supposons que la mise en œuvre de cette solution devrait permettre de gagner au moins 50% de la vapeur perdue lors de la détente dans les turbo-alternateurs. Le calcul technico-économique sur le gain en vapeur ainsi que le surplus de production d'énergie électrique qui en découle, sont résumés dans le tableau 10 ci dessous.

tableau 10 : Etude technico-économique de la réhabilitation des éléments mécaniques des turbines		
TURBINES	SIEMENS	ACEC
débit vapeur moyen total (t/h)	37	17
débit vapeur perdu (t/h)	11,0075	5,3465
Pourcentage récupéré sur pertes%	0,5	0,5
Quantité de vapeur récupérée(t/h)	5,50375	2,67325
Quantité de vapeur récupérée(t/J)	132,09	64,158
TOTAL vapeur récupérée (t/J)	-	196,248
Potentiel d'énergie électrique (kWh/J)	-	22 723,45
<b>Puissance instantanée récupérée (kW)</b>	-	<b>946,81</b>
	-	
Coût de ce gain énergétique/ J (FCFA)	-	1 704 258,95
<b>Coût de ce gain énergétique/ an (FCFA)</b>	-	<b>306 766 610,53</b>

**Autre Solution** : Une troisième solution, consisterait à mettre en œuvre les deux solutions simultanément, c'est-à-dire : installation d'un shredder à vapeur et la remise en état des turbines.

Le cout d'investissement global reviendrait à environ 2,3 milliards FCFA. L'étude technico-économique est résumée dans le tableau 11

Tableau 11: Etude technico-économique des deux solutions combinées: installation shredder + réhabilitation turbines		
	Situation de référence 3200T/J	solution avec shredder 4000T/J
PUISSANCE FOURNIE kW	6220	6220
ENERGIE FOURNIE kWh	149666	149666
<b>TOTAL VAPEUR DISPONIBLE (en T/h)</b>	<b>78,2</b>	<b>94,6</b>
SIEMENS	37	31,5
ACEC	17	14,4
Moulins (diminution de 12% de consommation)	19	16,72
Détente MP (augmentation de 25% de consommation en vap)	0,9	1,125
Détente BP (augmentation de 25% de consommation en vap)	4,2	5,25
SHREDDER avec turbine à vapeur	0	15
<b>Totale consommation réelle</b>	<b>78,1</b>	<b>83,995</b>
Gain en vapeur (T/h)	-	<b>10,605</b>
Gain en vapeur (T/J)	-	254,52
Surplus Energie en kWh	-	<b>29 470,74</b>
Gain financier du surplus énergie par Jour (en FCFA)	-	2 210 305,26
<b>Gain financier du surplus énergie vapeur par an (en FCFA) 180Jour</b>	-	<b>397 854 947,37</b>
Gain surplus puissance instantanée produite (kW)	-	<b>0</b>
Gain financier surplus puissance instantanée produite/J en kWh	-	0
Gain financier surplus puissance instantanée produite/an en kWh	-	0
<b>Gain financier du surplus énergie turbo par an (en FCFA) 180Jour</b>	-	<b>0</b>
<b>Gain financier de sucre produit par an (en FCFA) sur 180Jour</b>	-	<b>68 405 200,00</b>
	-	
<b>Gain financier annuel du projet:</b>	-	<b>466 260 147,37</b>
Cout d'investissement Shredder	-	1 500 000 000,00
Cout d'investissement révision Turbine	-	253 859 707,00
Investissement TOTAL	-	1 753 859 707,00
<b>Cout d'investissement GLOBAL FCFA TTC</b>	-	<b>2 280 017 619,10</b>
<b>Temps de retour sur investissement (TRI en années)</b>	-	<b>4,89</b>

**NB** : Les calculs du TRI sont faits sans actualisation

### 3) Diagnostic des performances énergétiques (DPE)

Etape 0 : Fréquence des problèmes rencontrés

Le récapitulatif des pannes survenues lors de la campagne sucrière 2010-2011, se résume par le graphique ci-dessous (source Direction usine-service Labo):

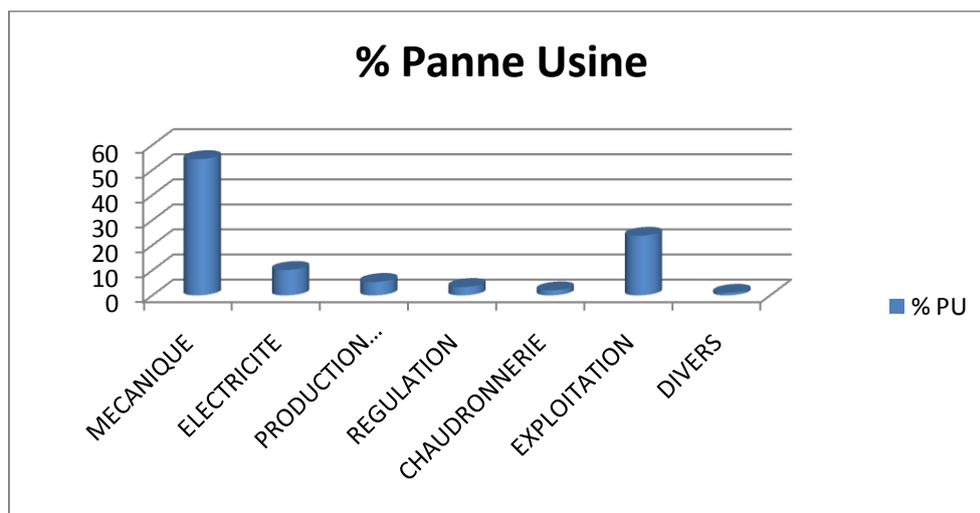


Figure 9 : Pourcentage des pannes Usine

Etape 1 : Collecte des données

La phase de collecte des données nous a permis de recueillir les données relatives au suivi des consommations énergétiques de l'usine dans le cadre du suivi habituel.

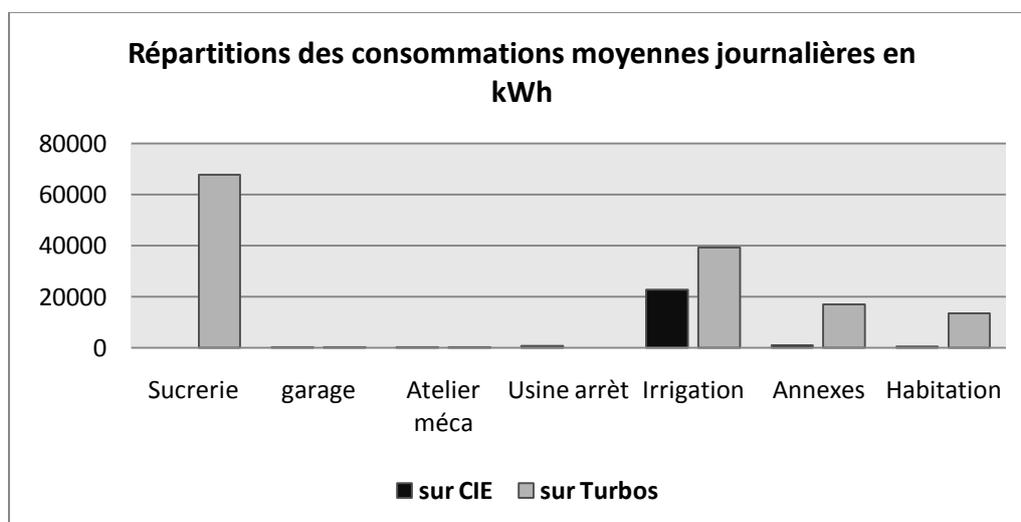


Figure 10 : répartitions des consommations moyennes journalières

### Etape 2 : Réalisation des mesures

Nous avons effectué des mesures (débit massique, débit vapeur, consommation d'électricité, pertes de charges) qui nous ont permis de réaliser le bilan énergétique de toute la chaufferie. (Voir respectivement Tableaux 4, 5, 6 et figure 10)

### Etape 3 : Hiérarchisation des actions

L'examen de l'ensemble des informations recueillies lors des étapes 0 à 2 permet de dresser la liste de toutes les actions envisageables : actions simples et de bon sens, actions d'entretien courant, actions nécessitant des investissements. Le récapitulatif des mesures d'économies d'énergie est résumé dans le tableau 10 à la page suivante.

Tableau 12 : Mesures d'économies d'énergies <sup>[8]</sup>

<b>Production d'énergie sous chaudière</b>	
-	Bonne adaptation de la puissance des brûleurs à la production et au rythme d'activité
-	Assurer la continuité de marche des ventilateurs de tirage
-	Abaissier la température des fumées
-	Encourager le séchage de la bagasse avant d'arriver dans la chambre de combustion
-	Possibilité d'un choix optionnel d'énergie en cas de rupture d'approvisionnement
-	Optimisation des réglages de combustion pour maintenir le meilleur rendement de production d'énergie
<b>Réseaux de distribution</b>	
-	Maintien en état des réseaux de distribution (calorifugeage, conception adéquate aux besoins), du ballon de stockage, des purgeurs, des vannes, etc.
-	Récupération optimale des condensats
-	Remplacer les éléments de régulation défaillants : clapet automatique, vanne d'isolement, vanne de régulation, vanne prise vapeur.
<b>Evaporateurs</b>	
-	Régulation de vapeur adaptée
-	Suppression des durées inutiles de maintien en température
-	Récupérations d'énergie sur les rejets pour une utilisation adaptée à la température
-	Vérification régulière de l'état d'encrassement des évaporateurs
<b>Motorisation (économie d'énergie possible = 4%)</b>	
-	Constitution d'un plan de suivi du parc des moteurs (historique, implantations, fiches d'identité, fréquences d'interventions et des pannes, etc.)
-	Choix des moteurs en fonction de l'utilisation (type, puissance, rythme d'utilisation). Limiter les marges de sécurité trop importantes sur la puissance
-	Renouvellement des moteurs anciens par des moteurs neufs de meilleure efficacité
-	Arrêt des rebobinages trop fréquents de moteur, qui détériorent le rendement et dont le coût est parfois équivalent à celui de l'achat d'un moteur neuf.
<b>Pompage (économie d'énergie possible = 1%)</b>	
-	Optimisation du fonctionnement par une gestion technique centralisée
<b>Eclairage (économie d'énergie possible = 0,5%)</b>	
-	Optimisation du niveau d'éclairage en fonction de l'usage
-	Possibilités d'installations d'automatismes : déclencheurs automatiques, asservissement à la lumière du jour, programmation des allumages/extinction
-	Entretien des luminaires
-	Adoption de technologie à basse consommation d'énergie en fonction de l'usage (type de local, durée continue ou intermittente).

## **B. propositions de solutions en vue d'accroître l'indépendance énergétique de l'usine**

### **a) Valorisation de la mélasse en biogaz**

En vue de la réalisation d'économies d'énergies dans le procédé, nous proposons la méthanisation de la mélasse, puis valorisation du biogaz issu de cette méthanisation, en électricité.

On part sur la base d'une production minimale de 100 tonnes de mélasse par jour (source direction usine-Service Laboratoire). L'estimation des couts financiers et de production d'électricité s'est faite par rapport à ceux des usines biogaz de HAREN et WOTERSEN en Allemagne (Voir Annexes 5 et 6) <sup>[15]</sup> ; Ce biogaz est obtenu par valorisation de l'ensilage de maïs. Le calcul estimatif se justifie par les potentiels méthanogènes très voisins que possèdent l'ensilage de maïs et la mélasse.

En effet, on a pour 1Tonne de substrat : 205 m<sup>3</sup> de biogaz par tonne d'ensilage de maïs et 228 m<sup>3</sup> de biogaz par tonne de mélasse. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 11 ci-dessous.

<b>COUTS DE L'INSTALLATION</b>	
Quantité de substrat (Mélasse) consommé par jour (T)	<b>100,00</b>
1 INSTALLATION DE 500 KW (FCFA)	1 310 000 000
1 INSTALLATION DE 1500 KW (FCFA)	1 637 500 000
<b>COUT TOTAL INVESTISSEMENT</b>	<b>2 947 500 000,00</b>
Energie produite par jour (kWh) E	48 000,00
Consommation interne d'énergie pour l'usine (brasseurs, pompes) <b>8%E</b>	3 840,00
Gain réalisé sur énergie CIE par année (FCFA)	596 160 000
Cout de maintenance annuel (FCFA)	65 500 000
<b>Bénéfice net annuel du projet (FCFA)</b>	<b>568 620 329,02</b>
<b>Temps de retour sur investissement (en année)</b>	<b>5,18</b>

## b) Etude d'impact environnemental

La production et l'utilisation du biogaz ont un impact positif sur l'environnement. En effet, Le biogaz produit se substitue à l'énergie de la CIE. Notre projet de production d'électricité 'verte', permet de produire environ **45000 kWh par jour**. On sait que la production d'énergie par la CIE génère 0,7291 t eq CO2 par MWh produit <sup>[13]</sup>. Alors notre projet permettra d'éviter environ **5795 t eq CO2 par an**.

Notre projet est-il éligible au MDP ?

Pour répondre à cette question il est important de faire un bref rappel sur ce qu'est le **MDP** et évaluer si notre projet peut bénéficier ou non des subventions de ce programme. En effet le terme **MDP** signifie **Mécanisme pour le développement propre**. Il fait partie des deux mécanismes arrêtés au protocole de **Kyoto** en **1997**. Le **MDP** tout comme le second mécanisme **MOC (Mise en œuvre conjointe)** vise à encourager tout projet luttant contre les émissions du **CO2** dans le monde. Il ressort de ses textes que le prix alloué à 1 tonne de CO2 évitée est de **10 euros** <sup>[14]</sup>. La quantité de CO2 séquestrée par notre projet est de 5795 t eq CO2 par an, équivalent à un coût de **57 955 euros soit 37 960 329 FCFA**.

C'est un projet de production d'énergie par des déchets végétaux. L'éligibilité au MDP dépend des deux conditions suivantes <sup>[17]</sup> :

- Le projet doit être en conformité avec la politique nationale de Développement Durable du pays hôte
- Additionnalité des émissions engendrées

L'analyse des critères d'éligibilité de projets MDP en CI <sup>[iv]</sup>, (voir Annexe 8) nous permet de dire que notre projet pourrait être éligible au MDP. Cependant, il faudrait une certification d'un organisme spécialisé (tel que SGS ou VERITAS) sur la nature de l'éligibilité au MDP de notre projet.

## V- DISCUSSIONS ET ANALYSES

### A. Analyses des études énergétiques

#### 1) Analyse du Bilan énergétique des installations (de la bagasse à l'électricité)

Au regard du bilan global réalisé, nous constatons qu'il ya d'énormes pertes enregistrées au niveau des chaudières, du ballon de stockage, des turbines et dans les canalisations. Le bilan global réalisé par tonne de canne broyée nous donne 44 kWh produit en fin de procédé contre environ 55 kWh dans un procédé efficace. <sup>[16]</sup>

Au niveau des chaudières, on a des pertes très élevées correspondant à un manque à gagner de 18 à 20% ; C'est ce qui explique le faible rendement de combustion ( $\eta \approx 60\%$ );

Au niveau du ballon de stockage, on évalue les pertes à 0,1 T vapeur par Tonne de canne broyée ; soit environ 14% de pertes au niveau du stockage de la vapeur.

Le pic des pertes s'enregistre au niveau des turbines. En effet, on a respectivement lors des détentes, 28% et 39% de pertes de vapeur pour les turbines à condensation (SIEMENS) et à contre pression (ACEC). Ce qui impute sur les rendements globaux des cycles à vapeur d'eau.

Ainsi, on a pour la turbine à condensation un rendement global  $\eta_g=15,8\%$  contre  $\eta_g=32\%$  (valeur théorique); soit un manque à gagner de 17% et pour la turbine à contre pression  $\eta_g=12,4\%$  ; soit un manque à gagner de 19,6%. L'amélioration de ces rendements globaux est déterminante dans l'optimisation des consommations énergétiques de l'usine entière. C'est pour cela que nous avons proposé des solutions exploitables à moyen terme en vue de l'optimisation de la production de vapeur et d'électricité.

## 2) Analyses de l'Etude de remise à niveau des réseaux de vapeur

- Optimisation de la production de vapeur

L'installation du shredder englobe un coût d'investissement de **1,5 Milliard FCFA**.

Les gains en vapeur s'élèvent à environ **60 T/j de vapeur**. Ce qui correspond à une production énergétique journalière d'environ **6 960 kWh/J**. L'équivalent financier de ce gain énergétique se fait par rapport au coût moyen de l'énergie produite par la CIE, qui est d'environ 75 FCFA/kWh, on a un gain sur énergie de **93 977 052 FCFA/an**.

A cela s'ajoute le gain au niveau du taux de sucre extrait en utilisant un shredder ; On l'évalue à **0.1%** de jus extrait en plus (Source : E.HUGOT, « *la sucrerie de cannes* » P.299). On part sur la base d'une production annuelle de 434.380 T (cette valeur a été retenue pour nos estimations compte tenu des objectifs futurs de production). Ce qui nous fait un surplus de production sucrière de **117,94 T/an**.

En considérant 1T de sucre à 580.000FCFA, on a un gain de **68.405.200 FCFA**. **Le gain financier total du projet s'élève à 162 382 252 FCFA/an**

Ainsi, on a un **temps de retour sur investissement  $\approx$  9 ans**. Avec une exploitation de l'équipement sur 15 à 20 ans;

- Optimisation de la production d'électricité

La mise en œuvre de la solution consistant à réhabiliter les éléments mécaniques des turbines, coûte environ 350 000 000 FCFA ; En revanche, cette solution permet d'avoir un surplus d'énergie électrique d'environ 22 700 kWh par jour, soit un gain financier sur CIE d'environ 300 000 000 FCFA par année. Le temps de retour sur investissement est de 1,2 an. Cette solution est d'autant plus rentable qu'elle représente un énorme potentiel d'économies d'énergies qui peut être réalisé au sein de l'usine.

- Solution combinée : Installation d'un Shredder à vapeur et réhabilitation des turbines

La réalisation de cette troisième solution est de loin la plus rentable. En effet, on a un coût d'investissement d'environ 2,3 Milliards FCFA. On a un surplus de vapeur d'environ 250 T/J ; Ce qui équivaut à un surplus énergie de 29 MWh par jour. Cela engendre un gain sur CIE d'environ 397 Millions FCFA par année. A cela s'ajoute le gain sur le taux d'extraction du sucre, qui est de 0,1 % ; Finalement, on obtient aussi un gain en production de sucre, d'environ 117 T par année, soit un gain financier de **68.405.200 FCFA. Le gain financier annuel du projet est d'environ 466 Millions FCFA.**

Le temps de retour sur investissement est d'environ **5 ans ; ce projet est donc très rentable.**

- Diagnostic des Performances énergétiques

Le DPE nous a permis de dresser un tableau regroupant un certain nombre d'actions d'entretiens courants, et des mesures d'économies d'énergies, dans une approche globale, c'est-à-dire en tenant compte de tous les choix énergétiques et technologiques disponibles, des caractéristiques des installations existantes, et des contraintes internes à l'entreprise (structure, expertise disponible, etc.) et externes, liées à son environnement local. La réalisation de ce tableau est basée sur l'expérience menée par les experts en la matière, auprès des entreprises françaises dans le cadre d'un programme d'actions collectives ADEME/IFTH sur la maîtrise de l'énergie.

## **B. Analyse des propositions de solutions éco-énergétiques**

### **a) Valorisation de la mélasse en biogaz**

La production et l'utilisation du biogaz ont un impact positif sur l'environnement. En effet, le biogaz se substitue très fréquemment aux énergies fossiles ce qui contribue à réduire Les émissions de gaz à effet de serre, responsables en partie du dérèglement climatique.

Au cours de leur transformation, les matières organiques végétales utilisées directement ou indirectement pour produire du biogaz émettent la même quantité de CO<sub>2</sub> que celle absorbée pendant leur croissance ou leur production. Dès lors, l'utilisation de la biomasse, continuellement renouvelable, engendre un processus de cycle. L'émission de CO<sub>2</sub> est maîtrisée et stabilisée <sup>[15]</sup>.

Notre projet biogaz a permis de séquestrer une importante quantité de CO<sub>2</sub> d'environ 5795 T eq CO<sub>2</sub> par an. En plus, le temps de retour sur investissement est de 5 ans, ce qui montre que notre projet est rentable. Il est important de signaler, qu'en plus du biogaz et de l'électricité produite, notre projet permettra d'obtenir un digestat en fin de méthanisation d'environ 65 à 70 Tonnes par jour, qui pourra aussi être utilisé pour épandage dans les plantations.

En plus, la viabilité de notre projet par rapport au développement durable se justifie à 3 niveaux.

Au Niveau Social : Appropriation de la technologie propre, développement et renforcement des capacités des acteurs

Au niveau Economique : Rentabilité économique (596 160 000 FCFA économisée par an sur électricité CIE).

Au niveau environnemental : Gestion durable des ressources naturelles (bagasse de canne), lutte contre le changement climatique et la durabilité de l'environnement local.

## VI- RECOMMANDATIONS

### a) Sur le plan énergie

L'analyse approfondie du bilan énergétique global (figure 5 : Bilan énergétique global par tonne de canne broyée), nous ressort que l'efficacité du procédé est encore très faible. En effet, pour une tonne de canne broyée, l'UAI produit **44 kWh** au lieu de **55 kWh**, dans le cas d'un procédé efficace (Source [16]). Il ya donc un manque à gagner d'environ **11 kWh** par tonne de canne broyée. Dans une vision d'économie d'énergie, il serait bénéfique d'entamer des études sur le séchage de la bagasse avant sa combustion dans le foyer. Le taux d'humidité à retirer de la bagasse est un facteur déterminant pour réaliser de bonnes économies d'énergies en combustion. En effet, selon E.HUGOT dans « *la sucrerie de cannes* » PP.867, « Il n'ya pas d'intérêt à sécher au dessous de 10% d'humidité, car la bagasse risquerait de remonter par elle même à 10% en absorbant l'humidité ambiante. On peut par exemple s'arrêter à 10, 15 ou 20% et utiliser la chaleur restant disponible dans les gaz dans un autre échangeur, par exemple un petit économiseur ».

De plus, il serait bénéfique à long terme de remplacer les turbines en vue de rentabiliser les consommations de vapeur et optimiser d'avantage la production d'électricité. Aussi, dans la même optique, il serait judicieux d'évaluer le bilan énergétique au niveau de la sucrerie (évaporateurs, appareils à cuire), en partant du jus de cannes jusqu'à la production de sucre cristallisé. Quelle est l'énergie consommée actuellement ? Quelle devrait-être l'énergie juste nécessaire pour le process ? Quelles sont les économies d'énergies réalisables en vue d'améliorer l'efficacité du process ?

### b) Sur le plan environnemental

Le biométhane en usage dans une centrale à gaz est plus écologique et compétitif que les énergies électriques d'origine fossiles délivrées par la CIE.

La mise en œuvre de cette solution permettra à l'UAI d'être autonome du point de vue énergie électrique avec une production d'environ 45 MWh par Jour, ce qui aura pour effet de réduire d'environ 50% le taux d'indépendance énergétique pendant l'inter-campagne. L'UAI évitera des émissions de GES de 5795 TCO<sub>2e</sub> par an, soit l'équivalent de 57 955 euros soit 37 960 329 FCFA à raison de 10 euros la TCO<sub>2e</sub>, pour un besoin d'investissement de 2,9 milliards FCFA.

## VII- CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Ce projet nous a permis de nous rendre compte de l'énorme potentiel d'économies d'énergies et des possibilités de ressources énergétiques valorisables, que possèdent l'UAI. Le bilan énergétique que nous avons réalisé, nous montre bien la faible efficacité du procédé de production d'énergie, avec un manque à gagner d'environ 11 kWh par Tonne de canne broyée. C'est dans cette optique que nous avons proposé la solution combinée installation d'un Shredder à vapeur et une révision approfondie des turbines. Cette solution permettra de rentabiliser les consommations d'énergie et la production d'électricité. En effet, avec un investissement de 2,3 Milliards, on a un gain sur énergie de 29 MWh/J et un surplus de production sucrière de 117 T/an, avec un temps de retour sur investissement d'environ 5 ans.

A cela s'ajoute la valorisation de la mélasse. Nous avons proposé un dimensionnement d'une usine Biogaz, en partant d'un substrat de 100 Tonnes de mélasse par jour, pour produire environ 45 MWh/J pour une puissance instantanée de 2 MW. Le cout d'investissement s'élève à 2,9 Milliards FCFA, avec un temps de retour sur investissement de 5ans. L'UAI pourra éviter une émission d'environ 5795 TCO<sub>2</sub>e par an. Ce projet Biogaz génère des crédits carbonés équivalents à 37 millions FCFA par an. Au cas où la mise en œuvre de ce projet devrait se faire, une démarche rigoureuse d'études technico-économique et de recherche de financements (Fonds propres, MDP..) reste obligatoire. Par ailleurs, il serait bénéfique, dans la mesure où ce projet séquestre une importante quantité de CO<sub>2</sub>, de s'engager dans la démarche du MDP, afin de trouver les ressources nécessaires au financement de ce projet.

En plus des économies d'énergies réalisables au niveau de toute la chaufferie, une étude peut-être faite sur les consommations d'énergie de la sucrerie (évaporateurs, appareils à cuire, centrifugeuses...), en vue de mieux cerner le volet consommation d'énergie de l'usine, et augmenter l'efficacité énergétique du procédé allant de la production du jus de canne à la production du sucre en poudre.

## VIII- BIBLIOGRAPHIE

- [1] : A. Bensakhria, .2011. Cours : *Combustion et Chaudières*
- [2] : Y. COULIBALY, .2011. Cours : *Économies d'énergies dans le bâtiment et l'industrie MGEER*
- [3] : François Broust, .2009. Cours : *Combustion et Biomasse Chaudières : Principes et bilans énergétiques*
- [4] : Y. COULIBALY, .2009. Cours *Thermodynamique Appliquée Master1 énergie*
- [5] : Christel BRUNSCHWIG, .2010. Cours *Les filières biochimiques pour la production de biocarburants*
- [6] : A. BAYILI, .2009-2010. Mémoire *Optimisation énergétique d'une UAI : cas de SUCRIVOIRE, unité de Zuenoula*
- [8] : Thématique : Les diagnostics énergétiques, Fiches techniques PRISME n°3
- [9] : J. BLIN, .2010. Cours : *Chimie Biochimie associées à la biomasse énergie Master 1 énergie*
- [10] Catalogue-Formulaire N° 79/1, 1<sup>ère</sup> EDITION (Novembre 1979) SERSEG
- [11] E. HUGOT, *La sucrerie de cannes*, 3<sup>e</sup> EDITION. Techniques & Documentation-Lavoisier
- [12] Mouhamadou NIANG, .2007-2008. Mémoire *Etude technico-économique des systèmes d'entraînement pour la commande du shredder et du 6<sup>e</sup> moulin de la compagnie sucrière sénégalaise*
- [13] CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM-PROJECT DESIGN DOCUMENT FORM AKUEDO (CDM-PDD) Version 03 - in effect as of: 28 July 2006
- [14] Projet intégrateur Master2 2010-2011, *Valorisation des résidus organiques du 2IE par méthanisation pour l'alimentation en biogaz du restaurant de Kamboinsé.*
- [15] CAUSSADES Semences *Production de biogaz*, Octobre 2006

[16] P. GIRARD, Conférence FOAD Biomasse & énergie Les agro-industries et le potentiel de production d'électricité en Afrique : Quels enjeux pour quelles technologies ?

[17] Elodie HANFF, Les crédits Carbones une opportunité pour le développement des projets biomasse énergie en Afrique de l'Ouest ; Programme changements climatiques

### **Sites Internet**

[i] <http://www.thermodynamique.com/spip.php?article14> (consulté en Mars 2011)

[ii] [http://www.etab.accaen.fr/circocaensud/Ressources\\_pedagogiques/Ressources\\_tous\\_cycles/CRSTD/Changements%20d'E9tat.htm](http://www.etab.accaen.fr/circocaensud/Ressources_pedagogiques/Ressources_tous_cycles/CRSTD/Changements%20d'E9tat.htm) (Consulté en Mars 2011)

[iii] [www.siemens.com/energy](http://www.siemens.com/energy) (consulté le 5 Mai 2011)

[iv] <http://www.mdp-cotedivoire.org/documents/fr/1.pdf> (consulté le 4 juin 2011)

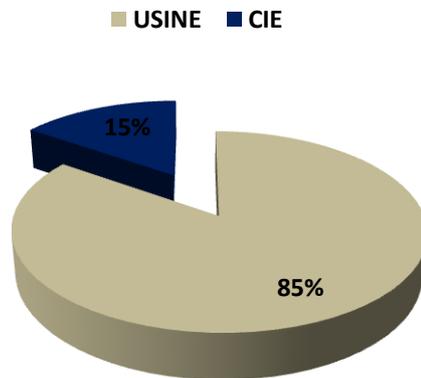
**IX- ANNEXES**

Annexe1 : Taux d'indépendance et consommation énergétiques de l'usine .....	P44
Annexe2 : Extrait de méthode de COLEBROOK .....	P45
Annexe3 : Circuit de la vapeur d'eau .....	P46
Annexe4 : Schéma synoptique du process.....	P47
Annexe5 : Formulaire .....	P48
Annexe6 : Usine Biogaz de WOTERSEN.....	P50
Annexe7 : Usine Biogaz de HAREN.....	P51
Annexe8: Offre de prix pour révision approfondie de la turbine.....	P52
Annexe9: Critères d'éligibilité de projets MDP en CI.....	P54
Annexe10: Planning du stage.....	P58

**Annexe I : Taux d'indépendance et consommations énergétiques de l'usine**

USINE	137765 kWh / J
CIE	24775 kWh / J

Tableau des consommations d'énergie moyennes journalières en kWh

**Répartition de la production d'énergie moyenne journalière (en %)**

**Annexe II : Méthode de COLEBROOK**

Extrait du « Catalogue-Formulaire SERSEG. » PP. F163-164

Principe de la méthode de calcul de Colebrook et marche à suivre

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

$\Delta P$  : perte de charge cherchée en  $\text{kg/cm}^2$

L : longueur droite fictive de la tuyauterie en m

$\omega$  : poids spécifique du fluide dans les conditions de température et de pression de l'écoulement en  $\text{kg/m}^3$

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 **R** caractérisant l'écoulement. Nous indiquons ci-dessous les moyens pratiques pour déterminer ces quatre paramètres d'entrée.

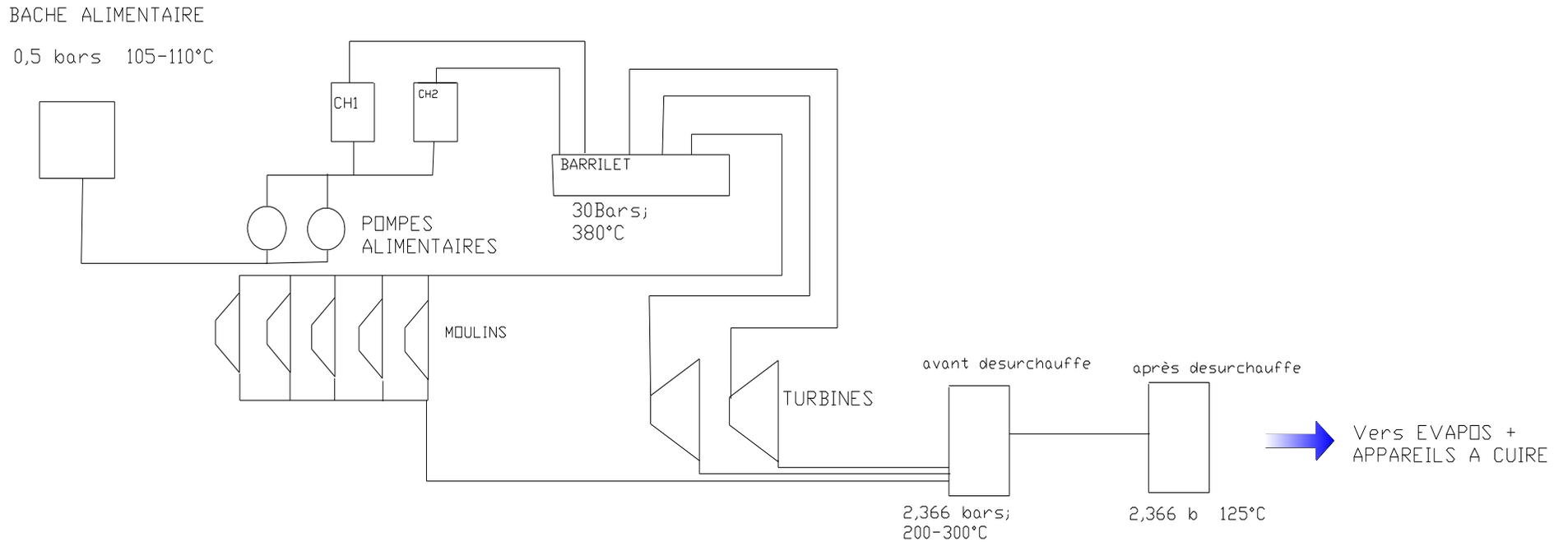
*1° détermination des paramètres d'entrée*

- 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  $\nu = 1000 \mu / \omega$
- Poids spécifique réel (en  $\text{kg/m}^3$ )

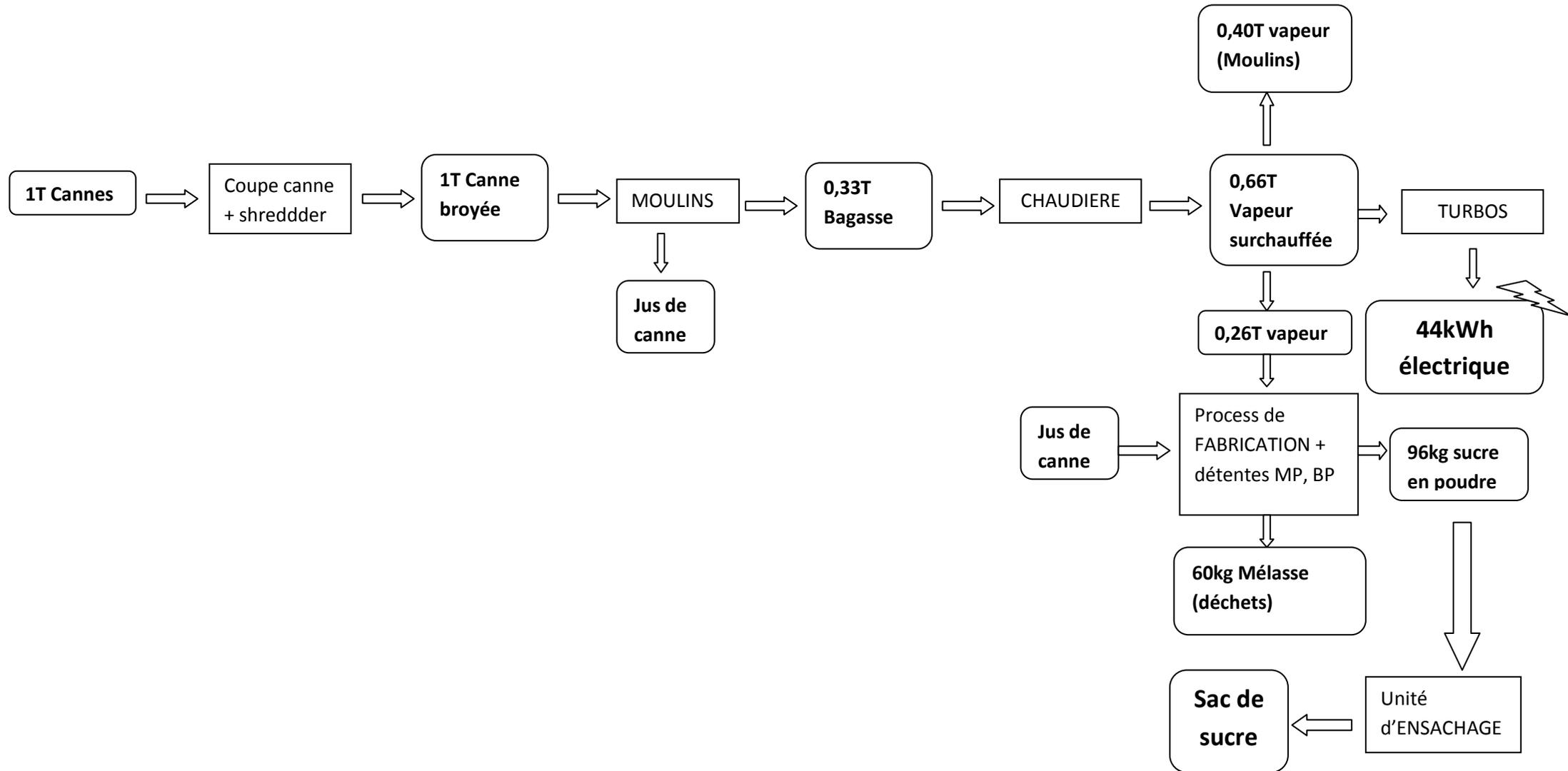
*2° détermination du coefficient J*

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

**Annexe III : Circuit de la vapeur d'eau**



Annexe IV : Schéma synoptique du process de production d'énergie





Formules 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)

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

$m_c$  : débit de combustible (kg/h ou Nm<sup>3</sup>/h)

$m_a$  : débit d'air (kg/h ou Nm<sup>3</sup>/h)

$PCI$  : pouvoir calorifique inférieur du combustible (kcal/kg ou kcal/Nm<sup>3</sup>)

$h_c$  : enthalpie du combustible (kcal/kg ou kcal/ Nm<sup>3</sup>)

$h_a$  : enthalpie d'air (kcal/kg ou kcal/Nm<sup>3</sup>)

**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 Nm<sup>3</sup>/h)

$VFH$  : volume de fumées humides produits (Nm<sup>3</sup>/kg ou Nm<sup>3</sup>/ Nm<sup>3</sup>)

$C_{pf}$  : chaleur spécifique moyenne des fumées (kcal/Nm<sup>3</sup>°C)

$t_{sf}$  : température de sortie de fumées en cheminée (°C)

**Imbrûlés solides**

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

$m_m$  : 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 VI : Usine Biogaz de WOTERSEN

## Usine biogaz de WOTERSEN



- ✓ Puissance de l'installation : 1 500 kW
- ✓ Année de construction : 2004
- ✓ Main-d'œuvre : 1,5 personnes
- ✓ Nombre d'unité de production de biogaz : 3
- ✓ Type de digesteur : digesteur infiniment mélangé
- ✓ Montant de l'investissement : 2 500 000 € (part élevée d'auto-construction)
- ✓ Coût annuel de maintenance de l'installation : 74 000 €
- ✓ Vente d'électricité : 1 640 000 €
- ✓ Valorisation de la chaleur : néant
- ✓ Substrat utilisé : ensilage de maïs à 32% de MS
- ✓ Quantité de substrat consommée quotidiennement : 75 tonnes
- ✓ Valorisation du digestat : épandage sur la culture de maïs (45 m<sup>3</sup>/ha)

Extrait de CAUSSADES Semences *Production de biogaz*, Octobre 2006

## Annexe VII : Usine Biogaz de HAREN

## Usine biogaz de HAREN



- ✓ Puissance de l'installation : 500 kW
- ✓ Année de construction : 2005
- ✓ Main-d'œuvre : 2 personnes
- ✓ Nombre d'unité de production de biogaz : 1
- ✓ Type de digesteur : digesteur infiniment mélangé
- ✓ Montant de l'investissement : 2 000 000 €
- ✓ Coût annuel de maintenance de l'installation : 50 000 €
- ✓ Vente d'électricité : 760 000 €
- ✓ Valorisation de la chaleur : séchoir de céréales
- ✓ Substrat utilisé : ensilage de maïs à 32% de MS
- ✓ Quantité de substrat consommée quotidiennement : 25 tonnes
- ✓ Valorisation du digestat : épandage sur la culture de maïs en contrat

Extrait de CAUSSADES Semences *Production de biogaz*, Octobre 2006

Annexe VIII : Offre de prix pour révision approfondie turbine			
DESIGNATION	Quantité	Prix unitaire	Prix TOTAL
<b>Réducteur</b>			
Révision approfondie de la turbine	1	53 064 376,00	53 064 376,00
Coussinets de palier pour PV	2	8 166 260,00	16 332 520,00
Palier de pignon	2	11 613 449,00	23 226 898,00
Patin de butée oscillant + goupille de maintien	1	9 362 671,00	9 362 671,00
coussinet palier avant	1	10 223 498,00	10 223 498,00
coussinet palier arrière	1	11 294 791,00	11 294 791,00
Bande d'étanchéité et matériau à mäter boîte AV	1	2 426 274,00	2 426 274,00
Bande d'étanchéité et matériau à mäter boîte AR	1	3 928 606,00	3 928 606,00
Bande d'étanchéité et matériau à mater pour Laby 1	1	2 402 170,00	2 402 170,00
Bande d'étanchéité et matériau à mater pour Laby 2	1	2 125 801,00	2 125 801,00
Bande d'étanchéité et matériau à mater pour boîte et butée	1	55 258,00	55 258,00
<b>Soupape de fermeture rapide</b>			
Tige de soupape de fermeture rapide	1	11 311 266,00	11 311 266,00
<b>Soupape de réglage HP</b>			
Tige de soupape M20*1,5*428	2	2 891 550,00	5 783 100,00
Garniture de tige de soupape HD 102	2	440 881,00	881 762,00
Bague inférieure 40*20	4	300 786,00	1 203 144,00
<b>Soupape de réglage BP</b>			
Tige de soupape L=418 G1	2	2 361 907,00	4 723 814,00
Garniture de tige de soupape HD 102	1	439 618,00	439 618,00
Douille de fond 20*34*30	2	846 575,00	1 693 150,00
Bague de fond 40*20*10	4	200 786,00	803 144,00
<b>Commande soupape HP</b>			
Douille (30*40*30)	1	960 553,00	960 553,00
fourreau de distributeur	1	7 125 007,00	7 125 007,00
Tiroir de distribution complet	1	11 831 062,00	11 831 062,00
Ressort de compression 4,0*30,0*61,6*15,7	1	79 734,00	79 734,00
<b>Commande soupape BP</b>			
fourreau de distributeur 25	1	3 604 335,00	3 604 335,00
Distributeur de commande 25*144	1	5 095 754,00	5 095 754,00
Tige de piston 25E6*391	1	1 331 985,00	1 331 985,00
Ressort de compression 3,0*20,0*0*50,7*13,7	1	163 551,00	163 551,00
<b>Pompe principale et pompe régulation</b>			
Coussinet 20*35*40	1	1 098 872,00	1 098 872,00
Bague d'étanchéité 112*138*15	1	1 518 818,00	1 518 818,00
Arbre de pompe à huile	1	3 668 998,00	3 668 998,00
Palier radial DR 2032	1	180 759,00	180 759,00
Bague d'étanchéité 50*72*12	1	863 373,00	863 373,00
Bague 64*99*6	1	1 303 293,00	1 303 293,00
Palier de disque	1	5 706 055,00	5 706 055,00

<b>Régulateur 2A1/0/0</b>			
ressort de traction 3,2*18	2	2 992 291,00	5 984 582,00
piston asservi 30	2	747 687,00	1 495 374,00
Douille de liaison C30	2	2 916 890,00	5 833 780,00
Douille 25*29,5*32	2	1 983 156,00	3 966 312,00
Logement de rotule 20	1	551 184,00	551 184,00
réducteur pour changement de vitesse de la turbine	1	16 874 351,00	16 874 351,00
Moteur de changement de vitesse de la turbine	1	3 126 449,00	3 126 449,00
<b>TOTAL</b>			<b>243 646 042,00</b>

## Annexe IX : Critères d'éligibilité de projets MDP en CI

### Le processus de mise en œuvre du MDP en CI

La réalisation d'un projet, quelle qu'en soit la nature, résulte de l'analyse d'une situation problématique à laquelle le projet entend remédier. De façon générale, le cadre logique d'évaluation des projets de développement met en avant une série de critères dont les principaux sont :

- la pertinence du projet par rapport aux objectifs du développement durable,
- le positionnement du projet dans le contexte national,
- la faisabilité

Le critère de pertinence consiste à voir si le projet constitue une réponse adéquate au problème de développement durable identifié et s'il prend en compte les besoins humains fondamentaux. Le positionnement du projet dans le contexte national est évalué par rapport à son articulation avec les autres actions prévues et/ou déjà engagées. La faisabilité du projet a trait aux moyens de mise en œuvre prévus et à leur adaptation ; elle touche donc aux critères d'efficacité (et/ou d'efficience) et de viabilité du projet.

La particularité du MDP réside dans le fait que le problème que ce mécanisme se propose de traiter est celui des changements climatiques; aussi, tout projet MDP qui contribue effectivement à réduire les émissions de GES n'a, en principe, rien à prouver en terme de pertinence. Cependant, les projets MDP doivent contribuer au Développement Durable des pays d'accueil; ce qui revient à dire qu'ils doivent avoir été préalablement évalués par rapport au critère de pertinence non seulement environnemental mais aussi socioéconomique. Par ailleurs, dans la pratique, tout projet MDP devrait s'inscrire, en général, dans le plan de développement sectoriel et/ou national élaboré dans le pays hôte et à la réalisation duquel il se doit de contribuer. Dans une telle situation, il ne paraît pas utile de procéder à une analyse des besoins fondamentaux que doit satisfaire le projet, ceux-ci étant pris en compte au moment de la conception et de l'élaboration dudit plan. Néanmoins, demeure l'évaluation de l'impact du projet par rapport au développement durable et donc le niveau de satisfaction des besoins humains de base.

#### *3.1: Les critères de sélection des projets MDP*

L'éligibilité des projets au MDP dépend de plusieurs critères. L'article 12 du protocole de Kyoto propose les trois principaux critères suivants :

- 1) les projets doivent aider le pays hôte à parvenir à un développement durable et contribuer à l'objectif ultime de la Convention sur les Changements Climatiques;

- 2) les projets doivent déboucher sur des résultats réels, mesurables et durables liés à l'atténuation des changements climatiques ;
- 3) les projets doivent entraîner des réductions d'émissions qui soient additionnelles par rapport à ce qui se serait produit en leur absence.

Ces critères internationaux sont de portée générale. Les projets MDP présentent un cycle particulier; aussi, la Côte d'Ivoire doit-elle édicter des critères nationaux adaptés à ses spécificités et à chaque étape du cycle des projets MDP.

L'étape de la sélection des projets MDP est importante puisqu'elle détermine la nature, le type de projets et de secteurs d'activités éligibles. Ces critères nationaux intégreront les considérations propres à la procédure d'évaluation et d'approbation générale des projets de développement en Côte d'Ivoire. Ce qui revient à préciser que les projets MDP doivent être :

- conformes aux dispositions politiques et légales,
- compatibles avec les priorités nationales,
- initiés avec l'avis et la participation volontaire des acteurs nationaux et des promoteurs étrangers.

Quels sont les projets éligibles au MDP en Côte d'Ivoire ? Les critères de sélection permettent de répondre à cette question et de préciser les catégories de projets et les secteurs d'activités éligibles. Les critères de sélection qui seront affinés au fur et à mesure sont les suivants :

- *Critère 1:Appartenance aux secteurs clés et prioritaires*

Les projets éligibles au MDP en Côte d'Ivoire doivent appartenir aux secteurs considérés comme prioritaires tant au plan national que par rapport au mécanisme lui-même (parce que sources importantes d'émissions de GES). Ainsi sont éligibles au MDP les projets initiés dans les secteurs ci-dessous :

#### i. Energie:

Les projets MDP doivent être limités à ceux qui utilisent des techniques et technologies contribuant à :

- rendre efficace l'utilisation finale de l'énergie et à réduire la demande énergétique ;
- améliorer l'efficacité de l'offre d'énergie ;
- introduire et accroître la part des énergies renouvelables dans la fourniture des services énergétiques.

Les projets énergétiques potentiellement admissibles sont:

- o les projets de maîtrise de l'énergie (comme par exemple l'amélioration thermique des bâtiments) ;
- o les projets d'offre énergétique (production d'électricité à partir de turbine à gaz remplaçant les centrales à fuel) ;
- o les projets d'énergie renouvelable (solaire, biomasse énergie);
- o les projets de capture du méthane émis par la décomposition des ordures des décharges.
- o les projets dans le secteur des transports permettant une réduction des émissions de GES comme par exemple l'accroissement du transport en commun.

#### ii. Industrie:

Sont concernés tous les sous-secteurs industriels, les procédés et les matières premières utilisés. Les projets porteront aussi bien sur les aspects techniques (innovation, amélioration de procédés, substitution des combustibles,...) que non techniques (incitation fiscale, label qualité,...).

#### iii. Agriculture (y compris l'élevage):

Ce secteur peut être l'objet de projets divers allant de la préparation des sols à leur mise en jachère en passant par l'irrigation et l'utilisation d'engrais, la planification et l'utilisation des sols.

#### iv. Foresterie:

Dans le secteur de la foresterie sont acceptables les projets contribuant à la préservation de la biodiversité, à la lutte contre la désertification, à la diminution du carbone (séquestration). Il s'agit donc de projets facilitant une gestion durable des forêts comme les projets de reboisement et d'aménagements forestiers,...

v. Déchets:

Les projets de traitement et d'élimination des déchets sont éligibles pour autant qu'ils portent sur les techniques de réduction à la source (recyclage et/ou réutilisation) et sur le renforcement du cadre institutionnel.

- *Critère 2: Authenticité des réductions d'émissions et niveau de référence*

Seront éligibles au MDP, les projets qui engendrent des réductions d'émissions réelles, mesurables et vérifiables. Les réductions d'émission sont mesurables si le niveau d'émission résultant du projet et le niveau de référence peuvent être quantifiés. Les projets pris en compte seront ceux dont les émissions se situent en dessous de celles de la base de référence (niveau de référence ou scénario de référence business as usual). L'Autorité de régulation Nationale (AN-MDP) devra être très regardant sur les méthodes de mesures de la base de référence ; car c'est par rapport à celle-ci que sera déterminé l'impact net du projet. Les réductions sont dites vérifiables si la méthodologie de calcul de la base de référence est acceptable, transparente et reproductible.

- *Critère 3: Additionnalité*

Les projets admissibles doivent prouver qu'ils sont additionnels c'est-à-dire que les réductions d'émissions qu'ils génèrent n'auraient pas lieu en temps normal; ce qui veut dire qu'elles s'ajoutent aux politiques et/ou mesures nationales ou projets en cours. Ce critère comprend trois volets. Le premier volet décrit ci-dessus est l'additionnalité environnementale qui se résume par le fait que le scénario prévu par le projet éligible doit émettre moins que le scénario de référence. Le second volet est l'additionnalité financière selon laquelle les projets éligibles au MDP sont ceux qui n'auraient pas été réalisés sans l'existence du MDP ou dont le financement est additionnel. Enfin, le dernier volet concerne l'additionnalité technologique en ce sens que le projet MDP doit introduire des technologies propres et durables.

- *Critère 4: le développement durable*

Les projets MDP doivent contribuer au Développement Durable des pays hôtes (article 12.2 du Protocole de Kyoto); aussi doivent-ils prendre en compte et incorporer les principales dimensions du développement durable (économique, social, environnemental, technique,...).

- *Critère 5: intégration dans les politiques nationales*

Il s'agit d'indiquer comment les projets éligibles au MDP s'articulent et s'insèrent dans les politiques nationales (développement sectoriel, environnement, développement durable,...).

Cette série de critères d'admissibilité des projets MDP est circonscrite à la phase de sélection. D'autres critères seront sans doute nécessaires aux phases ultérieures suivantes des projets MDP à savoir :

- Participation,
- Vérification ;
- Attribution des crédits aux projets,
- Aspects financiers.

