



# OPTIMISATION DE LA CONSOMMATION DE LA VAPEUR D'EAU SUR LES UNITES SMB (PROCEDE ET LOGISTIQUE)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER, SPECIALITE  
GENIE ELECTRIQUE ET ENERGETIQUE

Présenté et soutenu publiquement le [00/10/2016] par

**OUATTARA ISSA**

Travaux dirigés par :

**Dr Ahmed BAGRE**

Enseignant chercheur,

Département Génie Electrique

Energétique et Industriel Fondation 2iE

**Mr GBAKOUI Paterne Eric**

Responsable de la production SMB

Membres du jury :

Prénom NOM, Président

Prénom NOM, examinateur

Dr Ahmed BAGRE, encadreur

Promotion [2015/2016]

## DEDICACES

### Je dédie ce mémoire

- **A la gloire d'Allah le tout puissant** qui n'a jamais engendré et n'a jamais été engendré non plus, nul n'est égale à lui.
- A ma mère **OUATTARA Biba**, pour son attention, sa patience, son encadrement et ses conseils.
- A mon feu père **OUATTARA Billon**, pour son amour, et son encadrement.
- A mon épouse **TOURE Madjara**, pour son amour, son soutien et sa patience.
- A ma marraine **Me OUATTARA Fatoumata** et son époux **Mr OUATTARA Dramane**, pour leur soutien financier et moral.
- A mes mamans **Me KONATE Fatoumata**, **Me TUO Irène épouse BAKAYOKO**, pour leurs aide et conseils.
- A mes proches parents, amis et connaissances.

## REMERCIEMENTS

Au terme de notre formation pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2iE avec grade de master dans la spécialité génie électrique et énergétique, nous tenons à exprimer notre sincère reconnaissance à tout le corps professoral de la fondation 2iE, qui par la qualité de leur enseignement, encadrement nous avons pu terminer avec succès cette formation en ingénierie.

En l'occurrence à **Dr Ahmed BAGRE**, notre encadreur de stage 2iE, pour son encadrement, sa disponibilité et ses conseils tout au long de ce mémoire.

- Au **Dr SIDIBE Sayon**, chef du Laboratoire Biomasse Energie et Biocarburant.
- Au **Pr COULIBALY Yezoumah**, conseiller scientifique du Directeur Général.
- Au **Dr YAMEGUEU Daniel**, chef du Laboratoire Energie Solaire et Economie d'Energie.
- Au **Dr SORO Moussa**, chef de département Génie Electrique, Energétique et Industriel.

Nos remerciements sont également à l'endroit de la SMB :

- **Mr DOUMBIA Mamadou**, Directeur Général de la SMB.
- **Mr SOUMAHORO Moustapha**, Directeur des Ressources Humaines et Administratif.
- **Mr KOUAME Bi Irié Bénie Stephan**, chef de département production, pour nous avoir acceptés au sein de son département et pour ses conseils et son attention.
- **Mr GBAKOUI Paterne Eric**, **Mr TOURE KALPI**, nos tuteurs de stages pour leurs conseils fructueux, et leurs disponibilités.
- **Mr IRIE TRA Bi Paul Eden**, contremaitre HSK2/SMB.
- **Mr KONE Yasin**, ingénieur suivi, contrôle et optimisation, **Mr Bamba** ingénieur suivi, contrôle et optimisation à la SIR, **Mr GBAN Djedea Jospin**, **Mr ADJEI George**, **Mr DAGO** assistants exploitants et maintenance à la SMB.

Que tous ceux qui, de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce mémoire et dont les noms n'auraient pas été cités trouvent en quelques mots l'expression de mes sincères remerciements.

## RESUME

La vapeur d'eau est une énergie indispensable dans l'exécution des opérations de fabrication et de stockage des produits dérivés du pétrole brut à la SMB, notamment le bitume. Elle est cependant coûteuse à la SMB comme toute forme d'énergie et nécessite une gestion appropriée de son utilisation.

Conscients de ce fait, les responsables de la SMB ont porté à notre réflexion le thème suivant :

### « Optimisation de la consommation de vapeur sur les unités SMB (procédé et logistique) »

Il s'agissait pour nous d'identifier d'éventuels problèmes susceptibles d'empêcher l'utilisation optimale de la vapeur d'eau afin d'y proposer des solutions. Dans le souci d'exécuter au mieux cette tâche, nous avons adopté une démarche précise.

Tout d'abord, nous avons déterminé les caractéristiques de la vapeur qui dépendent de la pression et de la température. Ensuite, nous avons établi un point de la consommation de vapeur sur l'année 2015. Ce qui nous a permis de mettre en exergue l'existence d'utilisation non rationnelle de la vapeur entraînant ainsi des pertes. Nous avons donc recherché l'origine de ces pertes et découvert que les équipements de régulation en mauvais état, le non-respect des procédures d'exploitation et les configurations du circuit de vapeur en sont à la base.

Ainsi, au vu de ces problèmes nous avons proposé des solutions visant principalement à économiser la vapeur, à réduire les fuites et à cesser son rejet à l'atmosphère.

### Mots Clés :

---

- 1- Optimisation
- 2- Procédé
- 3- Logistique
- 4- Perte de vapeur
- 5- Equipements de régulation
- 6- Pompérie 14
- 7- Consommation

## ABSTRACT

Water vapor is a vital energy in the execution of operations of manufacturing and storage of products derived from crude oil to the SMB, including bitumen. However, it is costly to the SMB requires therefore have an appropriate management of its use.

Recognizing this, the leaders of SMB focused our reflection the subject:

**“Optimizing the steam consumption of the SMB units (process and logistics)”**

This was for us to identify potential problems that may prevent optimal use of water vapor in order to propose solutions. In order to perform this task at best, we adopted a specific approach.

First, we determined the characteristics of steam that are a function of pressure. Then we established a point of steam consumption of 2015. Which highlighted the existence of problems such as steam losses. We therefore looked for the origin of these losses and discovered that the control equipment in poor condition, the non-compliance with operating procedures and the configurations of the steam circuit are based in.

Thus, in view of these problems we have proposed solutions aimed primarily at saving steam, reduce leaks and to stop its release into the atmosphere.

### Keywords:

---

- 1- Optimization
- 2- Process
- 3- Logistics
- 4- Steam Loss
- 5- Regulating equipment
- 6- Pump station 14
7. Consumption

## LISTE DES SIGLES ET DES ABREVIATIONS

SIGLE	DEFINITION
<b>2iE</b>	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
<b>B</b>	Ballon
<b>BP</b>	Basse Pression
<b>b</b>	bar
<b>CPE</b>	Consignes Permanentes d'Exploitation
<b>C</b>	Colonne
<b>E</b>	Echangeur
<b>EA</b>	Aérocondenseur ou Aéroréfrigérant
<b>F</b>	Four
<b>FG</b>	Fuel Gaz
<b>FO</b>	Fuel Oil
<b>ft</b>	foot
<b>GTA</b>	Groupe Turbo-alternateur
<b>HC</b>	Hydrocarbures
<b>Go</b>	Gasoil
<b>HP</b>	Haute Pression
<b>J</b>	Ejecteur
<b>kW</b>	kilowatt
<b>lb</b>	pound
<b>MP</b>	Moyenne Pression
<b>P</b>	Pompe
<b>PVD</b>	Vanne de différentielle de pression
<b>TP</b>	Turbopompe
<b>PV</b>	Vanne de pression
<b>RAT</b>	Résidu Atmosphérique
<b>S/V</b>	Sous vide
<b>PT</b>	Transmetteur de pression
<b>SIR</b>	Société Ivoirienne de Raffinage
<b>SMB</b>	Société Multinationale Bitumes
<b>SNCC</b>	Système Numérique de Contrôle Commande
<b>VS</b>	Vapeur de stripping
<b>FT</b>	Transmetteur de débit

## **SOMMAIRE**

<b>DEDICACES</b> .....	I
.....	I
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	II
<b>RESUME</b> .....	III
<b>ABSTRACT</b> .....	IV
<b>Liste des sigles et des abréviations</b> .....	V
<b>SOMMAIRE</b> .....	1
<b>Liste des tableaux</b> .....	3
<b>Liste des figures</b> .....	3
<b>INTRODUCTION</b> .....	4
<b>CHAPITRE I : GENERALITES</b> .....	6
<b>I.1. Société Multinationale de Bitumes (SMB)</b> .....	6
<b>I.1.1. Historique de l'entreprise</b> .....	6
<b>I.1.2. Missions et Objectifs</b> .....	6
<b>I.1.3. Organisation fonctionnelle</b> .....	6
<b>I.1.4. Présentation du procédé de fabrication de bitumes</b> .....	8
<b>I.2. Etude des notions de base de la vapeur d'eau</b> .....	14
<b>I.2.1. Propriétés thermophysiques de la vapeur</b> .....	14
<b>I.2.2. Configuration générale d'un réseau de vapeur</b> .....	18
<b>I.3. Efficacité énergétique et Audit énergétique : Optimisation d'un réseau de vapeur</b> .....	21
<b>I.3.1. Définition</b> .....	21
<b>I.2.2 Différentes phases de l'audit d'un réseau vapeur</b> .....	21
<b>CHAPITRE II : METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DIAGNOSTIC</b> .....	24
<b>I.1. Matériels</b> .....	24
<b>II.1.1. Outils informatiques</b> .....	24
<b>II.1.2. Documents techniques</b> .....	25
<b>II.1.3. Locaux et services</b> .....	26
<b>II.2. Méthodes</b> .....	26
<b>II.2.1. Collecte d'informations</b> .....	26
<b>II.2.2. Exploitation des données collectées</b> .....	26
<b>CHAPITRE III : ETUDE DIAGNOSTIC</b> .....	28
<b>III.1. Le réseau de vapeur de la SMB</b> .....	28
<b>III.1.1. Source d'approvisionnement de la vapeur de la SMB</b> .....	28

III.1.2.	<b>Circuit de distribution de la vapeur</b> .....	28
III.2.	<b>Bilan de la consommation de vapeur de janvier 2015 à décembre 2015</b> .....	33
III.2.1.	<b>Consommation de la quantité globale de vapeur entrant à la SMB</b> .....	33
III.2.2.	<b>Consommation de vapeur du procédé</b> .....	34
III.2.3.	<b>Consommation de vapeur au niveau de la logistique</b> .....	38
III.2.4.	<b>Bilan de la consommation 2015</b> .....	38
III.3.	<b>Identification des causes de la surconsommation</b> .....	39
III.3.1.	<b>Facteurs liés aux équipements de régulation</b> .....	40
III.3.2.	<b>Facteurs liés aux procédures d'exploitation et aux configurations du circuit de vapeur</b> .....	40
III.3.3.	<b>Estimation des pertes</b> .....	41
III.4.	<b>Solutions envisageables</b> .....	41
III.4.1.	<b>Propositions</b> .....	42
III.4.2.	<b>Autres recommandations</b> .....	46
III.5.	<b>Estimation des coûts d'investissement, des gains et le temps de retour sur investissement</b> .....	47
III.5.1.	<b>Estimation des coûts d'investissement</b> .....	47
III.5.2.	<b>Estimation des gains et temps de retour sur investissement</b> .....	48
III.6.	<b>Etude d'impact environnementale</b> .....	50
<b>CONCLUSION</b> .....		51
<b>REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....		52
<b>ANNEXES</b> .....		53

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Les produits obtenus et destinations.....	14
<b>Tableau 2</b> : Types de vapeur et caractéristiques.....	29
<b>Tableau 3</b> : Fonctions et rôles de la vapeur.....	30
<b>Tableau 4</b> : Bilan total de la consommation annuelle de vapeur 2015.....	38
<b>Tableau 5</b> : Tableau des valeurs pour la méthode de corrélation.....	43
<b>Tableau 6</b> : Tableau récapitulatif des résultats de la réparation des fuites et l'installation de nouveaux équipements de régulation de vapeur.....	44
<b>Tableau 7</b> : Récapitulatif de l'estimation des gains et du temps de retour sur investissement.....	49

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Schéma du procédé de production de bitumes.....	13
<b>Figure 2</b> : La boucle vapeur élémentaire.....	19
<b>Figure 3</b> : Circuits simplifié du réseau de la vapeur à la SMB.....	31
<b>Figure 4</b> : Répartition de la consommation annuelle de vapeur 2015.....	39
<b>Figure 5</b> : Schéma des résultats de la réparation et l'installation de nouveaux équipements.....	45

## INTRODUCTION

Beaucoup d'installations de transfert de chaleur en service aujourd'hui ont été installées alors que le combustible ne coûtait pas cher et qu'on n'accordait pas beaucoup d'importance à la gestion de l'énergie. Aujourd'hui, ces processus existants d'échange de chaleur n'ont pas un rendement satisfaisant sur le plan énergétique [6]. Les augmentations du prix des combustibles fossiles et la raréfaction de ceux-ci ont sensibilisé l'intérêt des techniques de gestion de l'énergie applicables aux installations en place [6].

La vapeur d'eau est l'une des utilités les plus importantes dans les industries de procédé industriel. Sa production et sa disponibilité sur les processus d'échange de chaleur nécessitent une grande consommation de combustible fossile ou d'énergie électrique [11]. C'est un excellent fluide caloporteur dont l'énergie est utilisée dans les processus de production, de transformation et de stockage dans les procédés industriels de production. La SMB ne déroge pas à cette règle puisqu'étant un complexe de raffinerie, de production de bitumes utilisant la vapeur pour des fonctions bien précises, telles que le fonctionnement des pompes à turbines, le réglage de la qualité des produits sortants, une meilleure circulation et le stockage du bitume.

Cependant, la SMB ne produit pas la vapeur d'eau mais l'achète à la SIR. Ainsi, en raison de la demande importante en vapeur et du coût d'achat élevé en moyenne à **17 700 FCFA la tonne**, il apparaît nécessaire d'optimiser sa consommation en vapeur.

Aussi, au plan financier, la surconsommation de vapeur peut conduire à une augmentation des frais d'exploitation donc à une diminution de la rentabilité de l'entreprise, ce qui peut entraver les activités de celle-ci. C'est pour cette raison que la SMB a décidé de mener une étude d'optimisation de sa consommation de vapeur sur ses unités (le procédé et la logistique). Notre stage se situe dans ce cadre.

L'objectif principal visé par cette étude est de décrire les caractéristiques et le rôle de la vapeur sur les unités SMB, de vérifier si son utilisation est optimale sinon de réduire la consommation de vapeur d'eau d'au moins 5%. Les objectifs spécifiques qui découlent de cet objectif général sont :

- Décrire entièrement et clairement les circuits de vapeur, leurs fonctions, et leurs caractéristiques sur les unités SMB ;
- Faire un point de la consommation de vapeur sur l'exercice 2015 ;
- Identifier les facteurs d'accroissement de la consommation de vapeur sur les unités ;

- Proposer des solutions aux différentes contraintes d'optimisation rencontrées ainsi que leur faisabilité technique ;
- Faire une estimation des pertes engendrées par les contraintes identifiées (s'il en existe), du coût de réalisation des solutions proposées et du retour d'investissement.

Cette étude comportera alors trois grandes parties :

- Une étude portant sur les notions de base (chapitre I) qui traite sommairement les propriétés thermophysiques de la vapeur d'eau, la configuration générale d'un réseau de vapeur, quelques appareils de régulation de la vapeur, et la méthode d'audit énergétique d'un réseau vapeur.
- Ensuite, Une étude technique « Méthodologie pour l'étude diagnostic » (chapitre II) regroupant l'étude du matériel utilisé et les méthodes adoptés.
- Enfin, une dernière partie étude diagnostic (chapitre III) présentant tous les résultats obtenus, leurs analyses et interprétation, en vue de proposer des solutions d'optimalité de la consommation de vapeur, une estimation des pertes engendrées s'il en existe, une étude du coût de la réalisation de ses solutions proposées et une étude d'impact environnemental.
- Les annexes comprennent des tableaux, des schémas, des tables de conversion, et des feuilles de travail.

## CHAPITRE I : GENERALITES

### I.1. Société Multinationale de Bitumes (SMB)

#### I.1.1. Historique de l'entreprise

Dans l'intention d'exécuter un important programme routier en Côte d'Ivoire et en Afrique de l'ouest et du centre, son Excellence, feu Félix Houphouët Boigny, ancien président de la Côte d'Ivoire a autorisé la création d'une société de fabrication de bitumes. Ainsi, va naître **la Société Multinationale de Bitumes (SMB)** le 3 Mars 1976 dans l'enceinte de la SIR en zone industrielle de Vridi à Abidjan. La SMB est une société anonyme qui traite jusqu'à **657 000 t/an** de pétrole brut avec un capital de **4 872 000 000 FCFA**. Elle compte au titre des actionnaires : la SIR (actionnaire majoritaire avec 72 %) et des particuliers et privés (28 % dont 4% pour le personnel SMB). Les différentes parts des actionnaires sont illustrées à la **figure 1** en **annexe I**.

Aujourd'hui, la SMB dispose de cinquante-deux (52) agents dont 5 détachés à la SIR.

#### I.1.2. Missions et Objectifs

Les activités de la SMB se résument en 3 importantes opérations que sont :

- La production de bitumes routiers ;
- Leur stockage ;
- Leur commercialisation.

En créant la SMB, le gouvernement ivoirien visait les objectifs suivants :

- Diminuer la dépendance de la Côte d'Ivoire vis-à-vis de l'extérieur pour ces produits ;
- Contribuer à l'expansion du marché et de l'emploi ;
- Etre la référence en matière de bitumes en Afrique de l'Ouest.

#### I.1.3. Organisation fonctionnelle

La SMB repose sur cinq organes, ce sont :

- **l'Assemblée Générale** : organe suprême de l'entreprise ;
- **Conseil d'administration** : C'est l'organe de décision de la SMB présidé par Mme **TRAORE AMINATA**. Il est assisté dans sa mission de deux organes consultatifs que sont :
  - ✓ **Le Comité technique**
  - ✓ **Le Comité Commercial & Financier**.

➤ **Direction générale** : Elle assure la gestion quotidienne de l'entreprise par la prise des grandes décisions, la mise à disposition des moyens humains, financiers et matériels favorables à la réalisation des projets des autres directions et est dirigée par **Mr. Mamadou DOUMBIA**. Elle comporte 4 départements à savoir :

- **Département Commercial, Logistique, Hygiène, Sécurité et Environnement**

- ✓ **Le service commercial**

Le service commercial a pour objectif d'animer et d'organiser la force de vente, d'assurer l'assistance et les actions commerciales. Il a également pour but d'initier les études et de rechercher des débouchés, de gérer l'exploitation, d'établir les statistiques propres à l'activité commerciale et enfin de rechercher les garanties et couvertures commerciales.

- ✓ **Le service logistique et HSE**

Ce service joue le rôle de coordination et d'exécution des opérations de bitumes. En relation avec le service commercial, le service logistique est chargé des opérations de chargement, du transport des produits, du suivi des navires et du déchargement des bruts. Il assure l'assistance logistique auprès de la clientèle et assiste le département pour la mise en disposition des produits destinés à la vente. Ce service a aussi la charge de la sécurité du personnel, la propreté du lieu et d'éviter la pollution de l'environnement causé par l'usine.

- **Département Finances, Gestion et Stratégie**

Il est chargé des rapports avec l'extérieur et de la gestion du patrimoine de l'entreprise. Le département finance et comptabilité a pour rôle de superviser les travaux d'élaboration du budget et d'animer l'équipe de comptabilité en vue de l'établissement des documents annuels. Ce département est subdivisé en Service comptabilité, trésorerie et contrôle de gestion.

- **Département Ressources Humaines et Administration**

Le département RHA a en charge la gestion du personnel, s'occupe des opérations juridiques et d'assurances. Il met à la disposition du personnel des moyens généraux nécessaires au bon fonctionnement de l'administration. En somme, il coordonne les activités administratives. Il est constitué de deux (02) services qui sont :

- ✓ Le service Ressources Humaines ;
- ✓ Le service juridique / communication

- **Département Production**

Ce département est composé du service de production et du service de maintenance. Il est responsable de la production, de l'entretien des outils de production, de l'établissement du planning de réception des bruts en coordination avec le service des opérations et assistance logistique. Ce département est dirigé par **M. KOUAME Bi Irié Benié Stéphane**, Chef du département de la production en collaboration avec l'assistante de direction **Me. MEL Akpa Arlisse**. Ce département est structuré en deux parties :

- La structure de maintenance dirigée par **Mr. TOURE Kalpi** et assisté par **Mr. ADJEI George** et **Mr. DAGO** ayant pour tâche, l'entretien des outils de production
- La structure de production dirigée par **Mr. GBAKOUI Paterne** assisté par **Mr. GBAN Djedea Jospin** ayant pour charge l'établissement du planning de réception des pétroliers en coordination avec le service des opérations et assistance logistiques de la SIR.

Les parts des actionnaires de la SMB et l'organigramme sont illustrées par les **figures 1** et **2** en **annexe 1**.

#### **I.1.4. Présentation du procédé de fabrication de bitumes**

Dans cette partie, il s'agira de décrire les grandes étapes du procédé de raffinage afin d'appréhender de façon globale le rôle de la vapeur d'eau et les équipements consommateurs de vapeur sur les unités SMB.

##### **I.1.4.1. Les charges de l'unité et les bacs de stockage**

Dans le processus de raffinage de la SIR l'unité SMB est celle qui produit le bitume. Elle se compose d'une unité de distillation atmosphérique U41 et d'une unité de distillation sous vide U42 dont l'exploitation est assurée par le secteur HSK2/SMB de la SIR. La SMB est alimentée par trois types de charge :

- Le brut lourd ou brut à bitume HAMACA et CASTILLA.
- Le brut léger ou brut SIR
- Le résidu atmosphérique.

L'unité dispose d'un parc de stockage à l'intérieur de la raffinerie et d'un dépôt dont les moyens sont les suivants :

- 9 réservoirs de 3 000 m<sup>3</sup> de bitumes ;
- 1 réservoir de 18 000 m<sup>3</sup> pour le pétrole brut ;
- 1 dépôt possédant 2 réservoirs de 7500 m<sup>3</sup> chacun.

#### **I.1.4.2. Unité 41**

- **Charge et rôle**

Elle est constituée des bruts lourds HAMACA et CASTILLA. L'unité 41 produit la charge de l'unité 42 dans une colonne à la pression atmosphérique.

- **Fonctionnement**

- ✓ **1<sup>er</sup> train d'échange**

Le brut, aspiré des bacs par la pompe **61PT19**, passe par les échangeurs 41E01, 41E02 et 42E08 qui sont traversés respectivement par le Kérosène, le reflux du Kérosène et le bitume. Ce passage dans ces échangeurs permet au brut d'élever sa température en récupérant les calories des produits susmentionnés pour réaliser le dessalage. Ensuite, l'on injecte des produits chimiques (La soude, le Démulsifiant) dans le brut afin d'éliminer les sels, empêcher des émulsions au contact de l'eau de dessalage qui est injectée à l'entrée du dessaleur.

- ✓ **Dessalage**

Le brut arrive dans le dessaleur 41B01 qui a pour rôle d'éliminer les sels minéraux, l'eau, les sédiments et d'autres impuretés contenus dans le brut. Le dessalage du brut permet d'éviter les risques de corrosion des équipements. Cette opération consiste :

- au lavage du brut par injection d'une certaine quantité d'eau (comprise entre 3% et 6% volume par rapport au brut) dans le brut, pour produire une émulsion Eau/Brut à l'aide d'une vanne mélangeuse placée avant le dessaleur ;
- au grossissement des gouttelettes d'eau par électro-coalescence dans un champ électrique aménagé à l'intérieur du ballon ;
- à la séparation Eau/Brut par décantation ; l'eau qui contient les sels et impuretés précipitent dans le fond du ballon et le brut dans la partie supérieure.

- ✓ **2<sup>ème</sup> train d'échange**

A la sortie du dessaleur, le brut est repris par la pompe 41PT02 qui le fait circuler dans une autre batterie d'échangeurs (41 E03/ 42 E04/ 41 E04/ 42 E05/ 42 E07) pour être préchauffé avant d'entrer au four. En fait, le brut récupère les calories du Go léger atmosphérique, du reflux du Go lourd s/v, du reflux du Go

léger atmosphérique, du Go lourd s/v et du bitume. Ce second train d'échange a pour but d'économiser l'énergie utilisée pour le four en réduisant la consommation de combustibles.

#### ✓ **Four 41F01**

Le brut, déjà préchauffé, arrive au four 41F01 afin de recevoir le complément de calorie nécessaire au fractionnement. Le four vaporise partiellement le brut par la combustion du FG et/ou du FO. Ainsi, le brut atteint la température de 350°C pour réaliser la distillation atmosphérique.

#### ✓ **Colonne de distillation atmosphérique**

La colonne 41C01 permet de séparer le brut issu du four en différentes coupes pétrolières. En effet, le brut entre dans la colonne au niveau de la zone de flash où il se sépare en une phase gazeuse et une phase liquide. La phase gazeuse est élevée jusqu'en tête de colonne, condensée par l'aérocondenseur 41 EA05 et réinjectée en partie dans la colonne. Cette phase est constituée de l'essence totale et de gaz.

Elle comporte également du Kérosène et du Go léger qui sont soutirés latéralement et récupérés dans les strippers (41C02 et 41C03) pour éliminer les particules légères qu'ils contiennent par l'injection de vapeur d'eau (stripping).

La phase liquide quant à elle, est constituée du résidu atmosphérique (RAT) qui est strippé par l'injection de vapeur d'eau et soutiré en fond de colonne avant d'être envoyé au four 42F01.

**Nota :** Il faut noter que les condensats et les autres produits de la distillation atmosphérique (Kérosène et Go léger atmosphérique) sont réinjectés dans la colonne. On parle alors de reflux. Ces reflux permettent de maintenir constant le gradient de température de la colonne.

#### • **Le ballon de tête 41B02**

Le ballon de tête permet de récupérer les vapeurs de tête de la colonne de distillation atmosphérique qui sont condensées dans un aérocondenseur. Pour explication, les vapeurs de tête issues de la colonne passent à travers un aérocondenseur où elles sont refroidies pour donner :

- Les gaz incondensables envoyés vers le réseau Torche
- L'essence totale envoyée :
  - Vers le stockage
  - En reflux pour le réglage du fractionnement en tête

- **Les strippers 41C02 et 41C03**

- **Le stripper 41C02**

Il recueille le kérosène soutiré du plateau 19. En effet, le kérosène soutiré de la colonne arrive au stripper 41C02 où il est strippé à la vapeur afin de baisser sa pression partielle et de le débarrasser des particules légères. La vapeur de stripping permet de corriger le flash du kérosène.

- **Le stripper 41C03**

Le stripper **41C03** a pour rôle de recueillir le gasoil léger atmosphérique soutiré de la colonne 41C01 soit :

- Au plateau N°12
- Au plateau N°10

En fait, le gasoil léger atmosphérique soutiré de la colonne entre dans le stripper 41C03 où il est strippé à la vapeur afin de baisser sa pression partielle et se débarrasser des particules légères.

### **I.1.4.3. Unité 42**

- **Charge et rôle**

Elle est constituée du RAT venant de l'unité 41. L'unité 42 produit le bitume dans une colonne avec une pression inférieure à celle de l'atmosphère d'où l'appellation de colonne de distillation sous vide.

- **Fonctionnement**

- **Four 42F01**

A la sortie de la 41C01, le RAT est envoyé et chauffé au four 42F01 pour obtenir la température nécessaire à la réalisation de la distillation sous vide. Le RAT est également vaporisé partiellement dans le four. Ainsi, le RAT peut entrer dans la colonne de distillation sous vide.

- **Colonne de distillation sous vide**

La 42C01 a pour rôle de fractionner le RAT qui est sous forme gazeuse et liquide au sortir du four à partir du vide c'est-à-dire une pression en-dessous de la pression atmosphérique. Au cours de la distillation sous vide, l'on obtient le bitume, le Go léger s/v et le Go lourd s/v. Les deux derniers produits sont réinjectés en partie dans la colonne pour maintenir constant son gradient de température. Le vide dans la colonne est créé par des éjecteurs qui aspirent la phase gazeuse, contenue dans la charge, à partir de leur fluide moteur qui est la vapeur d'eau. En effet, la vitesse de passage de la vapeur d'eau dans les éjecteurs leur permet de

recupérer toute la phase gazeuse de la colonne et par conséquent baisser la pression. C'est ainsi qu'on obtient le bitume en fond de colonne qui sera aussi strippé par la vapeur d'eau pour le séparer d'éventuelles particules légères. Le bitume produit est envoyé au stockage dans des bacs (B03/B04/B05/B12/B13/B14/B15/B16/B17) aux Mouvements. De la sortie de la colonne jusque dans les bacs, le bitume est réchauffé en permanence par la vapeur d'eau à travers des traceurs ou serpentins. Ce réchauffage permet d'éviter le figeage du bitume c'est-à-dire que le bitume refroidi, durcit de telle sorte qu'il ne peut plus circuler et ne peut plus être pompé.

La figure ci-dessous illustre le résumé du procédé de production du bitume.

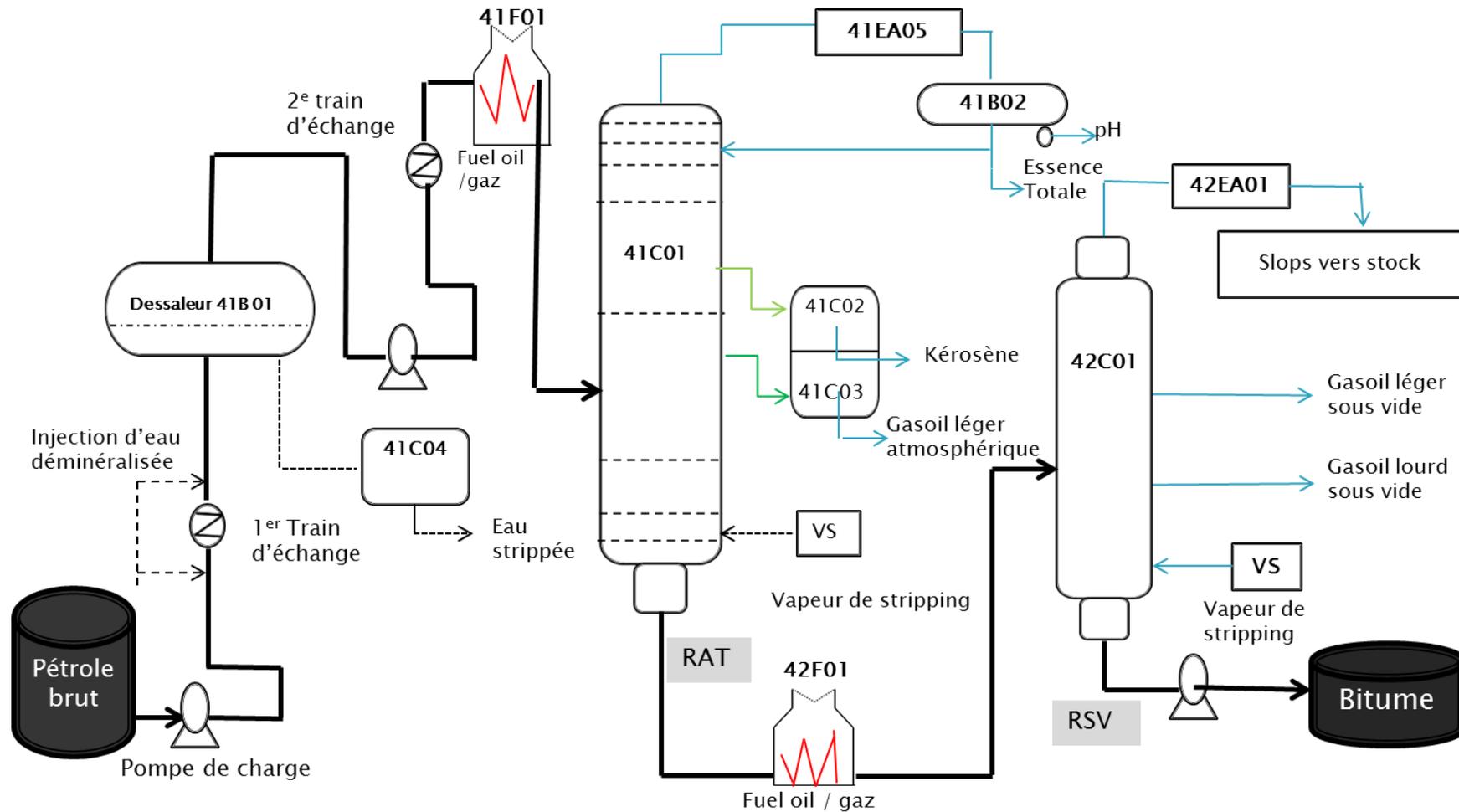


Figure 1 : Schéma du procédé de production de bitumes.

#### I.1.4.4. Les produits obtenus et leurs destinations

Les produits obtenus ainsi que leur destination sont consignés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1** : Les produits obtenus et leur destination

	PRODUITS	DESTINATION
<b>DISTILLATION ATMOSPHERIQUE U41</b>	Essence Totale	HDT(U32) ou HDT (U82)
	Kérosène	BAC B11 en désulfuration U32 /U34
	Gasoil léger ATM	BAC de stockage A113
<b>DISTILLATION SOUS-VIDE U42</b>	gasoil léger sous vide	BAC de stockage A113
	gasoil lourds sous vide	BAC de stockage A115 ou A603
	Résidu sou vide	BAC de stockage A603
	Bitume	BAC de Bitume B12, B13, B14, B15, B16, B17, B03, B04, B05

## I.2. Etude des notions de base de la vapeur d'eau

Pour analyser les consommations de vapeurs, les notions de base suivantes sont nécessaires d'être rappelées.

### I.2.1. Propriétés thermophysiques de la vapeur

La vapeur d'eau est un fluide caloporteur utilisé universellement dans l'industrie (pétrochimie, chimie, agroalimentaire, bois, pneumatiques, blanchisseries,...) et le chauffage urbain grâce à des propriétés thermophysiques particulièrement adaptées aux transferts de chaleur. La vapeur d'eau saturée est caractérisée par sa pression, sa température, son enthalpie, et son volume spécifique. De plus grâce à une courbe de changement d'état liquide vapeur permettant d'atteindre des pressions élevées, pour des températures raisonnables, la vapeur d'eau est employée comme vecteur de production d'énergie électrique ou mécanique après surchauffe et détente dans des turbines.[5]

#### I.2.1.1. Energie contenue dans la vapeur et changement d'état

- **Energie contenue dans la vapeur**

Lorsque l'eau est chauffée à la pression atmosphérique, sa température monte à 100°C. C'est la plus haute température que l'eau puisse atteindre sous cette pression. Un chauffage plus intense ne fait pas augmenter la température de l'eau : il transforme l'eau en vapeur. La quantité de chaleur que l'eau doit absorber pour

atteindre son point d'ébullition se nomme **chaleur sensible**. A partir de la température d'ébullition, la chaleur servant à transformer l'eau en vapeur est la **chaleur latente**. [5]

Si l'eau est chauffée sous une pression supérieure à la pression atmosphérique, son point d'ébullition sera plus élevé que 100°C et la chaleur sensible requise sera plus élevée. Il existe donc pour chaque pression une température d'ébullition spécifique. Plus la pression est élevée, plus la température d'ébullition et la chaleur sensible augmentent. Si la pression est réduite, la quantité de chaleur sensible diminue et la température de l'eau descend au point d'ébullition correspondant à la nouvelle pression. Cela signifie qu'une certaine quantité de chaleur sensible est alors cédée par l'eau et qu'elle est alors transformée en chaleur latente à un petit volume d'eau, provoquant la vaporisation instantanée.

- **Changement d'état**

A une température et pression fixées, si l'eau liquide est en équilibre avec sa vapeur, les deux fluides sont qualifiées de saturées. [11]

Sous la pression atmosphérique normale (101325 Pa) et à 100°C (373,15°K) l'enthalpie de l'eau saturée est d'environ **417 kJ/kg** et l'enthalpie de vaporisation (ou chaleur latente de vaporisation) nécessaire au changement d'état est d'environ **2258 kJ/kg**. Il en résulte que l'enthalpie de la vapeur saturée vaudra **2676 kJ/k**. [9]

Sous 10 bars de pression effective, la température de vaporisation s'élève à 184,13°C, l'enthalpie de l'eau saturée est de **781 kJ/kg**, l'enthalpie de vaporisation est de **1999 kJ/kg**, et l'enthalpie de la vapeur saturée vaut **2780 kJ/kg**. [9] (Voir les figures 3 et 4 en annexe II)

### **I.2.1.2. Courbes caractéristiques**

La courbe de saturation de l'eau et son diagramme de MOLLIER permettant d'accéder à l'ensemble des valeurs caractéristiques sont illustrés par les **figures 6 et 7 en annexe III**.

On constate que lorsque la pression augmente :

- L'enthalpie de l'eau saturée ou chaleur sensible ( $h_f$ ) qui est la quantité d'énergie calorifique contenue dans l'eau à une température spécifique augmente.
- L'enthalpie d'évaporation ou chaleur latente de vaporisation ( $h_{fg}$ ) qui est la quantité d'énergie calorifique nécessaire pour convertir 1 kg d'eau en 1 kg de vapeur sous une pression donnée diminue.

- Le volume spécifique de la vapeur saturée ( $v_f$ ) qui est le volume en mètres cubes occupé par 1 kg de vapeur saturée sèche à la pression correspondante diminue fortement.
- L'enthalpie de la vapeur saturée ( $h_g$ ) qui est la quantité totale d'énergie calorifique contenue dans la vapeur saturée sèche sous une pression donnée augmente jusqu'à 33 bars effectif puis diminue. Cette quantité d'énergie est la somme de l'enthalpie de l'eau saturée et de l'enthalpie d'évaporation ou chaleur latente de vaporisation.

$$h_g = h_f + h_{fg} \quad (1) \quad [6]$$

Cette relation s'applique à la vapeur saturée quelle que soit la pression.

Les caractéristiques de la vapeur saturée et les variations d'enthalpie en fonction de la pression sont données par le **tableau 1 en annexe II et la figure 5 en annexe III**.

### II.2.1.2. Transport de la vapeur

C'est par le changement de phase (liquide Vapeur) en chaudière, que la vapeur est capable d'emmagasiner une grande quantité d'énergie, essentiellement sous forme de chaleur latente. Cette énergie thermique qui a été fournie par la chaudière est transportée par la vapeur dans le réseau et cédée aux différents postes consommateurs dans des échangeurs de chaleur ou des cuves à double enveloppe dans lesquels elle se condense. En ce moment la vapeur cède sa chaleur latente (et éventuellement une petite partie de la chaleur sensible) et les condensats retournent en chaufferie [9].

L'augmentation de la pression de cette vapeur entraîne une diminution du volume spécifique. L'énergie de cette vapeur peut donc être transportée dans des tuyaux de faible diamètre. L'idéale est de transporter la vapeur à haute pression dans le réseau et l'utiliser au niveau des postes consommateurs à basse pression. La vapeur doit être acheminée par divers ensembles de tuyauterie et robinetterie jusqu'à sa destination finale. Si les principes de base intervenants dans le transport de la vapeur ne sont pas bien compris, des erreurs très coûteuses peuvent être faites lors de la conception des circuits de distribution. Pour concevoir correctement un réseau de tuyauterie devant transporter de la vapeur, il faut connaître les données suivantes [9] :

- La température et la pression de la vapeur,
- La quantité de la vapeur à transporter,
- La distance sur laquelle la vapeur sera transportée.

Dans le calcul du diamètre des conduites de transport de la vapeur, il est recommandé de garder la vitesse de la vapeur à l'intérieur de limites pratiques. Il est généralement satisfaisant d'utiliser une vitesse de 40 à

60 m/s avec un maximum de 75 m/s. Si la conduite est trop grosse, une perte inutile de chaleur en résultera à cause des trop grandes surfaces d'échange. En plus, on paye plus cher pour les conduites et leur isolation. Par contre, si la conduite est trop petite, elle provoquera un bruit excessif à cause de la vitesse accrue de l'écoulement de la vapeur, ainsi qu'une perte de charge excessive et une réduction de la capacité de transport. La vitesse de la vapeur saturée circulant dans une conduite peut être déterminée à l'aide de l'équation suivante :

$$V = \frac{W * V_g}{A * 3600} \quad (2) [6]$$

Dans laquelle  $V$  = vitesse de la vapeur en (m/s) ;

$W$  = débit de vapeur (kg/h)

$A$  = section intérieure de la conduite (m<sup>2</sup>)

$V_g$  = Volume spécifique de la vapeur saturée à la pression de service (m<sup>3</sup>/kg)

3600 =conversion d'unités, heure en secondes.

### I.2.1.3. Qualité de la vapeur d'eau

L'ébullition de l'eau liquide s'accompagne d'un phénomène de nucléation. A cause de la grande tension superficielle de l'eau, les bulles de vapeur qui se forment à la surface libre, éclatent et provoquent l'entraînement de particules d'eau liquide dans le flux de vapeur, qui est alors qualifiée de **vapeur humide**. Ces gouttelettes d'eau sont particulièrement néfastes aux installations, elles possèdent une énergie cinétique importante, étant véhiculées à la même vitesse que la vapeur (**jusqu'à 30 m/s**). Elles arrachent des plaquettes de rouille dans les tuyauteries et provoquent un phénomène d'érosion par chocs dans les équipements. [6]

Si ces gouttelettes d'eau sont éliminées (*par des séparateurs à défecteurs*) de la vapeur saturante, celle-ci est qualifiée de **vapeur sèche** assimilable à un gaz parfait. On peut également vaporiser cette humidité parasite pour obtenir de la **vapeur surchauffée** (**enthalpie de surchauffe  $\approx 2,09$  kJ/kg °C**) [9].

La vapeur surchauffée n'est utilisée principalement que dans les turbines, en effet sa conductivité thermique est plus mauvaise que celle de la vapeur saturante sèche et donc elle est à proscrire dans les échangeurs :

- **2,3 kW/m<sup>2</sup>C < K échangeur vapeur sèche / eau < 2,9 W/m<sup>2</sup>C**
- **0,17 kW/m<sup>2</sup>C < K échangeur vapeur surchauffée /eau < 0,23 kW/m<sup>2</sup>C**

Le rapport entre la masse de vapeur pure et la masse totale est définie comme la qualité de la vapeur. La qualité de vapeur peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\text{Qualité} = \frac{\text{masse de vapeur}}{\text{masse totale}} \quad (3) [6]$$

Si la qualité de vapeur est 1, cela signifie que la vapeur ne contient pas de l'eau. Il s'agit alors d'une vapeur sèche et saturée. Au fur et à mesure que la vapeur se refroidit, sa qualité se détériore. Le pourcentage en poids de l'eau contenue dans la vapeur peut être déterminé par l'équation :

$$\text{Pourcentage d'eau} = 100\% - (\text{qualité} \times 100) \quad (4) [6]$$

### I.2.2. Configuration générale d'un réseau de vapeur

Il s'agit dans cette partie de présenter de façon générale une boucle vapeur, la collecte de condensats et certains appareils de régulation.

#### I.2.2.1 La boucle vapeur élémentaire

La boucle vapeur élémentaire comprend 5 zones fondamentales (**voir figure 2**) :

- **La zone de production** incluant la chaudière, en général équipée d'un brûleur fuel ou gaz, de soupapes de sécurité, d'une purge d'eau en continu pour déconcentrer l'installation en tartre, d'une alimentation en eau automatique pour maintien d'un niveau minimum et d'instruments de mesure en température et pression.
- **La zone de distribution Vapeur** : Elle est composée d'une tuyauterie primaire alimentant le barillet qui joue le rôle de tampon pour maintenir une pression de distribution stable dans les lignes vapeur, équipées ou non de postes de détente.
- **La zone d'échange** où la vapeur va se condenser en fournissant l'enthalpie de vaporisation à un fluide secondaire (eau, air, ...). Les échangeurs peuvent éventuellement être équipés d'un pot de revaporisation, pour d'autres utilisations de la vapeur basse pression.
- **La zone de collecte de condensat** qui récupère les condensats sur tous les équipements des circuits de distribution et en sortie d'échangeurs. Ils sont renvoyés dans une bache alimentaire, dont le niveau est maintenu constant. Une pompe à condensats utilisant la vapeur primaire comme énergie motrice, les relève dans la chaudière.

- **La zone de traitement d'Eau** qui assure la pérennité de la boucle vapeur, très sensible à la corrosion et à l'entartrage.

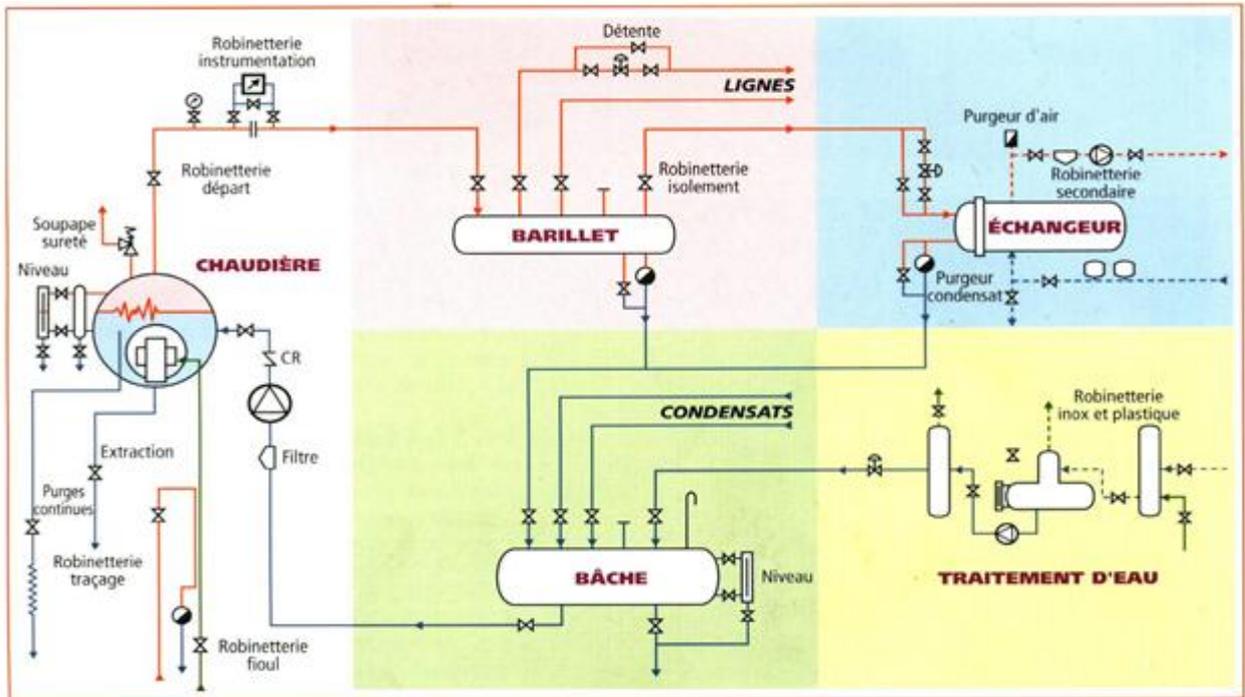


Figure 2 : La boucle vapeur élémentaire

De très nombreux équipements supplémentaires (purgeurs, événements, filtres, vannes, détendeurs, séparateurs, contrôleurs, ...) sont nécessaires pour assurer la qualité de vapeur distribuée, en pression et température, et évacuer l'air présent dans le réseau à la mise en service et les autres produits incondensables.

#### 1.2.2.2. La collecte des condensats

On appelle condensats l'eau résultant de la condensation de vapeur. Le rendement d'une installation vapeur sera fortement conditionné par la collecte des condensats, qui repose principalement sur les différents purgeurs existants et sur quelques dispositions constructives de bon sens.

- **Les purgeurs**

Les purgeurs ont pour fonction d'évacuer tous condensat, air et gaz non condensable emprisonné dans les appareils et conduites contenant ou transportant de la vapeur, afin de permettre un chauffage rapide du produit et des équipements. Ce sont des appareils de robinetterie qui évacuent le condensat et l'air sans laisser sortir la vapeur. Les technologies sont très nombreuses, et les fabricants les classent en quatre catégories [9] [5] :

- **Purgeurs mécaniques** ; Ils sont basés sur des systèmes à flotteurs fermés ou ouverts (différence de densité). Il existe deux types :
  - ✓ **Purgeur mécanique à flotteur fermé**, capable d'évacuer le condensat de façon continue, mais il ne peut pas chasser l'air à moins d'être muni d'un évent sensible à la température. Un coup de bélier peut provoquer la défaillance de ce type de purgeur.
  - ✓ **Purgeur mécanique à flotteur inversé ouvert** ; probablement le type le plus employé. Il est ouvert lorsqu'il est froid, mais ne peut pas évacuer de grandes quantités d'air au moment du démarrage à moins d'être muni d'un évent sensible à la température. C'est un purgeur qui permet une évacuation rapide du condensat.
- **Purgeurs thermostatiques** : Ce sont des purgeurs actionnés par la différence de température. Lorsqu'ils sont froids, ils sont ouverts pour évacuer l'air et le condensat. Ces appareils peuvent être endommagés par les effets de coup de bélier. Ils sont généralement économiques pour des pressions de vapeur supérieures à 41 kpa (eff) et sont au nombre de deux :
  - ✓ **Purgeur à soufflet**, qui fonctionne par la dilatation d'un soufflet rempli de liquide.
  - ✓ **Purgeur à bilame**, basé sur la dilatation d'un élément bimétallique.
- **Purgeurs thermodynamiques** : basés sur la différence de pression, ils sont généralement employés lorsque la pression est supérieure à 56 kpa et lorsque la pression en aval est inférieure à la moitié de la pression en amont.
- **Purgeurs à impulsion** : basés sur un système de piston à double effet.

Les différents types de purgeurs sont présentés respectivement par les **figures 8 et 9 en annexe IV, 10 et 11 en annexe V, et 12 et 13 en annexe VI.**

- **Les dispositions constructives**

Pour favoriser l'écoulement gravitaire des condensats, toutes les tuyauteries doivent présenter une pente de **5 mm/ml** vers la bache de récupération. D'autre part les tuyauteries doivent être dimensionnées pour évacuer la vapeur de revaporisation, si elle n'est pas utilisée en sortie d'échangeur, à une vitesse de **20 à 25 m/s [5]**.

Les purgeurs de ligne ne doivent pas être raccordés par des conduites de faible section, les condensats à grande vitesse ne seraient pas correctement évacués. On utilise des tés de section identique à la ligne vapeur pour créer des pots de purge.

- **La distribution de la vapeur**

Le dimensionnement des conduites de distribution vapeur s'effectue selon les méthodes classiques à la vitesse imposée (15, 20, ou 30m/s) ou à la perte de charge imposée. Dans tous les cas, le calcul des pertes de charge est important pour pouvoir assurer pression et température aux postes d'utilisation. La conception du réseau doit suivre des dispositions garantissant une bonne qualité de vapeur sèche.

➤ **Elimination des condensats en ligne**

Malgré le calorifugeage, les tuyauteries subissent des déperditions qui provoquent une condensation partielle de la vapeur. Ces condensats doivent être collectés sous peine de réhumidifier la vapeur sèche, ce qui impose des pentes de 5 mm/ml, des purgeurs et des réductions non coniques. Les piquages secondaires doivent s'effectuer sur la génératrice supérieure de la conduite principale. Les fortes dilatations (**240 mm pour 100 m à 200°C**) sont compensées par des organes à joint coulissant.

➤ **Elimination de l'air à la mise en service**

L'air présent dans les tuyauteries à la mise en service va être chassé par la vapeur, et il faut donc prévoir des purgeurs d'air (à élément thermostatique) pour l'évacuer en bout de ligne et dans les échangeurs. (Voir les **figures 14 et 15 en annexe VII**)

### **I.3. Efficacité énergétique et Audit énergétique : Optimisation d'un réseau de vapeur**

#### **I.3.1. Définition**

On entend par audit énergétique, toute opération de diagnostic de la consommation d'énergie au sein d'un établissement à travers la réalisation de recherches, d'études et de contrôles visant à évaluer le niveau de performance énergétique de l'établissement, à analyser les insuffisances, les causes et à proposer les actions correctives [6]. L'optimisation d'un réseau de vapeur est une partie de l'audit énergétique en industrie.

#### **I.2.2 Différentes phases de l'audit d'un réseau vapeur**

La procédure de réalisation d'un audit énergétique peut être résumée en 2 grandes étapes :

**Un audit énergétique préliminaire:** cette étape vise la collecte et l'évaluation des données relatives à la consommation d'énergie dans l'établissement pendant les dernières années, la réalisation des premières mesures jugées nécessaires pour proposer un premier plan d'actions d'efficacité énergétique à réaliser par l'entreprise et préparer le terrain pour l'audit approfondi.

**Un audit énergétique approfondi:** cette étape consiste à réaliser les opérations de mesures de la consommation énergétique, la collecte des données relatives aux installations, matériels et équipements consommateurs d'énergie, l'évaluation des modalités de contrôle d'utilisation énergétique, d'exploitation des installations, des matériels et des équipements et l'analyse des résultats des mesures avec le recours à une expertise spécifique si nécessaire. A l'issue de cette étape, l'auditeur établira le rapport d'audit énergétique approfondi qui doit contenir un bilan énergétique détaillé, une analyse détaillée des causes d'insuffisance et du niveau de performances énergétiques de l'entreprise ainsi que le plan d'actions permettant d'optimiser sa consommation d'énergie [11].

Selon la nature de l'utilité, l'approche pour un audit diffère. Ainsi pour chacun des différents types d'utilités à étudier, on adoptera une procédure particulière. Pour notre cas qui est l'optimisation de la vapeur sur un réseau vapeur, il consiste à mener des actions spécifiques suivantes :

- Répertorier les fuites de vapeur ;
- Vérifier la bonne disposition et le nombre adéquat de purgeurs ;
- Vérifier l'installation et le bon fonctionnement de compteurs et de débitmètre de vapeur pour un bilan des consommations ;
- Installer des compteurs de condensats pour évaluer le taux de récupérations de condensats ;
- Vérifier le bon fonctionnement ainsi que l'efficacité des échangeurs de chaleur ;
- Vérifier si le réseau dispose d'équipements de robinetterie adéquate au niveau de chaque consommateur ;
- Vérifier la présence et le bon état de l'isolation thermique sur l'ensemble des circuits du réseau vapeur et aussi de retour de condensat ;
- Vérifier la récupération effective des condensats collectés. [7]

## Conclusion partielle

L'étude générale des circuits de vapeur nous a permis d'appréhender de façon générale certains propriétés et caractéristiques de la vapeur d'eau, de la composition d'une boucle de vapeur élémentaire, de quelques équipements de régulation des installations vapeur, et une vue générale de l'optimisation d'un réseau vapeur.

La suite de notre travail va se focaliser sur la phase technique économique, qui est subdivisée en 5 étapes :

- La description entière des circuits de vapeur, leurs fonctions, et leurs caractéristiques sur les unités SMB
- Le bilan de la consommation de vapeur sur l'exercice 2015 ;
- L'identification des facteurs d'accroissement de la consommation de vapeur sur les unités ;
- La proposition de solutions aux différents problèmes rencontrés ainsi que leur étude de faisabilité ;
- L'estimation des pertes engendrées par ces problèmes (s'il en existe), du coût de réalisation des solutions proposées et des gains par solution proposée.

## CHAPITRE II : METHODOLOGIE POUR L'ETUDE DIAGNOSTIC

### I.1. Matériels

La réalisation de notre étude a nécessité l'emploi de matériels informatiques, de documents techniques, et de certains locaux et services.

#### II.1.1. Outils informatiques

Ces outils sont constitués uniquement de logiciels à savoir :

**ASPEN** : permet de relever des données telles que la température, le débit, la pression et le niveau au cours des procédés.

**STEAM TURBINE CALCULATIONS** : permet de calculer la consommation spécifique en vapeur d'une turbine. L'on obtient ce paramètre à partir de données telles que la pression d'admission, la pression de refoulement, la température d'admission de la vapeur et le rendement de la turbine. Nous avons calculé les consommations spécifiques des turbines 41PT08A, 42PT04A et 64PT17B.

**SAP** : permet d'effectuer la gestion et la maintenance des équipements de la raffinerie par émission d'avis.

**SNCC (historique)** : est un système permettant de piloter les unités de la raffinerie à partir de paramètres de réglage informatique. Il affiche par ailleurs les différents paramètres (température, pression, débit, niveau) des procédés sur les vues et synoptiques. Les synoptiques retracent l'historique des valeurs des paramètres cités plus haut.

**MICROSOFT VISIO** : permet de dessiner des schémas de procédés industriels. Avec ce logiciel, nous avons dessiné le circuit de récupération de la vapeur BP.

**MICROSOFT EXCEL** : effectue des calculs, des tableaux, des courbes, des graphes à partir de données.

**MICROSOFT WORD** : permet la saisie de texte.

## II.1.2. Documents techniques

**Fiches de spécification** : sont des documents contenant des informations sur les conditions de service (pression, température, etc...) et sur le design des équipements (diamètre, Cv, poids, hauteur, etc...). Ces fiches, nous ont permis de connaître les caractéristiques des différents équipements intervenant dans le circuit de vapeur à savoir les vannes, les pompes, les colonnes, etc...

**Cahiers de relevés des opérateurs extérieurs et des chefs opérateurs** : sont les informations relevées par les opérateurs sur leurs activités (procédés, actions réalisées, valeurs des paramètres d'opération, etc...)

**Savoir-faire** : est un document traitant des formules de calcul des paramètres d'équipements.

Nous avons calculé à partir des formules tirées de ce document :

- le débit de vapeur passant par la vanne 41PDV32

$$Q = ky \quad (5)$$

Avec : **Q** : débit en **t/h** , **k** : Cv de vanne, **y** : ouverture de la vanne en **pourcentage (%)**

- les débits de vapeur passant dans les traceurs

$$Q = \left( \frac{\Delta P \times D^5 \times \rho}{0,000336 \times f} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Avec :

**Q** : débit en **lb/h** ;

**ρ** : masse volumique en **lb/ft<sup>3</sup>**

**f** : coefficient de friction ;

**ΔP** : perte de charge en **psi/100ft**

- le débit de vapeur évacué à l'atmosphère

$$W = \left( \frac{Cv \sqrt{\Delta P (P_1 + P_2)}}{72,4} \right) \quad (7)$$

Avec : **W** : débit **t/h** ;

**Cv** : coefficient de vanne 208 (voir fiche de spécification)

**ΔP** : perte de charge en **b** ;

**P<sub>1</sub>** et **P<sub>2</sub>** : respectivement pression en amont et pression en aval en **b**

### **II.1.3. Locaux et services**

Ces locaux, nous ont servi à faire nos recherches à travers la consultation des documents, les entretiens avec les agents et ingénieurs. Ce sont : le bâtiment technique, le quadripôle, l'ingénierie, la centrale de production des utilités, le service de la production SIR. Par ailleurs, nous avons utilisé les EPI (équipement de protection individuelle) qui sont des outils de sécurité pour effectuer nos visites sur les unités. Au cours de ses visites, nous avons eu pour guide les opérateurs extérieurs sous l'autorisation du chef contremaître HSK2/SMB

## **II.2. Méthodes**

Dans le but de bien mener notre étude, la méthodologie suivante a été adoptée :

### **II.2.1. Collecte d'informations**

Elle a concerné toutes les informations utiles que nous avons recueillies pour l'élaboration de notre travail.

La collecte des informations a consisté à :

- des entretiens avec les agents de la SMB et de la SIR à savoir les opérateurs, agents de maîtrise et ingénieurs afin de recueillir les informations nécessaires concernant la vapeur d'eau à savoir, les caractéristiques, son utilisation et les problèmes éventuels que la SMB rencontre pour son utilisation.
- des recherches à travers des documents techniques de la SIR et de la SMB et des documents sur internet afin de déterminer les caractéristiques et fonctions de la vapeur et d'obtenir les données de base et formules nécessaires pour le bilan de la consommation de vapeur.
- des visites sur les unités de la SMB et des Mouvements pour collecter les données caractéristiques des composants intervenant dans le circuit de vapeur, l'utilisation de la vapeur aux différents niveaux et faire en même temps une étude diagnostique du circuit de vapeur.

### **II.2.2. Exploitation des données collectées**

Après avoir recueilli les informations, il a été question pour nous de les exploiter en mettant en exergue des points importants pour l'étude. Il s'agit de :

- calculer les données tels que les débits et quantités de vapeur consommée, de charge (brut) et les pressions de la colonne de 42C01 afin d'élaborer le bilan de la consommation de vapeur.

- réaliser des courbes et des diagrammes afin de mettre en évidence l'évolution de la consommation de vapeur à chaque niveau.
- analyser, interpréter les courbes, diagrammes et les résultats des différents calculs et en tirer des conclusions afin de mettre en exergue les problèmes rencontrés à la SMB et d'en déceler les causes.

## CHAPITRE III : ETUDE DIAGNOSTIC

### III.1. Le réseau de vapeur de la SMB.

#### III.1.1. Source d'approvisionnement de la vapeur de la SMB

La vapeur d'eau est produite à la Centrale énergie SIR (unités de production et fourniture d'énergie à la raffinerie), à partir d'une eau de forage (eau service) qui va subir des étapes de prétraitement et de traitement pour être débarrassée de toutes les impuretés (sels minéraux) qu'elle contient. Cette eau déminéralisée ou eau déminée est acheminée dans des chaudières à tube à eau F10, F20, F30, qui vont élever sa température afin de la rendre en vapeur. En effet, l'eau déminée est vaporisée dans les chaudières au contact des fumées produites par la combustion du Fuel Gas ou du Fuel Oil. On obtient donc de la vapeur d'eau qui atteint environ 475°C avec une pression de 65 bar et récupérée dans un barillet. Cette vapeur est détendue à une vapeur de 18 bar de température 375 °C, soit à travers les GTA (Groupe Turbo-alternateur), soit par la détente statique. Cette dernière méthode consiste à faire baisser la température et la pression à 18 bar (375 °C) par envoi d'eau à basse température dans la vapeur 65 bar (475 °C). C'est cette vapeur qui est envoyée à la SMB et est appelée vapeur haute pression (HP) à la SMB et vapeur moyen pression (MP) à la Centrale.

#### III.1.2. Circuit de distribution de la vapeur

On distingue 4 types de vapeur sur le complexe SMB selon la pression, le débit, et la température.

Lorsque la vapeur principale environ 18 bar (375°C) de débit environ 11,50 t/h venant de la centrale arrive à la SMB, elle se divise en 2 circuits de vapeur de pression et de température identiques (18 bar ; 375°C) mais de débit différent ; la vapeur HP vers le procédé de débit environ 6,68 t/h et la vapeur HP vers la logistique de débit environ 4,42 t/h.

##### III.1.2.1. Vapeur HP (18 bar) vers le procédé

Cette vapeur se subdivise en 3 types de vapeur :

- La vapeur HP (18 bar) de débit environ 6,68 t/h venant de la Centrale pour alimenter les éjecteurs, les turbines, etc... Elle sert d'amont à la vapeur MP et BP ;
- La vapeur MP (5,5 bar) de débit environ 3,82 t/h obtenue après détente de la vapeur HP (18 bar) par la vanne 40 PV010A ; Elle sert d'amont à la vapeur BP ;

- La vapeur BP (2,5 bar) de débit environ 2,86 t/h obtenue après les détentes ; de la vapeur MP par la vanne 40 PV010B, de la vapeur HP par la vanne PV009A où l'excédent est rejeté à l'atmosphère au travers de la vanne PV009B, et la détente dans les turbines 41 PT08A, 42 PT04A, 64PT 17 B.

### III.1.2.2. Vapeur HP (18 bar) vers la logistique (Pompérie 14 et bacs de stockage)

Cette vapeur HP (18 bar) de débit environ 4,42 t/h venant de la Centrale arrive à la pompérie 14 à une pression d'environ (16 bar) en raison des pertes de charges pour alimenter la pompérie 14 notamment les motopompes 61P17 C, 61P17 A et 61P17 B, chauffer le bitume dans les bacs de stockage, et sert de traçage des lignes. En fait, La vapeur entre à la pompérie 14 par la ligne 3`VH63.170.0.EA. Elle est répartie à différent niveau où elle alimente successivement les motopompes 61P17 C, B, A puis les 9 bacs de bitumes (B03, B04, B05, B12, B13, B14, B15, B16, B17). A travers ce circuit de vapeur :

- Chaque motopompe dispose d'une clarinette qui répartie la vapeur sur les différents éléments constituant la motopompe tels que le corps de la pompe, les lignes de refoulement et d'aspiration, et les filtres placés avant l'aspiration de la pompe ;
- Les lignes d'écoulés de bitumes sont aussi chauffées de l'unité SMB à la pompérie 14
- Au niveau des bacs de bitumes, cette vapeur réchauffe le bitume à travers des échangeurs en serpentins placés tout au fond des bacs.

Après le chauffage des différents éléments de la Pompérie 14, cette vapeur retourne dans le réseau condensat 8"CH63.170.0.EA2 à travers des lignes de retour jusqu'à la Centrale. Ces lignes de retour sont répertoriées dans le **tableau 2** en **annexe VII**.

Le **tableau 2** ci-dessous résume les types de vapeur et leurs caractéristiques.

**Tableau 2** : Types de vapeur et caractéristique

TYPE DE VAPEUR	PRESSION (bar)	TEMPERATURE (°C)	Débit (t/h)
Vapeur HP complexe	18 (17,44)	220-240	6,68
Vapeur MP	5,5 (5,49)	160-180	3,82
Vapeur BP	2,5	140-170	2,86
Vapeur HP logistique	16	140-190	4,82

Ces quatre (4) types de vapeur ont chacun des fonctions et rôles bien précises dans le fonctionnement du complexe SMB.

### III.1.2.3. Fonctions et rôle de la vapeur sur les unités SMB

La vapeur utilisée à la SMB a plusieurs fonctions et rôles. C'est un véritable vecteur énergétique pour le fonctionnement du complexe en raison du fait qu'elle joue un rôle très important dans la production, la transformation, le stockage et le transfert des produits plus précisément le bitume. Les fonctions et rôle de la vapeur utilisée à la SMB sont résumés dans le **tableau 3** ci-dessous.

**Tableau 3** : Fonctions et rôle de la vapeur

TYPES DE VAPEUR	FONCTIONS	ROLES
<b>Vapeur Haute pression (17,44 bar) vers le complexe</b>	Fonctionnement des turbines et des éjecteurs	Faire tourner les turbines pour leurs marches et servir de fluide moteur pour les éjecteurs
	Ramonage des fours	Nettoyer le four en éliminant les imbrûlés (dépôts de suie dans la zone de convection du four) dus à la combustion du FO
	Vapeur de chasse	Chasser le reste d'hydrocarbures contenus dans les serpentins avant d'effectuer des travaux
	Décokage	Débarrasser le four du coke, formé pendant le chauffage de la charge, par l'ajout de l'air pour créer une combustion permettant d'éliminer le coke
<b>Vapeur haute pression (16bar) vers la pompérie 14</b>	Dégazage et vaporisation	Nettoyer complètement les équipements (colonnes et pompes) en chassant tout reste d'hydrocarbures afin d'effectuer des travaux sans risque de feu
	Fonctionnement des pompes 61P17 A, B, C	Chauffer le corps des pompes pour leur marche
	Traçage des lignes	Pour faciliter la circulation du bitume
<b>Vapeur moyenne pression (5.5bar)</b>	Chauffage	Chauffer le bitume continuellement dans les Bacs en vue d'un bon stockage et le réchauffage des fondoirs
	Stripping	Séparer le produit soutiré des particules légères en trace.
	Quench	Réchauffer les garnitures des pompes à produits chauds avant le démarrage des pompes ; diluer les fuites d'hydrocarbures pour éviter le feu.
	Sécurité	Protéger les colonnes de la pluie et des éclairs en arrosant les têtes de colonnes
<b>Vapeur basse pression (2.5 bar)</b>	Atomisation	Pulvériser le FO afin de faciliter sa combustion
	Traçage des lignes	Réchauffer les produits circulant dans les tuyauteries
	Vaporisation	Chasser tous les restes d'hydrocarbures dans les tuyauteries après vidange à l'eau pour travaux
	Etouffement	Etouffer les flammes lors d'un feu dans le four causé par la rupture de tubes

La figure 3 ci-dessous montre le schéma synoptique des différents types de vapeur, leurs caractéristiques, et leur fonction.

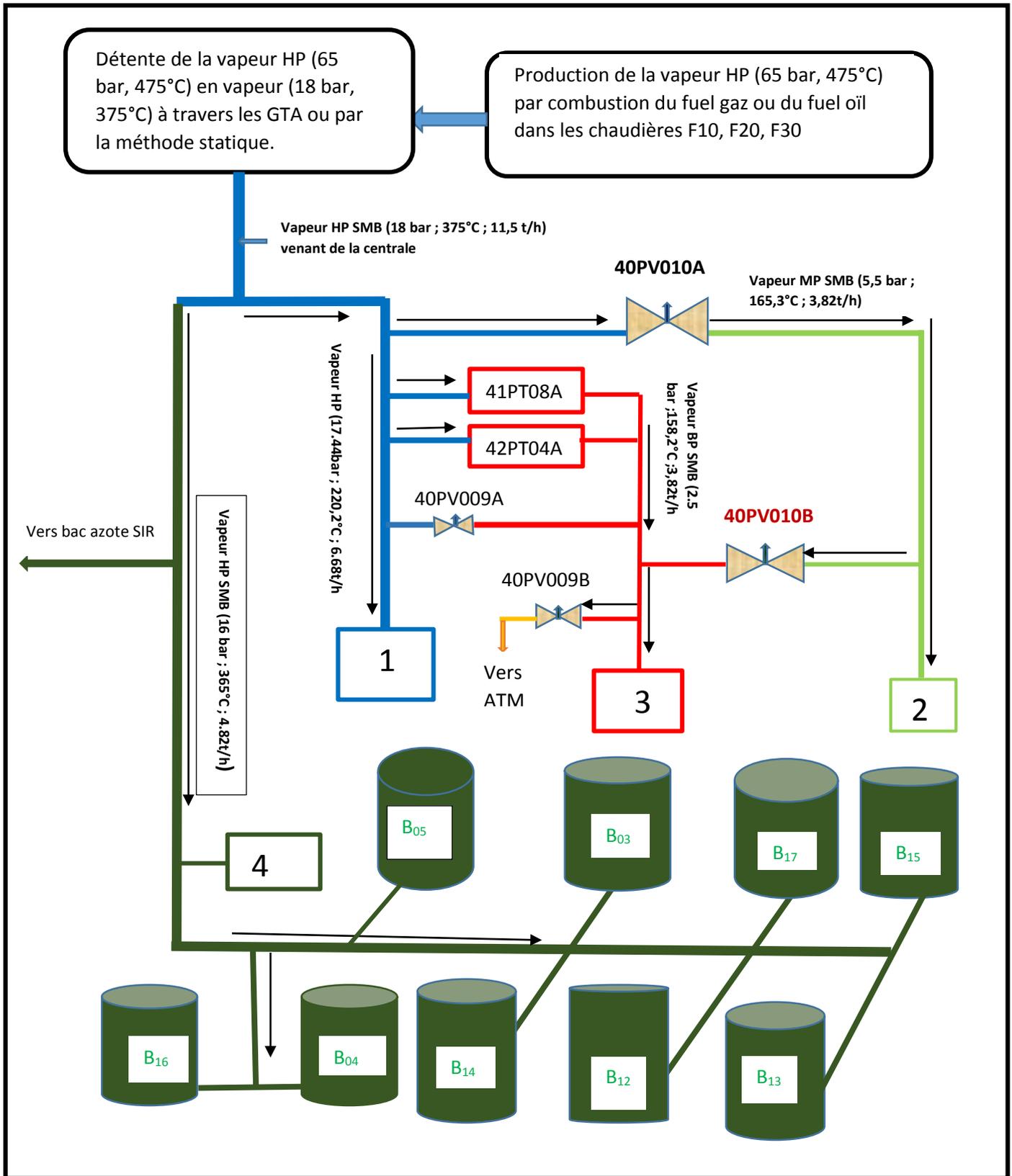


Figure 3 : Circuits simplifié du réseau de la vapeur à la SMB

#### III.1.2.4. Circuit de condensat

Nous avons deux types de condensats :

- Les condensats haute pression qui sont envoyés dans le ballon B 2411 ou la phase gazeuse est expédiée dans le réseau bas pression (2,5 bar) et la phase liquide est envoyée sous contrôle de niveau (40 LC 07) dans le dégazeur B 2409.
- Les condensats moyennes pression ; ils sont recueillis sur le réseau moyen pression et envoyés dans le ballon B 2410 ou la phase gazeuse est expédiée sur le réseau bas pression et la phase liquide est envoyée aux égouts eau huileuses sous contrôle de niveau (40 LC 12) après avoir été refroidie dans le E 2406.

#### III.1.2.5. Equipements de régulation

Les pertes thermiques et la qualité de la vapeur sur le réseau vapeur SMB sont régulées par certains équipement tels que :

- **L'isolation thermique** ; Elle est faite de laine de verre grillagée de 50 mm de type ISOVER et en rouleau de 25 m<sup>2</sup>. Elle a pour rôle de réduire considérablement les pertes de calorie par échange avec l'atmosphère.
- **Les purgeurs mécanique à flotteur inversé ouvert** de marque Armstrong en générale et quelques purgeurs de marque TLV. Ce sont des purgeurs de types 18/11 et 20/11 de pression maximale 17 bar et de pouces 1/2, 3/4 et 1 avec bride ou sans bride.
- **Les vannes** ; elles sont manuelles de 3 types de pouce 1, 1/2 et 3/4. Nous avons les vannes de détente de la vapeur, les vannes d'expédition ou d'évacuation de produits, et les vannes de régulation de débit.
- **Les serpentins de chauffe** ; ils servent à chauffer le bitume stocké dans les bacs de stockage par conduction et convection de la chaleur latente de vaporisation de la vapeur d'eau. Ils sont disposés de manière verticale en vue de faciliter l'évacuation du condensat.
- **Les équipements de mesure** ; ce sont les débitmètres (mesure le débit), les manomètres (mesure la pression), les capteurs de niveau (mesure les niveaux de liquide dans les bacs et les ballons) et les thermocouples (mesure la température).

### III.2. Bilan de la consommation de vapeur de janvier 2015 à décembre 2015.

L'optimisation de la consommation de vapeur d'un réseau de vapeur dépend fortement de la connaissance claire des causes de la surconsommation qui elle-même découle d'une analyse profonde d'un bilan chiffré de cette consommation. Dans notre cas, nous procéderons à un bilan de la consommation de vapeur de l'année 2015 qui consistera à évaluer, analyser et interpréter :

- la quantité globale de vapeur entrant à la SMB (procédé et logistique), ainsi comparer ces valeurs aux valeurs cibles de production,
- les quantités de vapeur consommée au niveau de chaque équipement consommateur de vapeur si possible en vue de faire le résumé du bilan de la consommation de vapeur.

Les différents niveaux de consommation de vapeur concernés dans notre bilan sont les éjecteurs, le four, le stripping des produits, les turbopompes, le traçage des lignes, la vapeur de chasse, de vaporisation, de dégazage, et le réchauffage du bitume.

#### III.2.1. Consommation de la quantité globale de vapeur entrant à la SMB.

La vapeur venant de la centrale se subdivise en deux parties ; une partie qui part sur le procédé de débit moyen environ **6,50 t/h** et l'autre partie vers la logistique de débit moyen environ **4,42 t/h**. L'accès aux valeurs de la consommation s'est faite à partir du logiciel ASPEN, en entrant dans ASPEN les différents repères de débitmètre 40FI0011 repère à l'entrée de la SMB (procédé et logistique) ,40FI0009 repère à l'entrée du procédé et la période recherchée. On obtient ainsi la quantité de vapeur par heure, par jour, par mois, puis par année. Ces quantités de vapeur consommées au cours de l'année 2015, sont résumées dans **le tableau 3** et illustrées par la **figure 16** en **annexe VIII**. **Le tableau 4** en **annexe IX** compare les valeurs réelles de consommation aux valeurs design (cibles).

La **figure 4** et **le tableau 3** en **annexe VIII** montrent une consommation élevée de vapeur pendant les mois de mars, mai, juillet, août , une consommation moyenne pendant les mois de février, juin, septembre, octobre, tandis que les mois de janvier, avril, novembre, et décembre sont marqués par une consommation très faible de la vapeur .Les consommations les plus élevées sont celles des mois d'août et juillet environ **9900 tonnes** et la plus faible est celle du mois d'avril environ **4850 tonnes**. Aussi l'analyse du **tableau 4** en **annexe IX** indique un écart de consommation global de **+2,9%**, avec **+16%** au niveau du procédé et **-10%** au niveau de la logistique.

Ces résultats pourraient s'expliquer par le nombre de jour de marche des unités, la procédure d'exploitation, de la quantité et la qualité du brut traité, ainsi que d'autres facteurs liés aux équipements. En effet, les mois de mars, mai, juillet et août ont enregistré les plus fortes quantités de brut traité et les plus grands jours de

marche. Alors que les mois de janvier, avril, novembre, et décembre affichent les plus faibles quantités de brut traité pendant un petit nombre de jours. De plus, les écarts de consommation observés par rapport aux valeurs design montrent que la consommation de vapeur au niveau de la logistique a respecté les ratios cibles. Ce qui n'est pas le cas au niveau des unités de transformation. Cette remarque ne signifie pas qu'il n'y a pas de pertes au niveau de la logistique.

Pour mieux comprendre ces résultats, il nous faut faire un bilan approfondit de la consommation de vapeur au niveau de chaque consommateur (procédé et logistique).

### III.2.2. Consommation de vapeur du procédé

La quantité de vapeur totale enregistrée à l'entrée du procédé en 2015 s'estime à **48 816,233** tonnes. Le **tableau 3** en **annexe VIII** et les **figures 17** et **18** en **annexe X** nous illustrent cette consommation en fonction de la quantité de brute traitée et du nombre de jours de marche.

Les **figures 17** et **18** en **annexe X** nous indiquent que l'augmentation de la consommation de vapeur par le procédé s'expliquerait par le nombre de jour de fonctionnement et de la quantité de brut traité. En fait, les mois de juillet et août ont enregistrés les plus grandes quantités de vapeur consommées correspondant au nombre de jour de marche les plus élevés (**31** et **30,4**), et des plus grandes quantités de brut traité. Par contre, les mois d'avril et de novembre ont enregistrés les consommations les plus faibles avec des nombres de jour de fonctionnement faibles (**8,69** et **7,32**) correspondant à des quantités faible de brut traité. L'analyse de la consommation des équipements consommateurs de vapeur nous permettraient de mieux comprendre la consommation de vapeur au niveau du procédé. Les consommations de vapeurs concernés sont :

- Les consommations des éjecteurs
- Les consommations des turbopompes
- La consommation des strippers
- Les consommations de traçage des lignes
- Les consommations de vapeur de chasse, dégazage, et vaporisation

#### III.2.2.1. Consommation des éjecteurs

Le vide est réalisé dans la colonne 42 CO1 par deux paires d'éjecteurs à savoir les 42 J02 A/B (gros éjecteurs) et les 42 J03 A/B (petits éjecteurs). Chaque éjecteur est composé d'une aspiration et d'un refoulement (diffuseur). Une arrivée de vapeur muni d'un filtre débouche sur la tuyère par l'orifice. Le passage en force de la vapeur dans la tuyère va entrainer le gaz dans la colonne qui communique avec l'aspiration de l'éjecteur. Le mélange gaz vapeur va être refoulé par l'éjecteur vers les condenseurs. En

somme la vapeur sert de fluide moteur dans les éjecteurs. Une analyse de la consommation de vapeur au niveau des éjecteurs se fera en fonction de la pression du 42 CO1, de la quantité de brute traitée et du nombre de jours de marche.

- **Ejecteurs 42 J02 A/B**

La vapeur injectée dans le gros éjecteur en fonction de la pression de la colonne 42 CO1 et de la quantité de brut traité est quantifiable par le débitmètre 42FT13. Les chiffres mensuels de cette consommation de vapeur sont indiqués dans les **tableaux 5 en annexe XI et 6 en annexe XII**.

La **figure 19 en annexe XI** nous montre que la quantité de vapeur consommée du 42 J02 A/B au cours du mois d'août (**350 t**) est très supérieure à celle du mois de mai (**220 t**) tandis que la quantité de brute traitée pendant le mois de mai (**56 084,001t**) est supérieure à celle du mois d'août (**53 372,71 t**). Aussi, les mois de décembre et de janvier ont enregistrés des quantités de brute sensiblement identiques (**environ 20 000 t**) alors que la quantité de vapeur consommée pendant le mois de décembre est largement supérieure à celle de janvier de **60 t**. De plus, on remarque que les mois de mars, mai, juillet et septembre ont sensiblement les mêmes nombres de jours de marche (**environ 30 jrs**), alors que la différence de consommation de vapeur est très remarquable. Cette analyse nous montre clairement que la consommation de vapeur de l'éjecteur 42 J02 A/B est indépendante de la quantité de brute traité et du nombre de jours de marche.

Par contre, l'observation de la **figure 20 en annexe XII** indique que la quantité de vapeur consommée est fonction de la pression de la colonne CO1. En effet, plus la pression est basse, plus la consommation de vapeur est élevée. Ainsi, Nous enregistrons une pression basse d'environ **113 mb** pour les mois d'août et de septembre alors que pour les mois de janvier, février et décembre nous avons **380 mb**.

Cette analyse nous permet de conclure que la consommation de vapeur du 42 J02 A/B a été influencée par la pression souhaitée dans la colonne 42C01. En effet, pour obtenir un bon vide c'est-à-dire une pression très basse il faut envoyer plus de vapeur dans l'éjecteur afin que celui-ci aspire plus de gaz de la colonne.

- **Ejecteurs 42 J03 A/B**

Cet éjecteur ne comporte pas de débitmètre par conséquent nous considérerons par défaut son débit de design du dossier M 3785, fichier M 3787 SPEC 001. Les résultats d'analyse obtenus pour l'éjecteur 42 J02 A/B sont valables pour l'éjecteur 42 J03 A/B tout en notant que l'influence de la pression de la colonne 42 C01 sur la consommation du 42 J03 A/B est faible par rapport à celui du 42 J02 A/B. Ainsi, les valeurs

de la quantité de vapeur pour l'éjecteur 42 J03 A/B sont obtenues par la formule ci-dessous et résumées dans le **tableau 7** en **annexe XIII**.

$$\text{Débit de Vapeur (t)} = \text{Débit design (t/h)} \times \text{Nombre d'heure de marche (8)}$$

### III.2.2.2. Consommation des turbopompes

La vapeur utilisée pour faire tourner les turbopompes 41PT08A, 42PT04A et 64PT17B n'est pas directement quantifiable car il n'existe pas de débitmètre. Cependant, les consommations spécifiques en vapeur des turbines obtenues à partir du logiciel, nous permet de déterminer les débits de vapeur. En effet, le débit qui est la consommation instantanée est égal au produit de la consommation spécifique et de la puissance de la turbopompe. Le **tableau 8** en **annexe XIII** indique les débits instantanés des différentes turbopompes consommant la vapeur.

Malheureusement, les quantités totales de vapeur consommées en tonne par les turbines dans la période de janvier 2015 à décembre 2015 n'est pas calculable directement pour les raisons suivantes :

- Les turbines concernées ne sont pas prises en compte par le logiciel ASPEN,
- Les temps de marche des turbines n'ont pas été mentionnés par les opérateurs,

Néanmoins, la connaissance du temps de marche des motopompes, nous a permis d'avoir les temps de marche des turbopompes. De plus, il ressort dans nos investigations auprès des opérateurs et exploitants, que l'alimentation en vapeur des turbopompes est fonction de leur nombre de jours de marche. En effet, si les turbines sont sollicitées pendant une longue durée, elles consommeront beaucoup plus de vapeur. Les valeurs de la consommation de vapeur des turbines de l'année 2015 sont résumées dans le **tableau 9** en **annexe XIII**.

### III.2.2.3. Consommation par traçage des lignes

Il faut noter que toutes les lignes des produits soutirés à la SMB, sauf celle de l'essence totale, sont réchauffées par des traceurs (tuyauteries dans lesquelles circule de la vapeur à une certaine température et pression) et cela sur toute l'année. Le traçage des lignes répond au souci de la bonne circulation des produits et à la conservation de leur qualité. Les débits de vapeur circulant dans les traceurs ont été obtenus à partir de la formule de pertes de charges. Ces débits sont consignés dans le **tableau 10** en **annexe XIV**. Nous constatons par ce tableau que le réchauffage des lignes par les traceurs ne consomme pas une grande quantité de vapeur. Les chiffres de la consommation annuelle de vapeur de traçage des lignes sont consignés dans le **tableau 11** en **annexe XIV**.

Ce tableau 14 montre que la quantité de vapeur consommée pour le traçage des lignes se situe en moyenne à **13,51 t** par ans, et que le traçage des lignes par la vapeur du kérosène, de l'essence vers slops, du RAT, et du RSV représente les plus fortes consommations de vapeur de traçage de lignes. A travers ses analyses, nous pouvons conclure que la consommation de vapeur par le traçage des lignes ne dépend pas du brut traité ou du nombre de jours de marche, mais dépend plutôt des fuites au niveau du réseau de traçage des lignes.

#### III.2.2.4. Consommation par stripping

Le stripping consiste à faire baisser la pression partielle et se débarrasser des particules légères des produits soutirés de la colonne à la vapeur en vue de corriger le flash (la température d'auto inflammation) de ses produits. Le circuit de stripping est quantifié à tous les niveaux c'est-à-dire qu'il existe des débitmètres dont les valeurs mensuelles sont consignées dans le **tableau 12** en **annexe XV**. Ainsi nous pouvons facilement suivre l'évolution de la consommation de vapeur de stripping envoyée dans les colonnes 41C04/41C01/41C02/41C03/42C01. La **figure 21** en **annexe XVI** et le **tableau 13** en **annexe XV** nous montrent l'évolution de la consommation de vapeur de stripping en fonction du nombre de jours de marche.

Nous constatons que les mois de février, mars, mai, juillet, août, et septembre ont enregistré les consommations les plus élevées tournant autour de **3 700** tonnes pendant que les mois de janvier, avril, novembre et décembre ont enregistré les plus faibles consommations de vapeur en moyenne **600** tonnes. En plus, nous remarquons que la quantité de vapeur consommée est fonction du nombre de jours de fonctionnement. Ce qui permet de déduire que la quantité de vapeur consommée par stripage est influencée particulièrement par le nombre de jours de marche des unités.

#### III.2.2.5. Vapeur de chasse, de dégazage, et de vaporisation

Cette vapeur est de la vapeur HP, les valeurs de cette quantité de vapeur sont données par le Tag 40 FI0011 à l'aide du logiciel ASPEN avec lequel nous avons les débits journaliers qui permettent d'avoir les débits mensuels. Les valeurs sont résumées dans le **tableau 14** en **annexe XVI**. La quantité de vapeur de chasse, de dégazage et de vaporisation s'élève à **8 333,289 t**.

**En conclusion partielle**, nous pouvons dire que la surconsommation de vapeur des équipements utilisateurs au niveau du procédé est fonction particulièrement du nombre de jours de marche, de la pression du 42 C01, des mauvaises procédures d'exploitation et d'autres facteurs issus de la configuration du réseau.

### III.2.3. Consommation de vapeur au niveau de la logistique

Les chiffres de la consommation de vapeur de la logistique en fonction du bitume traité et du nombre de jour de chauffe figurent dans le **tableau 3** en **annexe VIII** et illustrés à travers la **figure 22** en **annexe XVII**.

L'analyse de cette **figure 22** montre que la consommation de vapeur au niveau de la logistique est fonction de la quantité de produit stocké (bitume produit) et de la procédure d'exploitation de la chauffe des bacs de stockage de bitumes. En effet, lorsqu'un bac est en coulé, sa quantité de matière augmente, donc la chaleur qu'elle contient augmente et se conserve plus. Cela entraîne une diminution de la consommation de la chaleur reçue par conduction et convection avec la vapeur. Cependant, une mauvaise procédure d'exploitation à savoir le maintien de la chauffe continue sur les bacs est à l'origine de la surconsommation de la vapeur au niveau de la logistique.

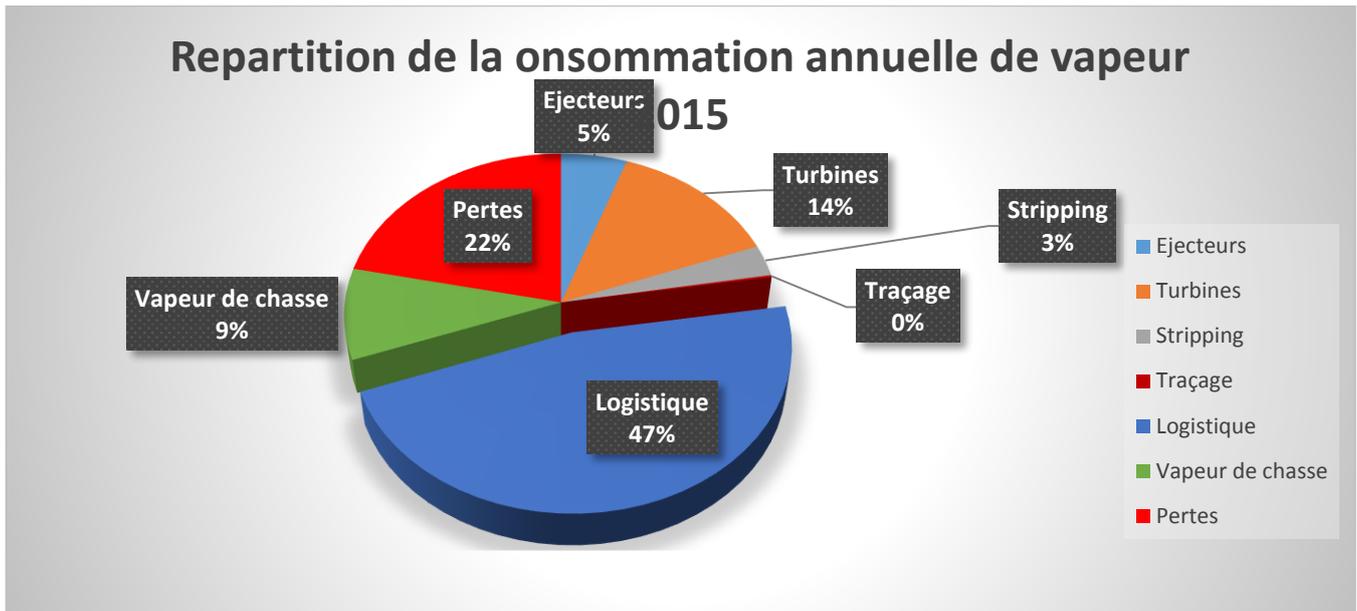
**En conclusion partielle**, nous pouvons dire que la consommation de vapeur au niveau de la logistique n'est pas fonction de la quantité de brut traité, ni du nombre de jours de marche du procédé, mais serait fonction de la procédure d'exploitation, d'autres facteurs liés à la configuration du réseau et aux équipements de régulation de la vapeur.

### III.2.4. Bilan de la consommation 2015

Les quantités de vapeur de Quench ont été très négligeables donc ne figurent pas dans notre bilan. De plus, selon les cahiers de relevés des opérateurs, il n'y a pas eu d'utilisation de vapeur de sécurité, de décokage, de ramonage, d'atomisation, ni d'étouffement. Ainsi, le **tableau 4** et la **figure 4** résument les consommations annuelles des différents niveaux de consommation et des pertes annuelles en 2015.

**Tableau 4** : Bilan total de la consommation annuelle de vapeur 2015

Libellés	Consommation annuelle de vapeur	
	Tonne	en %
Fonctionnement des Ejecteurs	4 894,13	5,32
Fonctionnement des turbopompes	12 743,52	13,86
Stripping	2 817,75	3,065
Traçage des lignes	162,13	0,17
Rechauffage du bitumes (Logistique)	43 113,423	46,89
Vapeur de chasse, de vapORIZATION et de dégazage	8 333,28	9,06
<b>Total vapeur consommée</b>	<b>72 064,233</b>	<b>78,39</b>
<b>Total vapeur entrée SMB</b>	<b>91 929,576</b>	<b>100</b>
<b>Ecart des consommations (t/an)</b>	<b>19 865,343</b>	<b>22</b>



**Figure 4 :** Répartition de la consommation annuelle de vapeur 2015

Il faut savoir que la consommation globale de vapeur représente la quantité de vapeur envoyée et enregistrée à l'entrée de la SMB c'est-à-dire la consommation théorique de vapeur. Cette consommation devrait normalement être égale au total des quantités de vapeur relevées à chaque niveau de consommation. Cependant, il existe un écart entre ces valeurs qui s'élève à **22%**. Cet écart, évalué à **19 865,342 t**, correspond donc aux pertes de vapeur enregistrées par la SMB au cours de l'année 2015. Ce qui montre que l'usine ne consomme qu'environ **78 %** de son utilité vapeur.

Vu ce chiffre important, il s'avère nécessaire de trouver l'origine de ces pertes et proposer des solutions enfin de les réduire.

### III.3. Identification des causes de la surconsommation

Le bilan de la consommation de vapeur à travers l'analyse de la consommation des équipements consommateur, ainsi que des investigations menées sur le réseau vapeur et auprès de tous les agents qui travaillent sur le réseau vapeur nous a permis de recenser certains facteurs influant négativement sur la consommation de vapeur. Ces facteurs sont liés aux équipements, aux procédures d'exploitation et aux configurations du circuit de vapeur.

### III.3.1. Facteurs liés aux équipements de régulation

Ces facteurs concernent les équipements régulant la vapeur qui sont en mauvais état et les fuites de vapeur sur le réseau vapeur susceptibles d'accroître la consommation de vapeur. Ce sont :

- Les fuites de vapeur sur des équipements : la vapeur s'échappe à l'atmosphère par des fissures ;
- Les purgeurs automatiques défectueux : ils purgent de la vapeur en continue au lieu de ne purger que des condensats ;
- Le circuit de réchauffage du bitume : toutes les vannes présentes sur le circuit de vapeur pour le stockage du bitume sont manuelles. Ce qui signifie que la quantité de vapeur utilisée n'est pas régulée. Ainsi donc la vapeur pour le réchauffage peut être gaspillée ;
- Absence de débitmètre sur la ligne vers le bac d'azote ; la vapeur utilisée sur le Bac d'azote SIR n'est pas régulée, ni comptabilisée. Vannes de régulation défectueuses ;

Ces facteurs ou anomalies entraînent donc des pertes de vapeur et par conséquent un accroissement de la consommation. En fait, il faut consommer plus de vapeur pour arriver à combler ces fuites et à alimenter tous les points de consommation de vapeur. Les différentes anomalies recensées sur le réseau sont mentionnés dans le **tableau 15** en **annexe XVII**.

### III.3.2. Facteurs liés aux procédures d'exploitation et aux configurations du circuit de vapeur

Ils concernent le non-respect des procédures et consignes utilisées pour effectuer la production et le stockage de bitume. En effet, en raison des perturbations pouvant survenir au cours des procédés, certaines procédures et consignes sont détournées afin de régler les problèmes. A partir des synoptiques du SNCC, des cahiers de relevés des opérateurs et des visites sur les unités, nous avons pu constater les cas suivants :

- le stripping du kérosène : la valeur de la consigne réelle du ratio de VS (plus de **30 kg/t**) est plus élevée que celle recommandée par les CPE (**15 à 20 kg/t**). Ce qui signifie qu'il y a une surconsommation de la vapeur à ce niveau ;
- la gestion des turbopompes 41PT 08A, 42 PT04A, 64PT017B : Ces pompes ne sont pas prises en compte par le logiciel ASPEM. Ainsi, les dates de démarrage et d'arrêt ne sont pas suivies par les opérateurs. Ce qui entraîne un manque de données à ce niveau et une surconsommation de vapeur BP à l'atmosphère ;
- Le circuit de vapeur BP : il est configuré de telle sorte que l'excès de vapeur dans le réseau BP après la détente de la vapeur HP est rejeté à l'atmosphère. En effet, la vapeur alimentant les turbines est envoyée après utilisation dans le réseau BP. Lorsque le réseau BP est gonflé, c'est-à-dire que la

pression est trop montée, la vanne 40PV009B s'ouvre pour évacuer la vapeur à l'atmosphère. Or, une turbine lorsqu'elle est en service gonfle à elle seule le réseau BP, ce qui entraîne à chaque fois de la vapeur à l'atmosphère. Toutes ces vapeurs rejetées à l'atmosphère constituent une perte pour la SMB. Par manque de données dans les logiciels et dans les cahiers des opérateurs, nous avons, pour trouver les nombres de jours où la vapeur fut évacuée à l'atmosphère considéré tous les jours où la pression fut supérieure à **2,5 bars**. Le **tableau 16** en **annexe XVIII** indique les jours pendant lesquels la vapeur a été évacuée à l'atmosphère et la quantité correspondante.

Nous pouvons conclure que toutes ces anomalies, mauvaises procédures susmentionnées et configurations de circuit sont des facteurs de pertes de vapeur et d'accroissement de la consommation de vapeur. Ainsi, ces facteurs entraînent par conséquent l'augmentation du coût de consommation de la vapeur.

### **III.3.3. Estimation des pertes**

L'estimation quantitative et économique des différentes pertes enregistrées à la SMB a pour objectif de mettre en évidence le problème réel de la surconsommation.

Les pertes enregistrées au niveau du procédé et de la logistique à l'aide des données que nous avons collectées ont été estimées à travers le bilan à **19 865,34 t**, soit en moyenne **2,26 t/h** durant l'année 2015 avec **252,08** jours de marche des unités. (**Tableau 17** et **figure 23** en **annexe XVIII**)

Avec **1t** de vapeur à **17 700 FCFA**, la SMB a consommé en moyenne environ **10,50 t/h** soit **185 850 FCFA/h** de vapeur et en a perdu en moyenne **2,26 t/h** soit **40 000 FCFA/h**. (**Tableau 18** en **annexe XVIII**)

La SMB a donc perdu environ **351 985 565 FCFA** dans la consommation de vapeur durant l'année 2015. Au terme de cette analyse et vue la somme perdue par les pertes de vapeur, il devient nécessaire voire obligatoire de trouver des solutions afin de réduire considérablement ces pertes et par conséquent le coût de consommation de vapeur.

### **III.4. Solutions envisageables**

Les solutions que nous proposons permettront à la SMB de contrôler et maîtriser les pertes de vapeur en vue de les réduire considérablement.

### III.4.1. Propositions

#### III.4.1.1. Programme de suivi, et contrôle des équipements intervenant dans le circuit de vapeur

Concernent tous les équipements intervenant sur le circuit de vapeur, nous préconisons qu'un planning soit établi pour leur suivi et contrôle réguliers. Ce planning consistera à aller sur le site pour vérifier l'état de ses équipements et recenser des éventuelles anomalies. Ensuite, il faudra demander l'intervention des services compétents, par le biais du logiciel SAP, pour réparer ces anomalies. Une telle opération nécessite un planning qui est le suivant : effectuer ce programme tous les 15 jours c'est-à-dire chaque 1<sup>er</sup> et 15 du mois. Pour mettre en œuvre cette opération, nous avons besoin :

- ✓ d'un maximum de 2 personnes (les opérateurs extérieurs) pour faire la ronde des unités ;
- ✓ de carnets et stylos pour les relevés ;
- ✓ d'ordinateur avec SAP installé pour les émissions d'avis ;
- ✓ d'instrument de détection de fuites tel que le pyromètre à infra-rouge ;

#### III.4.1.2. Réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation

Ce programme permettra à la SMB de réduire au maximum les **22 %** de pertes de vapeur. De plus, elle va améliorer la gestion de la consommation de vapeur. Les grands travaux à effectuer sont les suivant :

- ✓ Installation de débitmètre
- ✓ Installation de nouveaux purgeurs en aval des Bacs **B05, B12, B16**
- ✓ Réparation des fuites de vapeur par les orifices à l'atmosphère

L'acquisition du matériel sera faite par appel d'offre et basée sur la qualité et le prix. Les travaux seront effectués par les entreprises extérieures qui ont déjà des contrats forfaitaires avec la SIR telles que l'entreprise kuyo pipeline, l'entreprise Frilender, etc...

- **Installation de débitmètre**

Cette solution n'engendrera pas de réduction de pertes de vapeur en tant que telle, mais indirectement elle constituera un moyen de gestion de la vapeur, et donc de maîtrise de la consommation de vapeur. En effet, pendant le bilan nous avons eu du mal à faire un bilan chiffré détaillé de la consommation de vapeur au niveau de certains consommateurs de vapeur. Ce qui nous a amené à considérer le débit design ou global de certains équipements ou partie du réseau vapeur. Nous pensons que cela doit être évité par l'installation

de débitmètre en amont de ses consommateurs dans l'objectif de bien déceler les pertes de vapeur et bien maîtriser la gestion du réseau vapeur. Il s'agit d'installer :

- Un débitmètre sur la ligne du Bac d'azote SIR ou sur la ligne au niveau de la pompérie 14
- Un débitmètre en amont de l'éjecteur 42 J03 A/B
- **Installation de nouveaux purgeurs en aval des Bacs B05, B12, B16**

Nous proposons cette solution à savoir remplacer les purgeurs défectueux et installer de nouveaux purgeurs en aval des bacs qui n'en possèdent pas car la chauffe des bacs engendre beaucoup de pertes de vapeurs en cas de purgeurs défectueux ou absence de purgeurs. En effet, le purgeur FIO 1 pouce bloque la vapeur, qui cède sa chaleur latente au bitume dans le bac par conduction et convection et se condense. Il laisse passer le condensat. Lorsque le purgeur est défectueux, il laisse passer la vapeur qui n'arrive plus à céder la totalité de sa chaleur latente au bitume. Alors on assiste à une perte accrue de vapeur au niveau de ce bac. L'installation de purgeurs et le remplacement des purgeurs défectueux vont résoudre ce problème.

➤ **Calcul des pertes de vapeur P1 engendrées par un purgeur à FIO 1 pouce en une année**

Nous allons calculer la quantité de vapeur perdue par un purgeur de 1/2 po et déduire celle d'un purgeur de 1 po car notre table ne contient pas de diamètre 1 pouce. La perte de vapeur annuelle par un purgeur se calcul par la formule :  $P(t/h) = w (t/h) \times 24(h/j) \times 365(j/an) \text{ (9)}$

Avec  $W$  : Quantité de vapeur perdue en (Ib/h) (voir tableau 19 annexe XIX)

$$1 \text{ Ib/h} = 0,453 \text{ kg/h} \quad ; \quad 1 \text{ po} = 25,4 \text{ mm}; \quad 1 \text{ lb /po}^2 = 6,897 \text{ kpa}$$

La pression de la vapeur 16 bar en  $\text{Ib/po}^2$  est égale à :  $1600000 \text{ Pa} = 1600 \text{ kPa} = \frac{1600}{6,897} = 231,98 \text{ Ib/po}^2$

Or d'après le tableau 19 des pertes de vapeur en annexe XIX, on a le tableau 5 suivant :

**Tableau 5** : Tableau des valeurs pour la méthode de corrélation

Diamètre de l'orifice en po	Pression de vapeur en $\text{Ib/po}^2$	Quantité de vapeur perdue en Ib/h
1/2	200	1 580
1/2	250	1 949
1/2	231	<b>W</b>

Par la méthode de corrélation linéaire, la quantité de vapeur perdue par un orifice de diamètre 1/2 po en 1 heure est :  $(W \times 1 580) (250 - 200) = (1 949 - 1 580) (231 - 200)$

$$W = 1 898,78 \text{ Ib/h} \times 0,453 \text{ kg/h} = 861,28 \text{ kg/h} = \mathbf{0,861 \text{ t/h}}$$

Par conséquent, la quantité de vapeur perdue par un purgeur de diamètre 1po en une année peut être estimée à :

$$P_1 = 2 \times 0,861 \text{ t/h} \times 24\text{h} \times 365 = \mathbf{15\ 084,72 \text{ t}}$$

Ce calcul nous montre qu'un purgeur à flotteur inversé ouvert défectueux engendrerait une perte annuelle d'environ **15 084,72t** soit **1,72 t/h**.

➤ **Hypothèses**

- ✓ Si on suppose que seule la moitié de la vapeur est consommée lors du passage de la vapeur dans les serpentins, alors nous pouvons conclure qu'un purgeur à flotteur inversé ouvert défectueux engendre une perte de vapeur d'environ **7 542,36 t/an** soit **0,861 t/h**.
- ✓ Par contre, si on suppose les 3/4, on a environ **11 313,54 t/an** soit **1,29 t/h**.
- ✓ Enfin, si on suppose les 1/3, on a environ **5 028,24 t/an** soit **0,57 t/h**.

• **Réparation des fuites de vapeur par les orifices à l'atmosphère**

Nous avons énuméré les fuites de vapeur à l'atmosphère dans le **tableau 15** en **annexe XVII**. Pour calculer la quantité de vapeur perdue par ses fuites, on utilise le **tableau 19** en **annexe XIX**. Ainsi la quantité de vapeur perdue par un orifice à l'atmosphère est donnée par la même formule que pour les purgeurs FIO. Nous avons considéré le diamètre minimum des fuites. Les quantités de vapeur perdue à l'atmosphère en t/h par les anomalies que nous avons recensées sont résumées dans le **tableau 20** en **annexe XIX**. On voit bien à travers ce tableau que la quantité de vapeur perdue à l'atmosphère à travers les orifices est estimée à **236,35 t/an** soit en moyenne **0,93 t/h**. (Voir les détails des calculs en **annexe XX**)

Les résultats de la réparation des fuites et l'installation de nouveaux équipements de régulation sont résumés dans le **tableau 6** et la **figure 5** ci-dessus

**Tableau 6** : Tableau récapitulatif des résultats de la réparation et l'installation de nouveaux équipements

Nu°	Problèmes	Action à mener	Qtité	Résultats
1	Absence de débitmètre au niveau (éjecteur 42 J03A/B, ligne vers bac azote ou pompérie 14)	Installation de débitmètres	2	Amélioration de la gestion de la consommation de vapeur sur le réseau
2	Absence de purgeur ou purgeur défectueux en amont des bacs (B12, B16, B05)	Installation de purgeurs	3	Réduction de pertes de vapeur d'environ <b>0,86 t/h/purgeur</b> soit <b>4 232,85 t/an/purgeur</b> pour un nombre de jours de fonctionnement de <b>252,08</b>
3	Fuites de vapeur à l'atmosphère par des orifices	Réparation des fuites	13	Réduction des pertes de vapeur d'environ <b>0,93 t/h</b> soit en moyenne <b>4 577,38 t/an</b> pour un nombre de jours de fonctionnement de <b>252,08</b>

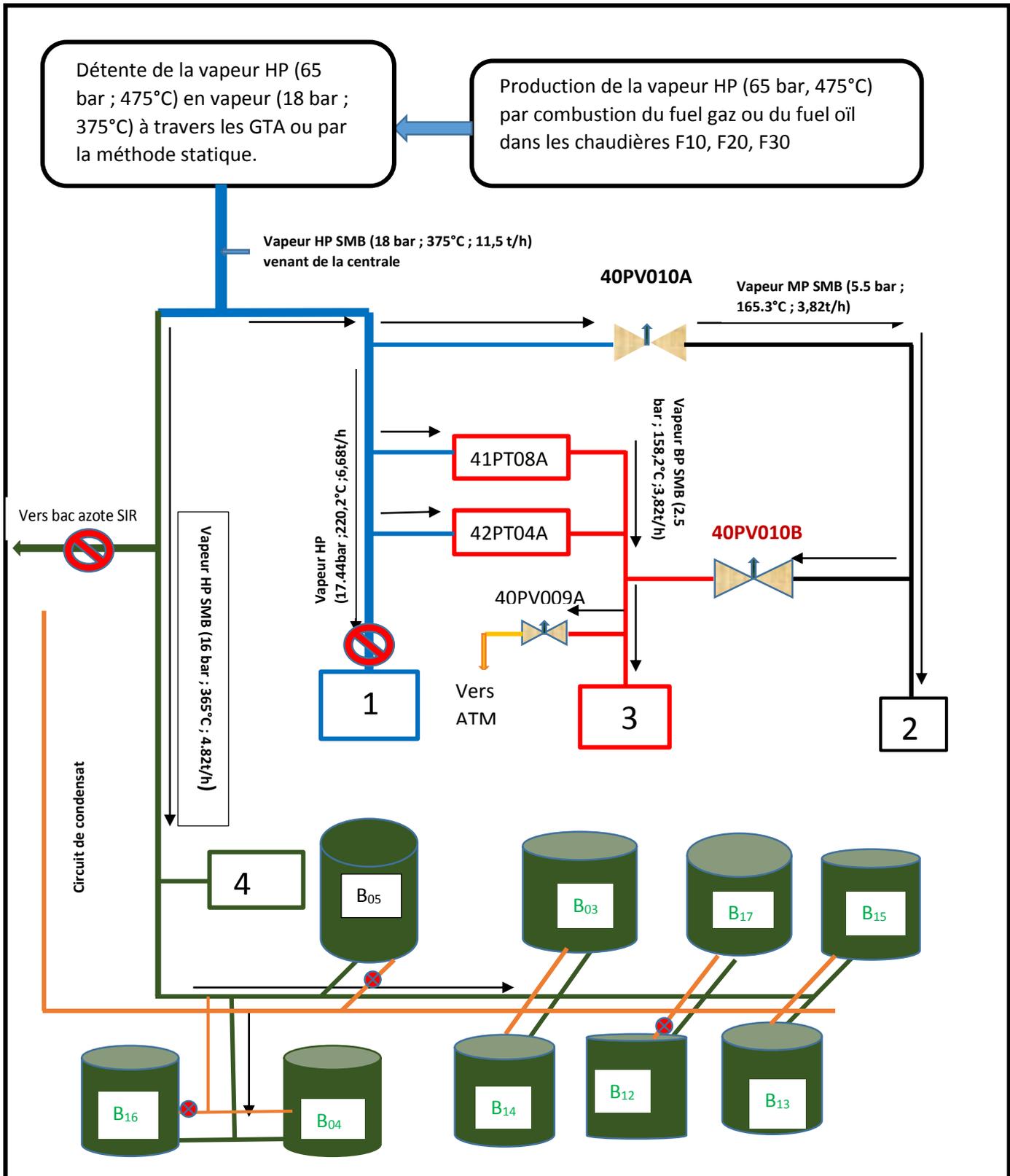


Figure 5 : Schéma des résultats de la réparation et l'installation de nouveaux équipements

### III.4.1.3. Récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère

Nous proposons à la SMB de récupérer la vapeur BP qui est en excès dans le réseau BP afin de l'utiliser en tant qu'eau de dessalage. En effet, nous pouvons condenser cette vapeur ce qui permettra de fermer les autres points d'alimentation du ballon de dessalage qui pourraient être coûteux pour la SMB. En fait, l'eau déminée provenant de la centrale et alimentant le 41T01 est facturée à la SMB. Pour ce faire, il faudrait installer une unité de condensation de la vapeur.

- **Procédure d'exécution**

Le surplus de vapeur à 140°C sera pris avant la 40PV09B et acheminé vers l'aérocondenseur pour être condensé et obtenir une température comprise entre 110 et 120°C ;

- l'eau obtenue sera récupérée dans un ballon qui conditionnera sa pression ;
- elle sera envoyée par gravité sous contrôle de niveau dans le ballon d'eau de dessalage 41T01.

- **Moyens**

Cette procédure nécessite la mise en place de :

- une ligne de vapeur piquée avant la 40PV09B jusqu'au lieu de condensation précisément avant l'entrée de l'aérocondenseur ;
- un aérocondenseur ;
- une ligne piquée de l'aérocondenseur au ballon de récupération de condensats ;
- un ballon tampon ;
- un transmetteur de niveau et une vanne automatique pour réguler le niveau du ballon ;
- une ligne piquée du ballon tampon au ballon 41T01 (sur la ligne de l'eau venant du 41B02).

(Voir la figure 24 en annexe XXV)

### III.4.2. Autres recommandations

Nous recommandons à la SMB dans le cadre de l'optimisation de sa consommation de vapeur :

- D'utiliser les turbopompes uniquement à la demande de la centrale ou pour les essais périodiques ou encore en cas de panne des motopompes. Ainsi, cette solution permettra d'éviter l'évacuation d'une trop grande quantité de vapeur à l'atmosphère ;
- D'introduire le temps de marche des turbopompes dans le logiciel ASPEN ;
- De consommer la quantité minimum de vapeur nécessaire pour créer le vide dans la colonne par les éjecteurs tout en conservant la qualité de ses produits. Cette solution réduira les gaspillages de vapeur ;

- De ne plus tracer les lignes de produits dont les températures sont supérieures à 50°C mais conserver les calorifuges.

### III.5. Estimation des coûts d'investissement, des gains et le temps de retour sur investissement

Dans cette partie, nous faisons un bilan financier des différentes solutions proposées, estimons les investissements nécessaires à leur réalisation ainsi que les temps de retour sur investissement.

Avec (10) [12]

$$TRI (an) = \frac{\text{Investissement initial (F cfa)}}{(\text{économie annuelle (F cfa)} * \text{coefficient de sécurité (85\%)})}$$

**TRI**= temps de retour sur investissement

Les résultats obtenus après différents calculs sont consignés dans des tableaux par solution proposée.

#### III.5.1. Estimation des coûts d'investissement

##### III.5.1.1. Programme de suivi, et contrôle des équipements intervenant dans le circuit de vapeur

Il faut savoir que les opérateurs disposent déjà de carnets, de stylos et d'ordinateur donc cette solution ne coûtera rien à la SMB. Cependant, pour l'entretien des équipements, la SMB pourra s'entendre avec le service compétent sur leurs honoraires.

##### III.5.1.2. Réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation

Le coût d'investissement de la réparation des fuites et l'installation de nouveaux équipements de régulation de la vapeur sans la main d'œuvre s'élève à **34 417 547 F CFA.** (Voir tableau 21 en annexe XXII)

##### III.5.1.3. Récupération de la vapeur à l'atmosphère

Le coût d'investissement de la récupération de la vapeur est estimé à un montant de **73 162 540 F CFA.** (Voir les détails dans le tableau 22 en annexe XXII).

**NB :** le calcul des coûts d'investissements s'est fait sur la base des anciens reçus que nous avons exploité à travers le logiciel ASPEN et SAP. Ensuite nous avons actualisé les prix.

### **III.5.2. Estimation des gains et temps de retour sur investissement**

#### **III.5.2.1. Programme d'entretien/suivi et contrôle des équipements intervenant dans le circuit de vapeur**

La SMB, en appliquant cette solution, réduira considérablement ses nombreuses fuites de vapeur existant sur les unités et par conséquent aura des équipements fiables c'est-à-dire en bon état. Aussi, elle réduira les pertes de confinements et les départs de feu.

#### **III.5.2.2. Réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation**

Le **tableau 23** en **annexe XXII** montre que la réparation des fuites et l'installation de nouveaux équipements de régulation en considérant que seule la moitié de la chaleur latente de la vapeur est cédée au bitume engendrera une économie de **3,51 t/h** soit environ **62 127 FCFA/h**. Ce qui correspond à **203 285 385 FCFA/an** soit **13 %** du coût de la vapeur (**1 531 212 719 F CFA/an**) en **2015**. Le **tableau 24** en **annexe XXIII** illustre le coût de l'investissement, le temps de retour sur investissement et l'économie réalisable.

Ainsi, la réalisation de ce projet permettra à la SMB en un temps record d'environ un **(1) mois** de recouvrir l'investissement et d'économiser par an une somme d'environ **203 285 385 FCFA/an**.

#### **III.5.2.3. Récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère**

Il y a 3 cas de figures pour la récupération de la vapeur :

- 3 turbopompes sont en marche donc débit maximum ;
- 2 turbopompes sont en marche donc débit moyen ;
- 1 turbopompe est en marche donc débit minimum

Le gain de la récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère par an pour un débit maximum est estimé à **1 260 000 F CFA/an** soit **1 050 F CFA/m<sup>3</sup>/h**. (voir le **tableau 25** en **annexe XXIII**)

La SMB gagnera par conséquent jusqu'à **5 t/h** d'eau déminée de bonne qualité car elle est pure c'est-à-dire qu'elle n'a pas été mélangée à des HC comme celle du 41B02. En outre, elle a aussi une température tournant autour de 100°C donc ne nécessite pas un réchauffage avant d'être envoyée dans le brut. Le coût d'investissement, l'économie réalisable et le temps de retour sur investissement sont résumés dans le **tableau 26** en **annexe XXIII**.

Les gains de la récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère pour les débits moyen et minimum sont illustrés respectivement par les **tableaux 27 et 28** en **annexe XXIV**.

Il est bien vrai que la SMB gagnera 5 tonne soit **5 m<sup>3</sup> /h** d'eau déminée .Cependant, Cette solution n'est pas rentable pour la SMB à cause du TRI qui est de 14 ans. En effet, l'économie réalisable par an est très faible par rapport à l'investissement.

Le **tableau 7** résume les études des solutions proposées et des économies réalisables.

**Tableau 7** : Récapitulatif de l'estimation des gains et du temps retour sur investissement

Problèmes observés	Actions et travaux à mener	Coût des équipements et des travaux à réaliser (F CFA)	Economie réalisable	TRI
<b>Programme d'entretien/suivi et contrôle des équipements intervenant dans le circuit de vapeur</b>				
<b>Manque d'entretien, suivi et contrôle des équipements</b>	Planning de suivi, d'entretien et de contrôle	<b>Pas de coût</b>	Réduction des fuites de vapeur, des pertes de confinement, et des départs de feu	<b>1 Mois</b>
<b>Réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation de vapeur</b>				
<b>Perte de vapeur à l'atmosphère par les orifices et par les équipements de régulation défectueux</b>	Achat et installation de débitmètres	<b>34 417 547</b>	<b>203 285 385</b>	<b>1mois</b>
	Achat et installation de nouveaux purgeurs en amont des bacs B05, B12, B16			
	Réparation des fuites à l'atmosphère			
<b>Réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation de vapeur</b>				
<b>Perte de vapeur à l'atmosphère par la vanne 40PV0009</b>	Installation d'un circuit de récupération de cette vapeur pour la transformer en eau déminée	<b>73 162 540</b>	<b>6 210 130</b>	<b>14 ans</b>

Nous n'avons retenus que les deux premières solutions.

### **III.6. Etude d'impact environnementale**

La réalisation de ce projet permettra à la SMB une récupération totale d'environ **3,51 t/h** de vapeur correspondant à **1,15** tonne de fuel Oil brûlé, soit une énergie de **55 998 000 kWh**.

En réduisant la consommation de gaz combustible brûlé et de fuel oil aux fours d'alimentation de production de la vapeur, le projet d'optimisation de la consommation de vapeur sur les unités SMB permettra de réduire les émissions annuelles de CO<sub>2</sub>, de NO<sub>x</sub>, de SO<sub>x</sub> et de CO<sub>x</sub>. Pour la raffinerie, cette réduction combinée à tous les autres efforts effectués dans le domaine de la réduction des GES, permettra de démontrer une attitude corporative responsable dans la réduction de l'impact sur l'environnement. En fait, la raffinerie SMB (SIR) est constamment à la recherche d'opportunité d'amélioration lui permettant de dépasser les standards de l'industrie.

Il est important de souligner que ce projet aura des répercussions positives au sein de la communauté environnante. Les habitants des quartiers avoisinants ainsi que la communauté internationale pourront constater que la SMB (SIR) est proactive en termes de respect de l'environnement et que l'entreprise SMB est engagée à déployer des efforts constants d'amélioration de ses opérations.

## CONCLUSION

Ce travail portant sur l'optimisation de la consommation de vapeur à la SMB, nous a permis d'une part d'effectuer des recherches particulières sur la vapeur d'eau, sur les méthodes d'optimisation d'un réseau vapeur et les équipements de gestion de la vapeur. D'autres parts, nous avons procédé à l'élaboration d'un bilan de la consommation de vapeur sur les unités de l'année 2015 qui nous a révélé l'existence de pertes de vapeur d'environ (**22 %**) de la consommation totale dont **30 %** évacuée à l'atmosphère par la vanne 40PV0009 et **70 %** constituent les autres pertes.

Cependant, à travers les calculs, les recherches effectuées et les entretiens avec les agents, nous avons conclu que ces pertes sont liées principalement au mauvais état des équipements de régulation de la vapeur, à la mauvaise procédure d'exploitation et à l'évacuation de la vapeur à l'atmosphère.

Ainsi, des propositions ont été faites afin d'améliorer la gestion de la vapeur. Ce sont entre autres le suivi et contrôle réguliers des équipements, la réparation et l'installation de nouveaux équipements, la mise en place d'un circuit de récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère par la vanne 40PV0009.

L'analyse et l'étude technico-économique nous a montré que la mise en place du circuit de récupération de la vapeur BP rejetée à l'atmosphère n'était pas rentable pour la SMB.

Cette étude a permis à la SMB de connaître ses insuffisances à propos de sa consommation de vapeur. En outre, elle contribuera à fiabiliser l'état des équipements. Elle permettra également de réduire les coûts de consommation par une économie de la vapeur. Nous pouvons donc dire que l'objectif principal qui est d'optimiser la consommation de vapeur sur les unités SMB de **5 %** pourra être atteint par la prise en compte de nos propositions et recommandations qui vont lui permettre d'économiser plus de **203 285 385 FCFA/an**.

En ce qui nous concerne, ce stage nous a été d'un grand apport pédagogique car il nous a permis d'accroître nos connaissances en matière de procédés industriels dans les entreprises de raffinage en nous confrontant aux réalités du milieu professionnel. Nous avons par ailleurs eu l'occasion d'apporter notre contribution sur certaines activités exécutées à la SMB.

## **REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE**

- [1] *Manuel de formation Unités 41 et 42, Guide technique, SMB (Côte d'Ivoire), 2010*
- [2] *IFP Training, Raffinage, Pétrochimie, Chimie, Ingénierie, Paris France 2008*
- [3] *Notes de Savoir-Faire, SIR (Côte d'Ivoire), Avril 2010*
- [4] *Livre de procédé SMB, Chapitre I, SMB (Côte d'Ivoire), 1977*
- [5] *Vapeur d'eau, Disponible auprès de « [http://fr.Wikipedia.org/Wiki/Vapeur d'eau](http://fr.Wikipedia.org/Wiki/Vapeur_d'eau) » mars 2016*
- [6] *Série de la Gestion de l'Energie 9, Chauffage et Refroidissement, Direction de l'Economie d'Energie (canada), 2014*
- [7] *Programme d'économie d'énergie dans l'industrie canadienne, Guide de planification et de gestion de l'efficacité énergétique, (Canada), édition 2014*
- [8] *Cours de transfert thermique, Dr Daniel Yamegueu, 2iE (Ouagadougou), édition 2015*
- [9] *Le réseau vapeur et condensats, Energie Wallonie, Conception et dimensionnement, (France) édition 2010*
- [10] *Optimisations énergétiques sur un réseau vapeur, Disponible sur « <https://www.exergia.fr> » EXERGIA (France),*
- [11] *Réseau vapeur, Module 12, Disponible sur « [www.dimaista.com](http://www.dimaista.com). »*
- [12] *Cours d'économie d'Energie, Pr Coulibaly Yezoumah, édition 2012*
- [13] *Cours de thermodynamique Appliquée, Pr Coulibaly Yezoumah, édition 2012*
- [14] *Suncor Energie Inc, Jean-Simon Bourret et Jean Phillippe Coulomb*

# ANNEXES

**Figure 1** : actionnariat de la SMB

**Figure 2** : organigramme de la SMB

**Figure 3** : Chaleur totale d'un kg de vapeur à pression atmosphérique

**Figure 4** : Chaleur totale d'un kg de vapeur à 10 barg

**Tableau 1** : Caractéristiques de la vapeur saturée en fonction de la pression

**Figure 5** : Variation de l'enthalpie en fonction de la pression

**Figure 6** : Courbe de saturation de l'eau

**Figure 7** : Diagramme de MOLLIER

**Figure 8** : Purgeur mécanique à flotteur fermé

**Figure 9** : Purgeur mécanique à flotteur inversé ouvert

**Figure 10** : Purgeur thermostatique à bilames

**Figure 11** : Purgeur thermostatique à dilatation de fluide

**Figure 12** : Purgeur thermodynamique

**Figure 13** : Purgeur à impulsion

**Figure 14** : Méthode d'élimination des condensats en ligne

**Figure 15** : Elimination de l'air à la mise en service

**Tableau 2** : Les lignes de retour de condensats

**Tableau 3** : Consommation mensuelle de vapeur 2015

**Figure 16** : Bilan de la consommation de vapeur en 2015 en fonction de la quantité de brut traité

**Tableau 4** : Comparaison de la consommation de vapeur aux valeurs design

**Figure 17** : Vapeur du procédé en fonction de la quantité de brut traité et du nombre jours de marche

**Figure 18** : Consommation de vapeur du procédé en fonction du nombre de jours de fonctionnement

**Tableau 5** : Consommation mensuelle de vapeur du 42 J 02 A/B

**Figure 19** : Consommation de l'éjecteur 42 J 02 A/B en fonction de la quantité de brute traitée

**Tableau 6** : Consommation mensuelle de vapeur de l'éjecteur 42J02 A/B en fonction de la pression du 42 C01

**Figure 20** : Consommation de l'éjecteur 42 J02 A/B en fonction de la pression du 42 CO1

**Tableau 7** : Consommation mensuelle design du 42 J03 A/B

**Tableau 8** : Consommation instantanée des turbopompes

**Tableau 9** : Consommation de vapeur des turbopompes de l'année 2015

**Tableau 10** : Débits de vapeur de traçage

**Tableau 11** : Consommation de vapeur par traçage

**Tableau 12** : Consommation de vapeur par stripping

**Figure 21** : Consommation par stripping en fonction du nombre de jours de marche

**Tableau 13** : Consommation de vapeur par stripping en fonction du nombre de jours de marche

**Tableau 14** : Vapeur de chasse, de dégazage et de vaporisation

**Figure 22** : Consommation de vapeur de la logistique en fonction de la quantité de bitume

**Tableau 15** : Liste des anomalies sur le circuit de vapeur

**Tableau 16** : Quantité de vapeur évacuée à l'atmosphère en 2015

**Tableau 17** : Estimation quantitative des pertes de vapeur en 2015

**Figure 23** : Répartition quantitative des pertes de vapeur à la SMB en 2015

**Tableau 18** : Estimation économique des pertes de vapeur en 2015

**Tableau 19** : Table des pertes de vapeur par les orifices évacuant à l'atmosphère

**Tableau 20** : Pertes totale de vapeur à l'atmosphère par les orifices

**Tableau 21** : Coût de la réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation

**Tableau 22** : Coût de la récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère

**Tableau 23** : Gain de la réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation

**Tableau 24** : Récapitulatif de la réparation des fuites et installation de nouveaux équipements de régulation

**Tableau 25** : Gain de la récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère pour un débit maximum

**Tableau 26** : Récapitulatif de la récupération de la vapeur évacuée à l'atmosphère pour un débit maximum

**Tableau 27** : Gain d'eau déminée pour un débit de vapeur moyen évacuée à l'atmosphère

**Tableau 28** : Gain d'eau déminée pour un débit de vapeur minimum évacuée à l'atmosphère

**Figure 24** : Schéma du circuit de récupération de la vapeur BP évacuée à l'atmosphère