



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الآلية والكهروميكانيك

Département d'Automatique et d'Électromécanique

Mémoire de fin d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance industrielle

*Dimensionnement d'une chaudière pour un site de
distribution de bitume*

Présenté par :

RAMDANI Mohamed

OUFRANI Akram Salah Eddine

Soutenu publiquement le /06/2023

Devant le jury composé de :

Bahmed Daoudi	Pr	Univ. Ghardaïa	Président
Abderrahmane BELLAOUAR	Pr	Univ. Ghardaïa	Encadrant
Ibrahim Zitani	MAA.	Univ. Ghardaïa	Examineur
Faouzi Akermi	MCB	Univ. Ghardaïa	Examineur

Année universitaire 2022/2023

Dédicaces

Je remercie Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la santé, la force et la patience nécessaires afin d'accomplir cette tâche.

Ma mère est la personne qui illumine mes journées, qui me donne la motivation et qui est essentielle à ma vie et à mon bonheur.

Je l'adore de tout mon cœur.

Je tiens à exprimer ma gratitude à travers ce travail, aussi humble soit-il, pour exprimer mes sentiments et ma reconnaissance éternelle.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers mon cher père,

ma sœur RAMDANI Nourelhouda,

ainsi que mes chers amis BEN CHAUOI Aissa, DAOUDI Amar, OUFRANI Salah eddine, et

RAMDANI Mehdi.

Je suis reconnaissant envers toute ma famille.

Remerciements

Nous souhaitons exprimer notre gratitude à Dieu pour le courage et la force qu'il nous a accordés pour mener à bien ce travail. Nous remercions chaleureusement nos familles, en particulier nos parents, ainsi que toutes les personnes qui nous ont apporté leur aide sans exception. Leur soutien constant est très apprécié.

Nous tenons à adresser nos remerciements spéciaux au Pr. BELLAOUAR Abderrahmane, notre encadreur de mémoire, pour sa bienveillance, ses conseils précieux et son accompagnement pas à pas dans notre travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers tous les membres des laboratoires, les chercheurs, les techniciens et les ingénieurs de NAFTAL avec lesquels nous avons eu le plaisir de collaborer.

Enfin, nous tenons à remercier tous nos amis et collègues, ainsi que toutes les personnes qui nous ont encouragés et soutenus de près ou de loin tout au long de la réalisation de ce travail.

Résumé

L'objectif de ce travail est, d'analyser et pratiquer les différentes, options, tâches et techniques de maintenance sur les chaudières, et utiliser la méthode AMDEC pour analyser les différents modes de défaillances et ces criticités et ces effets, et aussi de déterminer la puissance des chaudières pour le maintien de température des réservoirs à produit pétrolier. à savoir n'importe quel réservoir vertical car suite au modèle de calcul EXCEL réservoir, nous avons uniquement considérés cette contrainte, mais ce qui est original c'est la flexibilité des calcul pour un produit au choix stocké à la pression atmosphérique, dont nous connaissons ses propriétés, cependant le calcul de la puissance de vient simple et facile car il suffirait juste d'injecter les données avec soin pour ne pas se tromper dans les cases, pour voir les coefficients d'échanges de tes les parois s'affiché, ainsi que les pertes par déperdition, et puissance de la chaudière estimée à 30% de la puissance trouvée.

Mots clés : défaillance, chaudière, bitume, réservoir, puissance, température

Abstract

The objective of this work is to analyze and practice the various, options, tasks and maintenance techniques on boilers, and to use the AMDEC method to analyze the various failure modes and these criticalities and these effects, and also to determine the power of the boilers for maintaining the temperature of the petroleum product tanks. namely any vertical tank because following the EXCEL tank calculation model, we only considered this constraint, but what is original is the flexibility of the calculations for a product of your choice stored at atmospheric pressure, of which we know its properties, however the calculation of the power becomes simple and easy because it will be enough just to inject the data carefully so as not to be mistaken in the boxes, to see the exchange coefficients of your walls displayed, as well than losses by loss, and power of the boiler estimated at 30% of the power found.

Keywords: failure, boiler, bitumen, reservoir, power, temperature

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITER I : GENERATEUR DE VAPEUR OU CHAUDIERE

I.1	Historique :.....	13
I.2	Définition des chaudières :.....	14
I.3	Classification des chaudières :	14
I.3.1	Classification par application :	15
I.3.2	Classification par gamme de puissance :.....	16
I.3.3	Classification par structure :.....	16
I.3.4	Classification par source de chaleur :.....	17
I.3.5	Classification par construction :	19
I.3.6	Classification par type de circulation :	20
I.4	Choix préliminaire :	23
I.5	Chaudières à fluide caloporteur :	24
I.6	Fluides caloporteurs :	24
I.6.1	Caractéristiques d'un bon fluide caloporteur :	24
I.6.2	Caractéristiques de quelques fluides caloporteurs :.....	25
I.7	Générateur à caloporteur :.....	27
I.7.1	Transfert de chaleur en phase liquide :.....	27
I.7.2	Transfert de chaleur en phase vapeur :.....	27
I.7.3	Transfert de la chaleur fluide/paroi	28
I.8	Principes de conception :	28
I.8.1	Circulation forcée :.....	28
I.8.2	Éviter les circuits en parallèle :.....	29
I.8.3	Éviter les éléments réfractaires :.....	29
I.8.4	Modernisé le flux thermique dans la chambre de combustion :.....	29
I.8.5	Emploi de combustibles liquides ou gazeux :	29
I.9	Chaudières monotubulaires :.....	29
I.10	Chaudières pluritubulaires :	30
I.10.1	Système intermédiaire :	31

CHAPITER II : BITUME, RESERVOIR ET INSTALLATION

II.1	Introduction:	34
II.2	Définition du bitume:	34

II.3 La composition du bitume:	34
II.4 Produits extraits du pétrole brut:	35
II.5 La distillation du pétrole brut :	36
II.6 Fabrication de bitumes:	38
II.7 Types de bitume:	39
II.7.1 Caractéristique des bitumes :	39
II.7.2 BITUME 35/50 - BUFFLE / BITUME 40/50 - ELEPHANT :	39
II.8 Tester les enrobés	43
II.8.1 L’orniérage	43
II.8.2 L’arrachage	43
II.8.3 L’eau	43
II.9 Mode de stockage :	43
II.10 Type de réservoir :	44
II.10.1 Réservoirs cylindriques verticaux :	44
II.10.2 Réservoirs cylindriques horizontaux :	44
II.10.3 Réservoirs sphériques :	45
II.10.4 Réservoirs sphéroïdaux :	45
II.11 Installation de bitume:	45
II.12 Caractéristique de l’installation:	46
II.12.1 Chauffage (serpentin) :	48
II.12.2 Stockage prolongé :	49
II.12.3 Manutention :	49
II.12.4 Tuyaux d’évent et autres accessoires :	49
II.13 TEMPERATURE DE MANIPULATION DU BITUME	49
II.13.1 Température de pompage minimale:	49
II.13.2 Température de stockage typique :	49
II.13.3 Température de manipulation/stockage maximale :	50
II.13.4 BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :	50
II.13.4.1 BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :	50
II.13.4.2 BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :	51
II.13.4.3 BITUME OXYDE :	51
II.13.4.4 BITUME FLUIDIFIE :	51
II.14 La station de stockage:	52

CHPITER III : MAINTENANCE DES CHAUDIERES A VAPEUR

III.1	Introduction :	54
III.2	Définition de la maintenance :	54
III.3	Objectifs de la maintenance	55
III.4	Les différents types de maintenance :	56
III.5	Les niveaux de la maintenance	59
III.6	La politique de maintenance	60
III.7	les problèmes les plus fréquents dans les chaudières :	60
III.8	Régulation dans les chaudières	61
III.8.1	Contrôle de la pression de la vapeur surchauffée	61
III.8.2	Contrôle de la température de la vapeur surchauffée	62
III.8.3	Contrôle du niveau d'eau dans le ballon supérieur	62
III.9	Sécurité des chaudières	63
III.9.1	Importance de la sécurité	63
III.9.2	Sécurité des brûleurs	64
III.9.3	Comportement sécuritaire du personnel	65
III .10	Niveaux de Chaudière	66
III .11	Inspection des chaudières	66
III .12	Taches à exécuter lors de la maintenance :	67
III.13	Outils d'analyse des défaillance :	68
III.14	AMDEC (= ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE)	68
III.14.1	Méthodologie d'une AMDEC	68
III.14.2	Objectifs de l'AMDEC	69
III.14.3	Application d'analyse des modes de défaillances d'un chaudière par AMDEC:	70
III.15	Entretien des composants des chaudières	72

CHAPITER IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1	Introduction :	75
IV.2	Calcul de la température probable du produit bitume :	76
IV.3	Détermination du coefficient d'échange global pondéré	79
IV.4	Le coefficient d'échange paroi mouillée :	80
IV.5	Le coefficient d'échange global coté sol	85
IV.6	Le coefficient d'échange global coté toit K_t :	86

IV.7 La température finale pendant le réchauffage du produit :	88
IV.8 Étude du serpentin :	89
IV.9 Détermination de K_{sep} :	90
IV.10 Détermination du flux :	91
IV.11 Quantité de chaleur requise :	92
IV.12 Quantité de chaleur dissipée :	92
IV.13 Quantité de chaleur latente :	92
IV.14 Données :	93
IV .15 Résultat :	95
CONCLUSION GENERALE :	99

Liste des figures

Figure 1: Chaudière industrielle	14
Figure 2:Exemple de coupe d'une chaudière (63 bar, à70 t/h) à circuit chauffé descendant (type industriel).15	
Figure 3 :Exemple Chaudière cylindrique « écossaise ».....	16
Figure 4:Chaudière type Blocher Goeminne (constructeur Babcock Entreprise)	17
Figure 5:Chaudière type radiante, SD (constructeur Foster-Wheeler).....	17
Figure 6: Chaudière type radiante, BR (constructeur Babcock Entreprise)	18
Figure 7:Exemples de chaudières à tubes de fumées équipées d'une surchauffeur de vapeur	19
Figure 8 : Chaudière à vaporisation instantanée : vue éclatée (constructeur Wanson)	20
Figure 9:Schéma de principe d'une chaudière à circulation naturelle	21
Figure 10:Schéma de principe d'une chaudière à circulation assistée	22
Figure 11:Schéma de principe d'une à circulation forcée sans ballon de démarrage	23
Figure 12:Exemple courbes des caractéristiques du fluide caloporteur	26
Figure 13: coupe de chaudière (a) et (b) pour fluide caloporteur.....	30
Figure 14:Chaudière pluritubulaires schémas de principe.	31
Figure 15:Système intermédiaire	32
Figure16 :Région et composition du pétrole brut.	35
Figure17 :Produits extraits du pétrole brut	36
Figure18 :Distillation et étapes de traitement pour l'obtention du bitume	37
Figure19 :Distribution des produits du pétrole brut après raffinage.....	37
Figure20 : 20Structure du bitume.	38
Figure21 :les sites de stockage des bitumes en Algérie, ainsi celui de SKIKDA.....	46
Figure22 : 23les éléments d'un réservoir à bitume.....	48
Figure23 :les éléments d'un réservoir à bitume.....	48
Figure 24:une centrale de stockage et distribution de bitume	52
Figure25 :disposition de la station de SKIKDA	53
Figure 26:maintenance préventive systématique	58
Figure 27:Schéma explicatif de la maintenance corrective.....	59
Figure 28 :Contrôle de la pression de la vapeur surchauffée	61
Figure 29:Contrôle de la température de la vapeur surchauffée	62
Figure 30:Contrôle du niveau d'eau dans le ballon supérieur.....	63
Figure 31:les déperditions des parois du réservoir.....	77
Figure 32:reservoir de bitume et parois.....	80
Figure 33 :formre du serpentín à l'interieur du réservoir.....	89
Figure 34:Courbe du coefficient d'échange global pondéré en fonction de la température ambiante	96
Figure35 :Courbe de la quantité de chaleur perdu en fonction de la température ambiante.....	96
Figure 36 :Courbe du coefficient d'échange moyen robe mouillée en fonction de la température	97

Liste des tableaux

Tableau 1 :BITUME 35/50 - BUFFLE / BITUME 40/50 - ELEPHANT.....	40
Tableau 2 :CARACTERISTIQUES LIMITES A RESPECTER METHODE AFNOR	42
Tableau 3 :BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES	50
Tableau4 : BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES	50
Tableau 5 :BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES	51
Tableau 6 :BITUME OXYDE	51
Tableau 7 :BITUME FLUIDIFIE	51
Tableau 8 :Les types de maintenance	57
Tableau 9 :Outils d'analyse des défaillance.....	68
Tableau 10 :analyse des modes de défaillances d'un chaudière par AMDEC	70
Tableau 11 :coefficients dépendant de la valeur de Re.....	83
Tableau 12 :Données	93
Tableau 13 :Quantite de la chaleur Perdue.....	94
Tableau 14 :Donnes de Cond. Ambiantes.....	94
Tableau 15 :Quantite de la chaudière.....	95
Tableau 16 :Puissance de la chaudière.....	95
Tableau 17: Résultat	95

INTRODUCTION GENERALE :

Pour le stockage du bitume ou d'un produit lourd à base d'huile, il est courant d'utiliser un dispositif chauffant tel qu'un serpentin connecté à une chaudière utilisant un fluide caloporteur en circulation. L'étude du procédé de stockage implique des considérations de transfert thermique, de mécanique des fluides et d'autres paramètres tels que la conception du réservoir de stockage, les caractéristiques du produit stocké et les matériaux utilisés pour les parois internes du réservoir afin de préserver la qualité du produit.

Il est recommandé d'utiliser un fluide caloporteur, tel que l'huile, pour le chauffage du bitume, car il permet de maintenir une température élevée (entre 130 °C et 250 °C) sans changer de phase, ce qui limite la pression dans la chaudière et les pompes à des niveaux modérés (entre 3 et 5 bars).

La chaudière utilisée pour le chauffage doit être adaptée aux conditions spécifiques d'opération, en tenant compte de la quantité de produit stocké et de ses caractéristiques particulières. Il est également important de prévoir un système permettant d'utiliser plusieurs types de carburants pour assurer le bon fonctionnement de la chaudière.

Il est essentiel de prendre en compte les phénomènes de surchauffe qui peuvent provoquer la cokéfaction du produit dans certaines zones, notamment la surface de chauffe et le diamètre externe des tuyauteries. Une conception appropriée du système de chauffage et une surveillance régulière sont nécessaires pour éviter ces problèmes.

Il est recommandé de suivre les recommandations spécifiques du fabricant du bitume et de consulter les lois et normes applicables en matière de stockage de produits pétroliers pour garantir un stockage sûr et efficace du bitume.

Pour cette réalisation nous devons passer aux recommandations suivantes, l'utilisation de l'huile en fluide caloporteur vu que pour des températures élevées entre (130 °C et 250°C) l'huile ne change pas de phase donc la pression de la chaudière et du pompage est modérée pas trop élevée (3 à 5 bar).

Une chaudière doit être prévue pour le maintien de cette température de chauffe à l'intérieur du réservoir, elle doit être spécifique pour certains régimes d'opération en lien avec la quantité de produit stocké, et ses caractéristique intrinsèque, tout en ayant deux carburants de fonctionnement ou plus.

En générale de nombreuse installation de stockage de bitume existe, elles ont toutes été opérationnelle à nous jours, bien que la technologie c'est développée à des pas de géant touchants tous les secteurs industriels et autres, la fabrication des bitumes est loin d'être assuré par nos entreprises algérienne, alors qu'on essaye en outre de maîtriser l'exploitation et le stockage de ces bitumes selon leurs propriétés en s'appuyant sur le retour d'expériences.

Eventuellement dans le cadre de notre étude, et pour la réalisation d'une unité de stockage de bitume, nous sommes chargés de faire l'étude sur la puissance de la chaudière adéquate capable de maintenir la température du bitume stocké à l'intérieur des réservoirs, de ce fait nous avons croquis notre tâche recommandé par certains paramètres définissons la procédure et manière d'estimation de ce but.

Pour cela après avoir étalé quelques types de chaudières en se référant à leurs caractéristiques, mode de fonctionnement et puissance, nous avons procédé à cueillir tous les données et informations physiques et chimiques du produit et de l'installation réservoir, équipement, condition d'opération. En fin c'est autour de d'écrire le calcul, manière de supposition du problème, cependant il était judicieux de poser un modèle de calcul fait par Excel, dont nous lui injectons les données de départ et il nous fournit les résultats, en se basant sur les lois de la thermodynamique et du transfert thermique, et parfois sur des équations empiriques et corrélation.

CHAPITERI

GENERATEUR DE VAPEUR OU CHAUDIERE

CHAPITER I

GENERATEUR DE VAPEUR OU CHAUDIERE

I.1 Historique :

L'utilisation de la vapeur comme source d'énergie a été découverte par Denis Papin, un inventeur français, au XVIIe siècle. En observant que l'eau bouillante dans un récipient fermé par un couvercle se transformait en un gaz capable de soulever le couvercle, il a réalisé le potentiel de la vapeur comme force motrice. Cette découverte a jeté les bases du développement ultérieur des machines à vapeur.

Au XVIIIe siècle, Thomas Newcomen a conçu des machines à vapeur capables de pomper l'eau des mines. Cependant, c'est avec l'invention de James Watt en 1769 que les machines à vapeur ont connu un véritable essor. Watt a amélioré la conception des machines à vapeur en introduisant un mécanisme de condensation séparé, ce qui a permis d'améliorer considérablement leur efficacité.

Les machines à vapeur se sont rapidement répandues au XIXe siècle et sont devenues la principale source d'énergie motrice dans les usines. Elles ont alimenté les métiers à tisser dans les filatures et les tissages, ainsi que les marteaux-pilons dans les forges. Les locomotives à vapeur et les bateaux à vapeur ont également été propulsés par des machines à vapeur. Cependant, avec l'avènement des moteurs à essence plus compacts, les machines à vapeur ont été progressivement remplacées dans le domaine des transports.

Au début du XXe siècle, les machines à vapeur industrielles ont été largement remplacées par des moteurs électriques plus puissants dans les usines. Cependant, certaines cheminées cylindriques imposantes ont été conservées comme témoignages de cette époque industrielle historique.

Aujourd'hui, bien que les machines à vapeur ne soient plus aussi répandues qu'autrefois, elles restent un jalon important dans l'histoire du développement technologique et de l'utilisation de la vapeur comme source d'énergie motrice.



I.2 Définition des chaudières :

Une chaudière est un appareil qui permet de transférer en continu de l'énergie thermique à un fluide caloporteur, (l'eau en générale) [1]

C'est un équipement servant à la transformation de l'eau liquide en vapeur selon la température et la pression définies par la destination de cette vapeur sous l'effet d'apport de chaleur, généralement réalisé par la combustion d'un combustible dans le foyer de la chaudière. Il peut être aussi extérieure (gaz chauds de différents processor[2])



Figure 1: Chaudière industrielle

I.3 Classification des chaudières :

Il est évident que chaque modèle de chaudière a une capacité de production de vapeur limitée en raison de ses dimensions générales et de sa conception. Cependant, il est rare que tous les critères de limitation se rencontrent simultanément, car un simple changement de paramètre peut étendre considérablement la plage d'utilisation. Pour cette raison, plusieurs tentatives de classification ont été faites pour répondre à cette diversité :

- ✚ en fonction de la réglementation et article de sécurité sous forme de décret.
- ✚ en fonction de la conception et opération.
- ✚ en fonction de la puissance thermique à fournir et régime.
- ✚ en fonction du mode de montage (posée ou suspendue).

Alors que sur certaines documentations, tels que livres universitaire ou encyclopédies, dont leurs classifications, on adaptait une certaine chronologie des choses en s'appuyant sur les particularités technologiques et développement qui en suit, cela donne :

I.3.1 Classification par application :

La contrainte de la limite d'application exige une répartition des chaudières par mode d'emploi.

- ✚ Utilisation domestique ;
- ✚ Applications industrielles (chimie, papeterie, agro-alimentaire, cimenterie (chauffage central), etc...);
- ✚ Chauffage collectif ;
- ✚ Centrale thermique.

Exemple : sur la figure (I.2) Coupe de chaudière industrielle :

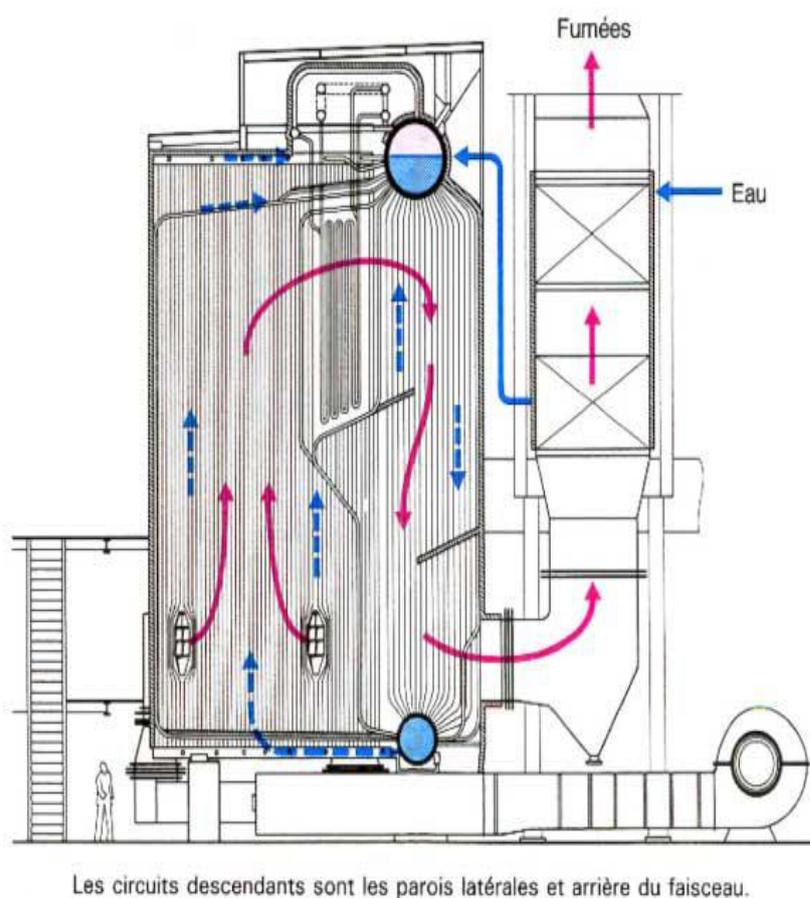


Figure 2:Exemple de coupe d'une chaudière (63 bar, à 70 t/h) à circuit chauffé descendant (type industriel).

I.3.2 Classification par gamme de puissance :

Les chaudières par gammes de puissances sont réglementées par des limites d'utilisation de celles-ci comme :

- + Puissance < 70 kW – Chaudières de type individuelle.
- + Puissance > 70 kW - Chaudière de type industrielle.

I.3.3 Classification par structure :

Cependant se mode de classification ne concerne que les chaudières de grande puissance tels que celles destinées aux centrales thermiques et industries lourds, nous distinguons deux zones de transfert calorifique induit dans ces chaudières, un par l'enceinte dite foyer l'origine de développement des flammes ou le principale échange (ou, transmission) de chaleur se manifeste par le rayonnement sur les parois réfractaires, deuxièmement la zone dite de convection assuré par l'économiseur, surchauffeur. Nous trouvons comme exemple :

- + Chaudière à deux passes, (c'est l'arrangement le plus répandu, ou les gaz chauds de combustion remontent l'échangeur pour redescendent sur l'autre passe jusqu'au carneau arrière).
- + Chaudière à tour, (le foyer est surmonté par l'échangeur dans la zone de convection, pour atteindre une hauteur qui dépasse les 100 m, on peut trouver ces chaudière en Allemagne, Italie, elles sont réputées par la diminution de risque d'érosion et encrassement).

Exemple de structure de chaudière montré par les figures I-3 (1), et (2) :

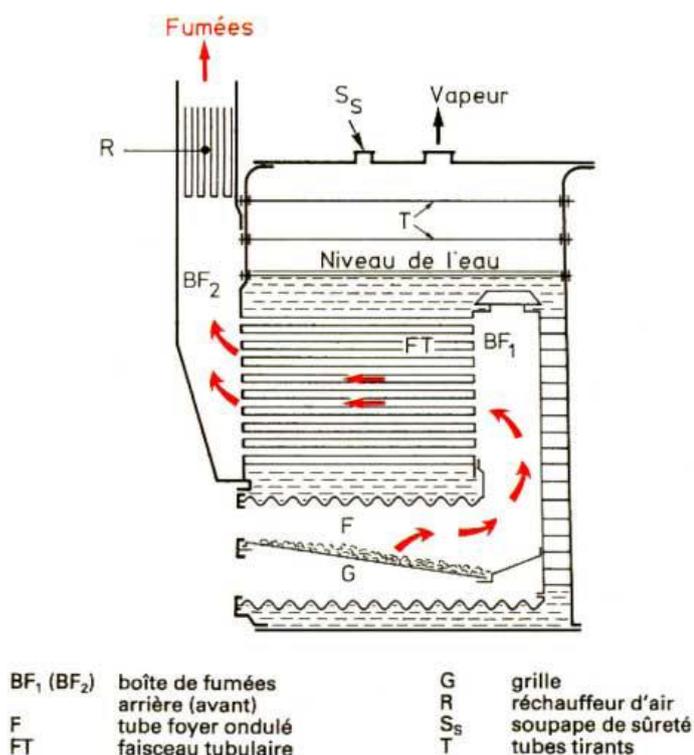


Figure 3 :Exemple Chaudière cylindrique « écossaise »

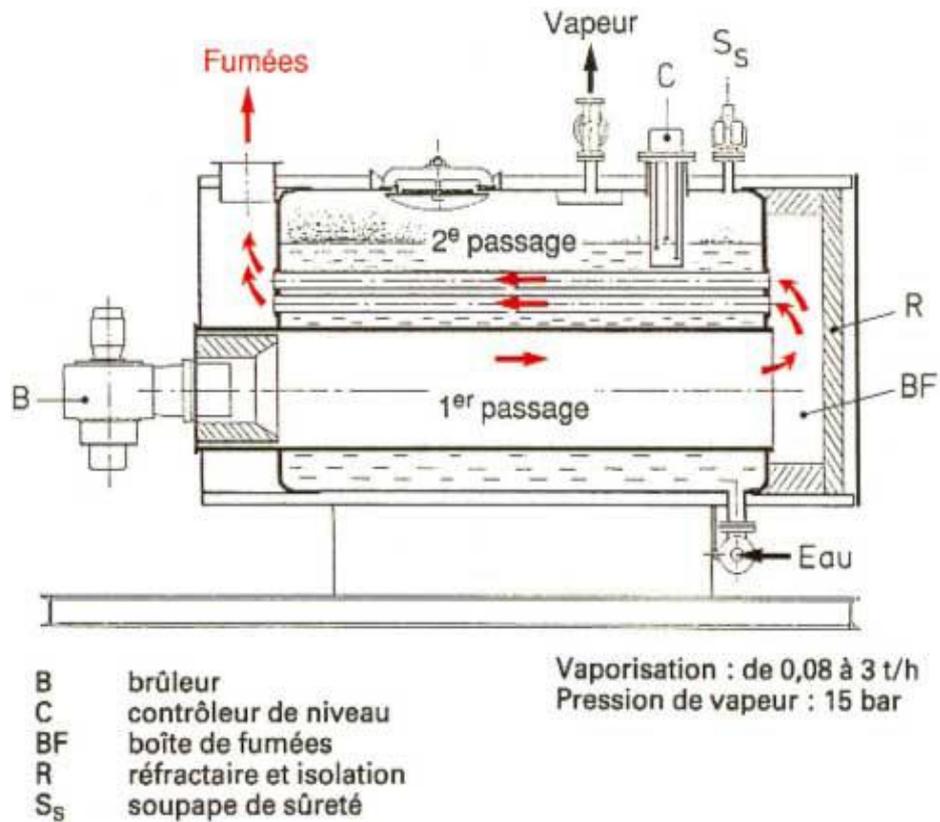


Figure 4:Chaudière type Blocher Goeminne (constructeur Babcock Entreprise)

I.3.4 Classification par source de chaleur :

Selon le combustible, les chaudières peuvent variées car le brûleur change de paramètre de construction par mode de combustion, ce qui nous permet d'afficher :

- ✚ Chaudière à combustion, nous trouvons celles qui utilisent le combustible liquide ou gaz, ont une conception très proche.

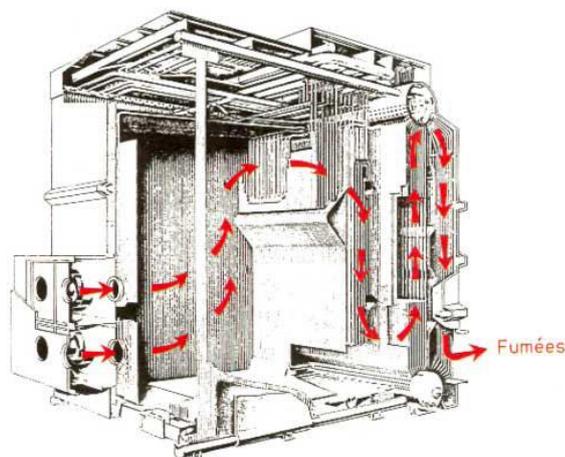


Figure 5:Chaudière type radiante, SD (constructeur Foster-Wheeler)

- ✚ Chaudière à combustible solide, ce mode de combustion existe en plusieurs procédés pour la conception du foyer et la technologie de combustion mise en œuvre, pour cela on distingue (foyer à grille, à lit fluidisés, à charbon pulvérisé).

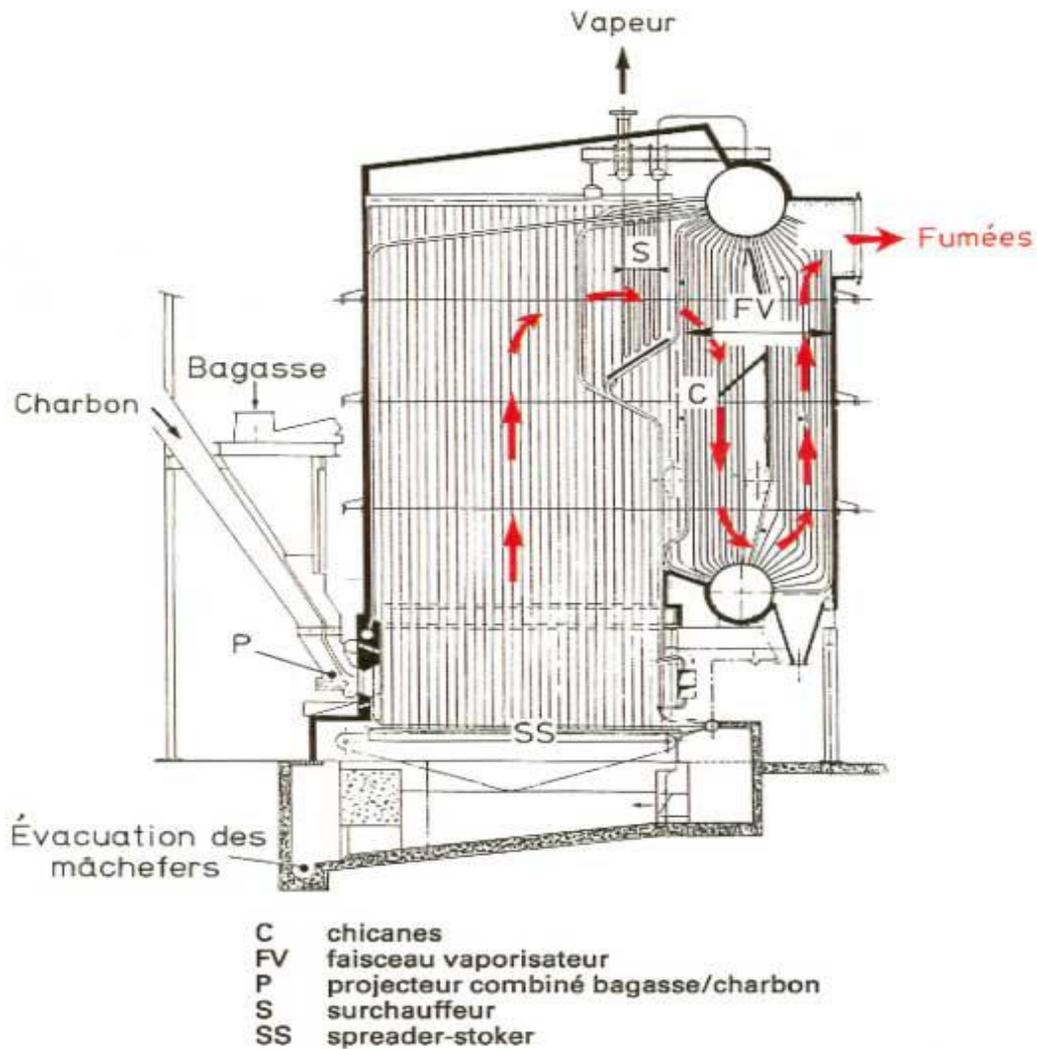


Figure 6: Chaudière type radiante, BR (constructeur Babcock Entreprise)

- ✚ Chaudière de récupération, le mieux qu'on puisse dire sur ces chaudières, c'est qu'elles ont révolutionné le monde par l'application de celle-ci dans différents domaines, en cogénération ou cycle combiné, nous a permis de gagner des calories, et de les réutiliser, car leur technologie est basée sur la récupération de la chaleur perdue par les autres éléments, comme, les gaz de sortie d'une turbine à gaz, ou gaz processus industrie chimique, à titre d'exemple. Un exemple est donné à la figure I-II. (1).

- ✚ Chaudière électrique (c'est bête de produire de l'électricité énergie noble, pour qu'en suite la perde en chaleur énergie dégradé).

I.3.5 Classification par construction :

Ces types de chaudières tiennent leurs constructions à la technologie primitive, les premiers modèles utilisaient une circulation verticale, et une simple conception. On trouve :

- ✚ Chaudière à tube de fumée, elle engendre un grand réservoir d'eau traversé par des tubes dans lesquels circulent les fumées, le premier tube du parcours de fumées est un tube de grand diamètre constitue le foyer, ce type de construction aujourd'hui est appliqué pour les combustible gazeux et liquides. En fin ces chaudières sont réservées à des puissances ne dépassant pas les 30 KW.

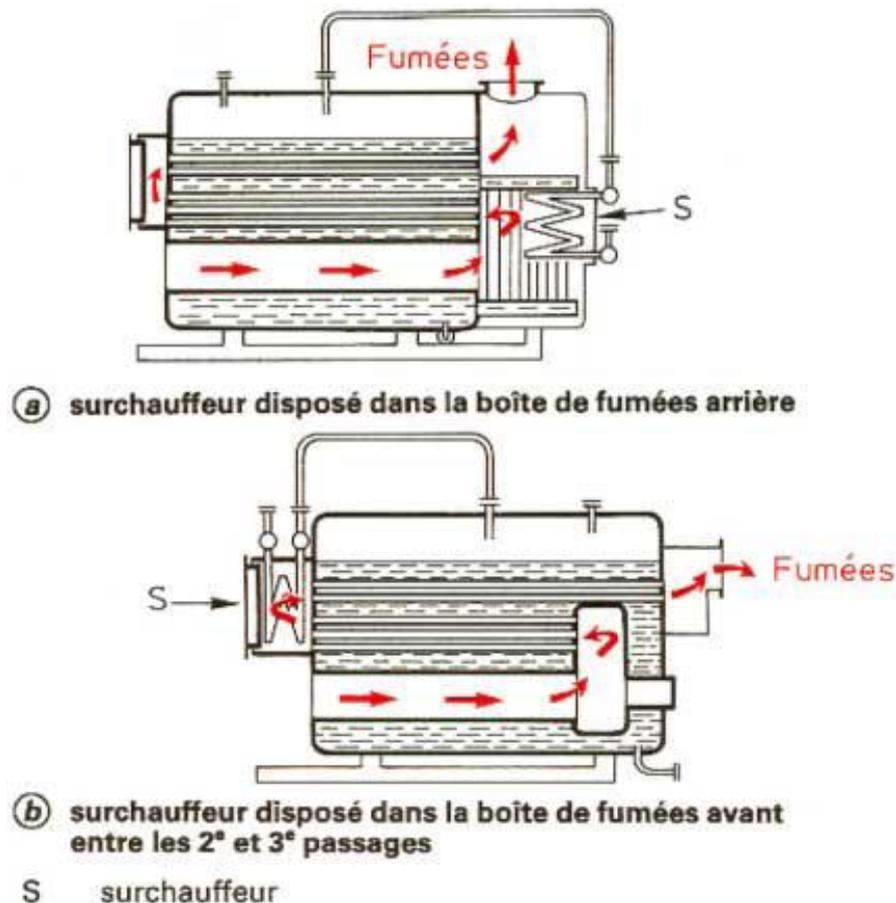


Figure 7:Exemples de chaudières à tubes de fumées équipées d'une surchauffeur de vapeur (doc. Stein Fasel).

- ✚ Chaudière à tube eau, dans cette construction les gaz de fumées circulent à l'extérieur des tubes, alors que le fluide caloporteur circule à l'intérieur d'eux, ainsi un facteur de sécurité vis-à-vis le contenu d'eau dans le réservoir est faible comparé avec les premières chaudières (pas de rupture métallique).

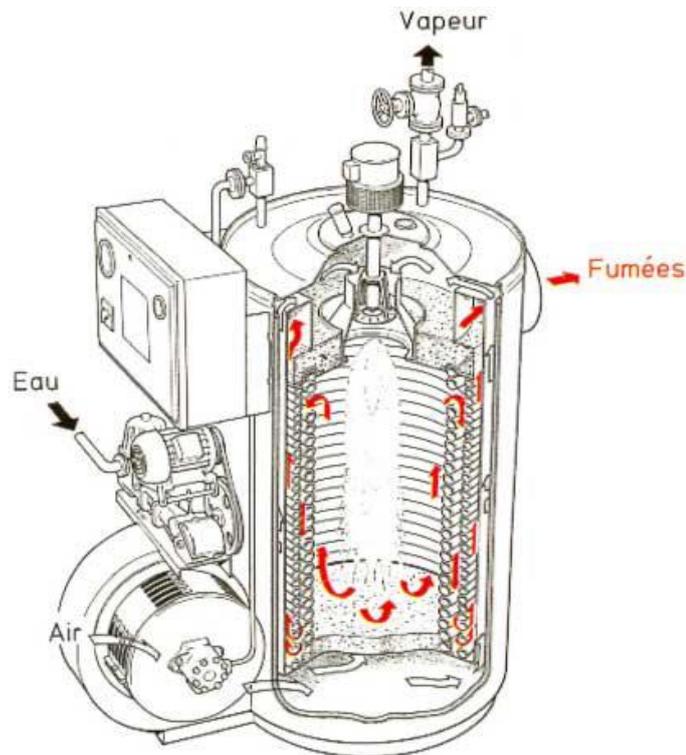


Figure 8 : Chaudière à vaporisation instantanée : vue éclatée (constructeur Wanson)

I.3.6 Classification par type de circulation :

Pour éviter les zones sèches des tubes, la circulation de l'eau dans la chaudière est primordiale pour que le métal ne fonde pas, ne se déforme pas et ne s'oxyde pas prématurément sous l'effet de la chaleur. Ainsi, nous présentons :

- ✚ Chaudière à circulation naturelle, Les chaudières à tubes d'eau à circulation naturelle comportent un réservoir supérieur (appelé ballon de chaudière), dont partent de gros tubes placés hors du feu (appelés "tubes de chutes" ou "descentes d'eau"). Ces tubes convoient par gravité l'eau soit dans un ballon inférieur, soit dans des "collecteurs". Les tubes du foyer sont raccordés à ce ballon inférieur ou à ces collecteurs. L'eau remonte vers le ballon (supérieur) par ces tubes en recevant donc la chaleur du feu. Cette eau commence alors à se vaporiser. Comme la masse volumique de la vapeur est inférieure à celle de l'eau liquide, la différence

de pression entre la colonne d'eau des descentes d'eau et la colonne d'eau et de vapeur des tubes de foyer met naturellement en circulation l'eau dans le circuit. L'eau parcourt plusieurs fois cette boucle (ballon, tubes de descente, tubes de foyer, retour au ballon) avant d'être évacuée du ballon sous forme de vapeur saturée.

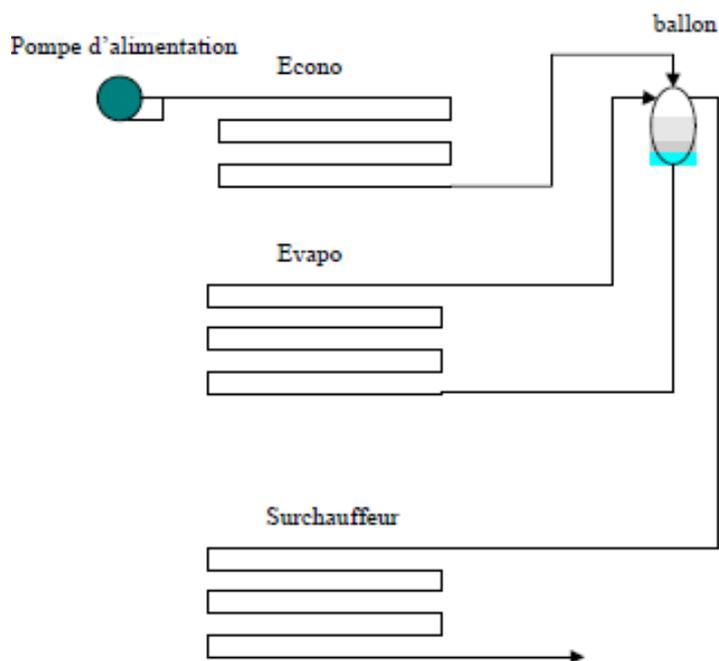


Figure 9:Schéma de principe d'une chaudière à circulation naturelle

- ✚ Chaudière à circulation assistée, dans ce type la progression de la pression de fonctionnement des chaudières s'est élevée, notamment pour obtenir de meilleurs rendements dans les centrales thermiques. Lorsque la pression dans le ballon atteint des valeurs de l'ordre de 180 bars, la différence de masse volumique entre eau liquide et vapeur devient insuffisante pour assurer la circulation naturelle dans le circuit évaporatoire. On installe alors une pompe dans le circuit pour assurer la bonne circulation de l'eau.

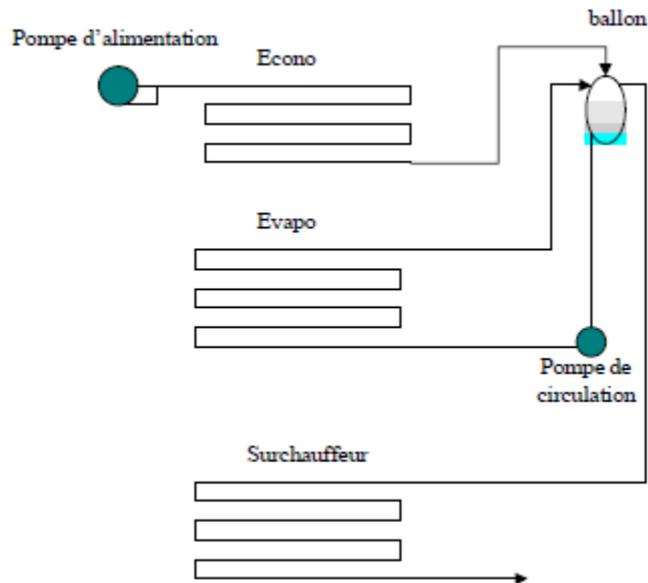


Figure 10:Schéma de principe d'une chaudière à circulation assistée

La catégorie des chaudières à circulation forcée se distingue par les petites chaudières utilisées pour le chauffage central, les chaudières industrielles et les centrales thermiques à haute pression. Pour les chaudières de chauffage central, la circulation de l'eau dans les tuyauteries est assurée par une pompe, également appelée circulateur. Cette configuration facilite la conception des chaudières, car il n'est pas nécessaire de prendre en compte les pertes de charge pour permettre une circulation par convection.

En ce qui concerne les chaudières industrielles et les chaudières des centrales thermiques, des technologies de chaudières à circulation forcée, sans ballon, ont été développées. En effet, l'augmentation des pressions de fonctionnement a rencontré des limitations technologiques liées à la résistance mécanique des ballons de chaudière. De plus, le rôle de séparation entre la phase liquide et la vapeur n'est plus nécessaire lorsque des pressions supercritiques sont atteintes.

Dans les chaudières à circulation forcée (comme les chaudières de type Benson ou Sulzer), l'eau entre dans les tubes évaporateurs du foyer sous forme liquide et en ressort sous forme de vapeur saturée. C'est pourquoi on les appelle des chaudières "monotubulaires" ou "once through".

La circulation de l'eau dans l'évaporateur est assurée par des pompes à très haute pression qui propulsent successivement l'eau et la vapeur à travers les tubes de l'économiseur, de l'évaporateur et des surchauffeurs. Toutes les chaudières "supercritiques" sont nécessairement de ce type. On les rencontre également dans des cycles subcritiques, en concurrence avec les chaudières à circulation assistée. Leur principal avantage est leur temps de démarrage plus court, ce qui est particulièrement

bénéfique pour les centrales thermiques de pointe. Cependant, leur absence de ballon les rend plus exigeantes en termes de qualité de l'eau déminéralisée utilisée.

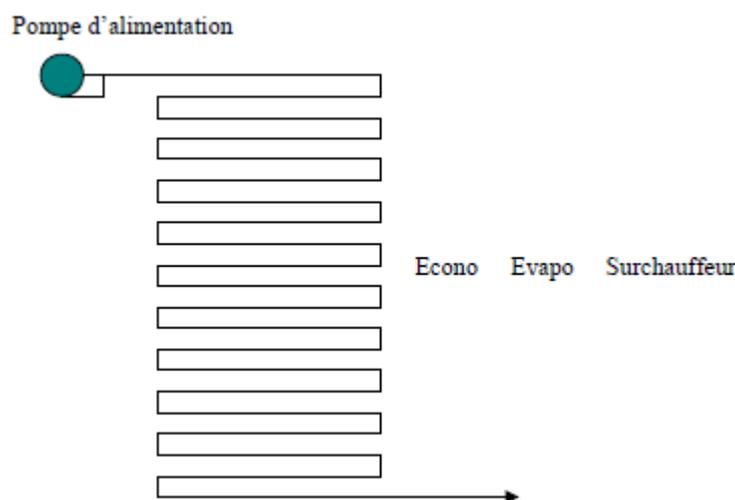


Figure 11: Schéma de principe d'une à circulation forcée sans ballon de démarrage

I.4 Choix préliminaire :

Or il est judicieux de faire un choix à satisfaire certains critères ultime, à savoir la puissance calorifique à fournir, ou son équivalent en production de vapeur (chaudière à eau caloporteur). Selon les pressions et le timbre que la chaudière ne doit pas dépasser en marche normale, le débit très important ou faible, capacité et rendement, mode de chaudière à tube de fumée, ou tube d'eau, le combustible utilisé et son PCI, sans oublier le facteur rentabilité et économie. Par ailleurs après avoir traité ces critères nous passons à ce qui suit le tri visa vis la conception :

- ✚ Les chaudières à tubes de fumées.
- ✚ les chaudières à tubes d'eau avec, dans ce cas : les petites chaudières à vaporisation instantanée, les chaudières Field, (présentant en particulier l'avantage d'un très faible encombrement au sol), les chaudières à faisceau de convection, anciennes et récentes, les chaudières radiantes, les chaudières pour combustion à cendres fondues, les chaudières électriques.
- ✚ les chaudières à combustion sous pression, qui permettent d'obtenir des performances très élevées sous un encombrement et un poids réduits, ce qui explique leur utilisation comme chaudières marines en particulier.

✚ les chaudières à eau chaude.

✚ les chaudières à fluide caloporteur. Ce derniers cas correspond à une disponibilité de l'énergie thermique sous une autre forme qu'une production de vapeur, et c'est le cas de notre chaudière pour le maintien de température du réservoir à bitume.

I.5 Chaudières à fluide caloporteur :

Les chaudières à fluide caloporteur, également appelées chaudières à fluide thermique, ont fait leur apparition suite au développement des industries chimiques et pétrochimiques après la Première Guerre mondiale. Ces industries nécessitaient des températures de plus en plus élevées pour leurs processus de fabrication, ce qui était difficile à atteindre avec les générateurs thermiques traditionnels, à moins d'utiliser des pressions de travail très élevées.

La caractéristique distinctive des fluides caloporteurs est leur capacité à être réchauffés dans une plage de température de 300 à 400°C à des pressions inférieures à 10 bars. Les industries qui utilisent ces fluides pour le transfert thermique sont nombreuses et variées. Outre les industries chimiques et pétrochimiques, on peut citer les industries de traitement des minerais, les savonneries, les huileries, l'industrie du bois, des matières plastiques, les industries textiles, alimentaires, etc.

I.6 Fluides caloporteurs :

La nature du fluide caloporteur contribue directement au dimensionnement du générateur ainsi que son environnement. Nous nous limiterons, ci-après, à rappeler les principales caractéristiques de ces fluides et leurs principes d'utilisation en chaudière.

I.6.1 Caractéristiques d'un bon fluide caloporteur :

Pour être considéré comme un bon fluide caloporteur, il doit satisfaire un certain nombre de conditions d'ordre technique et économique :

- Être facilement disponible.
- Ne nécessiter que des matériaux courants pour les chaudières à travers lesquelles il circule.
- Ne pas se décomposer sous l'effet de la chaleur à la température de fonctionnement.
- Avoir une viscosité très faible aux températures de fonctionnement.
- Avoir une capacité thermique massique (ou chaleur spécifique) et une conductivité thermique aussi élevées que possible.

- Avoir une enthalpie élevée (ou chaleur latente) de vaporisation dans le cas d'une utilisation en phase vapeur.
- Avoir une faible pression de vapeur saturante (ou tension de vapeur).

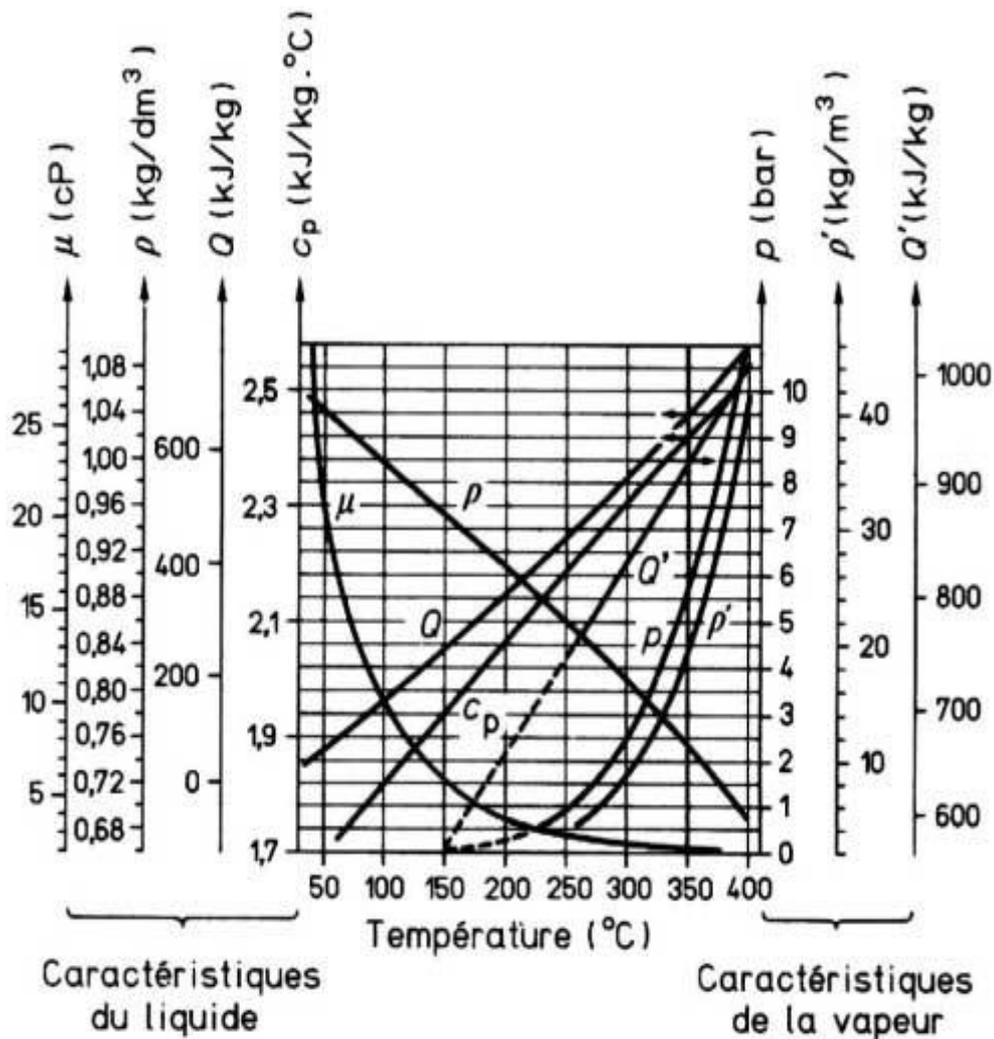
I.6.2 Caractéristiques de quelques fluides caloporteurs :

En effet, l'eau est le fluide caloporteur le plus ancien et répond à la plupart des conditions mentionnées ci-dessus, à l'exception de la dernière. Sa pression de vapeur augmente rapidement avec la température, ce qui rend nécessaire de travailler à des pressions élevées lors de son utilisation en phase liquide. Cela entraîne des problèmes techniques et économiques.

En pratique, l'eau n'est donc guère employée que pour des températures relativement basses, de l'ordre de 170 à 200°C, la pression n'excédant pas alors 25 bars : on est dans le domaine des chaudières à eau chaude.

Les huiles minérales sont couramment utilisées comme fluide caloporteur dans de nombreuses applications. Elles sont principalement composées d'hydrocarbures aromatiques ou naphténiques. Ces huiles présentent plusieurs avantages : elles ont une bonne résistance à la température, une faible viscosité à basse température, de bonnes capacités thermiques massiques et peuvent être utilisées à la pression atmosphérique pour des températures allant jusqu'à environ 300 degrés Celsius. Elles sont donc adaptées à de nombreuses applications industrielles nécessitant des transferts de chaleur efficaces dans une plage de température modérée.

L'un des fluides organiques les plus utilisés a été mis au point à l'origine aux États-Unis par Dow Chemical, à savoir un mélange eutectique azéotropique formé de 26,5 % de diphényle C_6H_5 et de 73,5 % d'oxyde de diphényle $(C_6H_5)_2O$; il fond à 12 °C et bout à la pression atmosphérique à 258°C . La figure (I.11) donne les principales caractéristiques de ce fluide, commercialisé par ses fabricants sous divers noms (Dowtherm A, Gilotherm DO, Diphyl, Santotherm VP1, Thermex, etc.).



Par exemple à 350 °C, on a :

- liquide* viscosité dynamique $\mu = 2,2$ cP
- masse volumique $\rho = 0,755$ kg/dm³
- échauffement de 12 °C à 350 °C $Q = 670$ kJ/kg
- capacité thermique massique $c_p = 2,42$ kJ/(kg.°C)
- vapeur (saturée)* pression $p = 5,6$ bar
- masse volumique $\rho' = 19$ kg/m³
- quantité de chaleur totale $Q' = 917$ kJ/kg

Figure 12:Exemple courbes des caractéristiques du fluide caloporteur

D'autres fluides caloporteurs organiques peuvent être utilisés jusqu'à 300 et 350°C. Pour les températures supérieures à 400°C, les fluides organiques se décomposent et ne conviennent plus. On fait alors appel à des sels fondus (températures entre 400 et 500°C) ou à des métaux liquides (mercure, eutectique sodium-potassium, etc.).

I.7 Générateur à caloporteur :

Les générateurs à fluide caloporteur peuvent produire de l'énergie soit sous forme de vapeur à condenser, soit sous forme d'un liquide à refroidir. Cette condensation ou ce refroidissement s'effectuent dans un échangeur secondaire. Dans la majorité des cas, on utilise la phase liquide sauf quand le fluide à chauffer exige une température constante dans tout l'échangeur récepteur. Dans tous les autres cas, la phase liquide est préférée pour les raisons suivantes :

- ✚ le coefficient d'échange thermique côté fluide caloporteur est peu différent que l'on soit en phase liquide ou en phase de condensation de vapeur et, de toute façon, il est grand (au moins 10 fois supérieur, donc du second ordre), par rapport au coefficient d'échange côté fluide chauffant (c'est-à-dire côté fumées).
- ✚ les coefficients d'échange des liquides peuvent être largement accrus par une augmentation de la vitesse de circulation, alors que les coefficients d'échange des vapeurs se condensant sont relativement constants.
- ✚ l'emploi de la phase uniquement liquide laisse au constructeur une grande liberté dans la conception des chaudières. En particulier, l'absence de risque de vaporisation locale permet des tracés variés pouvant comporter des parcours ascendants et descendants.

I.7.1 Transfert de chaleur en phase liquide :

Le fluide circulant en circuit fermé s'échauffe en recevant d'abord les calories de la source de chaleur dans un générateur ; il se refroidit ensuite en les cédant aux appareils utilisateurs, puis revient au générateur pour se réchauffer, et ainsi de suite. La circulation du fluide est assurée par une pompe de circulation obligatoire.

I.7.2 Transfert de chaleur en phase vapeur :

Il y a transfert de chaleur avec changement de phase du fluide, ce qui permet de profiter de son enthalpie de vaporisation. L'appareillage comporte donc un ballon de vaporisation ; la vapeur se condense dans les appareils utilisateurs et les condensats sont réintroduits par gravité ou par pompage dans la chaudière. La circulation peut être soit naturelle soit forcée. Dans cette technique, on emploie des fluides dont la composition ne varie pas au cours de la vaporisation ou de la condensation.

I.7.3 Transfert de la chaleur fluide/paroi

Le mécanisme de la transmission de la chaleur dans un générateur à fluide caloporteur est semblable à celui des chaudières à tubes d'eau. La différence essentielle provient du fait que, dans une chaudière à eau, si le fluide en contact avec la paroi chauffée est légèrement surchauffé, il se vaporise pour se décondenser dans l'eau sous saturée.

Or, dans le cas de tous les fluides caloporteurs, une surchauffe locale du produit provoque une cokéfaction qu'il faut éviter à tout prix pour ne pas créer de dépôt pouvant surchauffer localement la paroi et, à la limite, obstruer les tubes. Le seul paramètre sur lequel on peut aisément influencer pour supprimer ce phénomène est le mouvement du fluide. L'installation est donc conçue pour que la vitesse de circulation du fluide à l'intérieur du tube soit aussi élevée que possible, afin d'accroître le coefficient d'échange thermique côté fluide caloporteur. Dans la pratique, cette forte vitesse de circulation est créée par une pompe de circulation dont le débit et la pression sont calculés en conséquence.

I.8 Principes de conception :

Des remarques énumérées précédemment découlent un certain nombre de règles de conception des chaudières à fluide caloporteur.

I.8.1 Circulation forcée :

Existence d'une pompe de circulation En phase liquide, celle-ci s'impose de manière quasi absolue. Elle a plusieurs avantages complémentaires les uns des autres :

- ✚ la possibilité d'accroître la vitesse de circulation du fluide dans les tubes, donc le coefficient d'échange thermique, et ainsi d'éviter les risques de surchauffe de ce fluide entraînant cokéfaction et encrassement ;
- ✚ une circulation effective du fluide caloporteur dès le démarrage de l'installation, donc une protection de celle-ci et du fluide lui-même ;
- ✚ un débit de fluide caloporteur constant dans la chaudière (par installation d'un by pass sur le circuit utilisateur), évitant tout risque de surchauffe locale du fluide à basse charge ;
- ✚ la possibilité, enfin, d'installer la chaudière à distance des utilisateurs.

I.8.2 Éviter les circuits en parallèle :

Cette règle conduit à la conception monotubulaires, qui permet d'éviter les insuffisances de débit dans certains circuits mais limite rapidement la puissance des chaudières. On trouve dans le commerce des chaudières de ce type pour des puissances thermiques nettes allant jusqu'à 7 MW environ. S'ils sont inévitables, les circuits en parallèle devront être équilibrés thermiquement et hydrauliquement, afin d'éviter que certains circuits soient défavorisés par rapport aux autres en subissant soit un flux thermique trop important, soit une circulation du fluide caloporteur plus faible. Éviter les zones mortes, pour empêcher les chutes de vitesse locales et les risques de surchauffe qui en résulteraient.

I.8.3 Éviter les éléments réfractaires :

Si on ne peut le faire, ces éléments seront soumis le moins possible au rayonnement de la flamme de manière à éviter leur dégradation et réduire l'inertie thermique, afin de supprimer les risques de surchauffe du fluide en cas d'arrêt d'urgence et de favoriser la mise en service rapide de l'installation.

I.8.4 Modernisé le flux thermique dans la chambre de combustion :

Afin que la température du film liquide chauffé au contact de la paroi ne soit que très légèrement supérieure à la température moyenne du liquide. L'ordre de grandeur de ce flux, ramené à la surface projetée de la chambre de combustion à rayonnement, pourra être de 100 kW/m².

I.8.5 Emploi de combustibles liquides ou gazeux :

Ceux-ci, associés en particulier à des brûleurs à réglage progressif conçus pour ne pas provoquer des zones chaudes ou froides, permettent une régulation souple et précise de la quantité de chaleur apportée, impossible à réaliser avec des combustibles solides. Ces derniers ont, en outre, l'inconvénient d'avoir une inertie thermique élevée, soulevant ainsi les mêmes problèmes que les réfractaires.

I.9 Chaudières monotubulaires :

On trouve, comme indiqué précédemment, des chaudières monotubulaires pour des puissances thermiques nettes allant de 70 kW à 7 000 kW environ. La figure I.12 (a) a montré le schéma de principe d'une telle chaudière d'une puissance thermique de 1000 kW. Sa conception s'apparente étroitement à celle d'une chaudière à vaporisation instantanée. Au niveau du foyer, le débit de fluide

est calculé pour que la température du film en contact avec le tube soit au maximum de 15 °C supérieures à la température moyenne du fluide. Grâce à la circulation forcée, la vitesse du fluide est toujours supérieure à 2 m/s, la perte de charge dans la chaudière étant de l'ordre de 2 bars. La chaudière présentée à la figure I.12 possède, quant à elle, une sole refroidie par des tubes, donc sans réfractaire, afin d'éviter les problèmes d'inertie thermique.

I.10 Chaudières pluritubulaires :

Ce vocable a pour but de différencier cette conception de celle des chaudières multitubulaires à vapeur où tous les tubes sont en parallèle ; la caractéristique essentielle de cette conception consiste à disposer en série un certain nombre de groupes composés eux-mêmes d'éléments en parallèle ; la figure (1-12) illustre schématiquement ce principe. Cette disposition très répandue permet de multiples formes de réalisation dans lesquelles on trouve toujours un collecteur commun à deux groupes voisins. Elle permet d'utiliser des tubes de diamètre modéré et d'assurer un compromis entre perte de charge et sécurité, en jouant sur le nombre de tubes en parallèle et en faisant varier ce nombre selon la position du groupe dans le générateur. De plus, les collecteurs en sortie de chaque groupe diminuent les déséquilibres de circulation entre tubes, supprimant ainsi les risques de surchauffe locale.

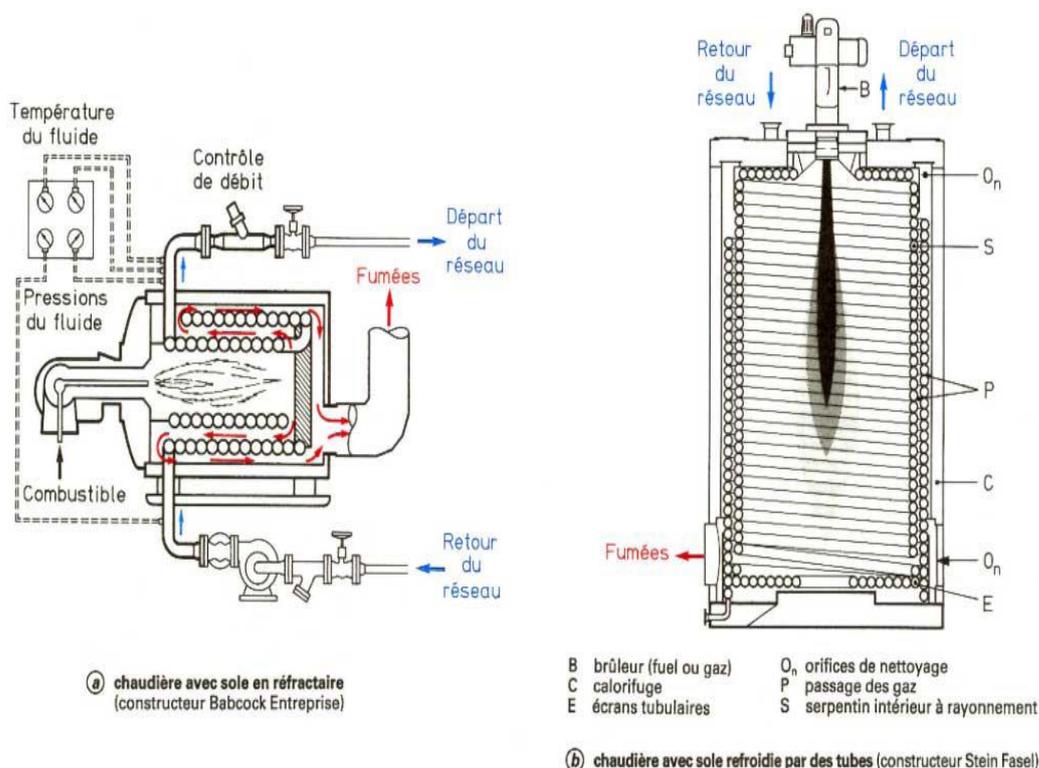


Figure 13: coupe de chaudière (a) et (b) pour fluide caloporteur

I.10.1 Système intermédiaire :

Il consiste à mettre en parallèle un nombre réduit d'éléments monotubulaires (figure () avec 3 éléments). Cette conception conduit à une construction souple et peu onéreuse, mais se prête mal à une grande extension du faisceau de convection. L'équilibrage des circuits en parallèle est difficile à réaliser et varie selon l'allure de fonctionnement.

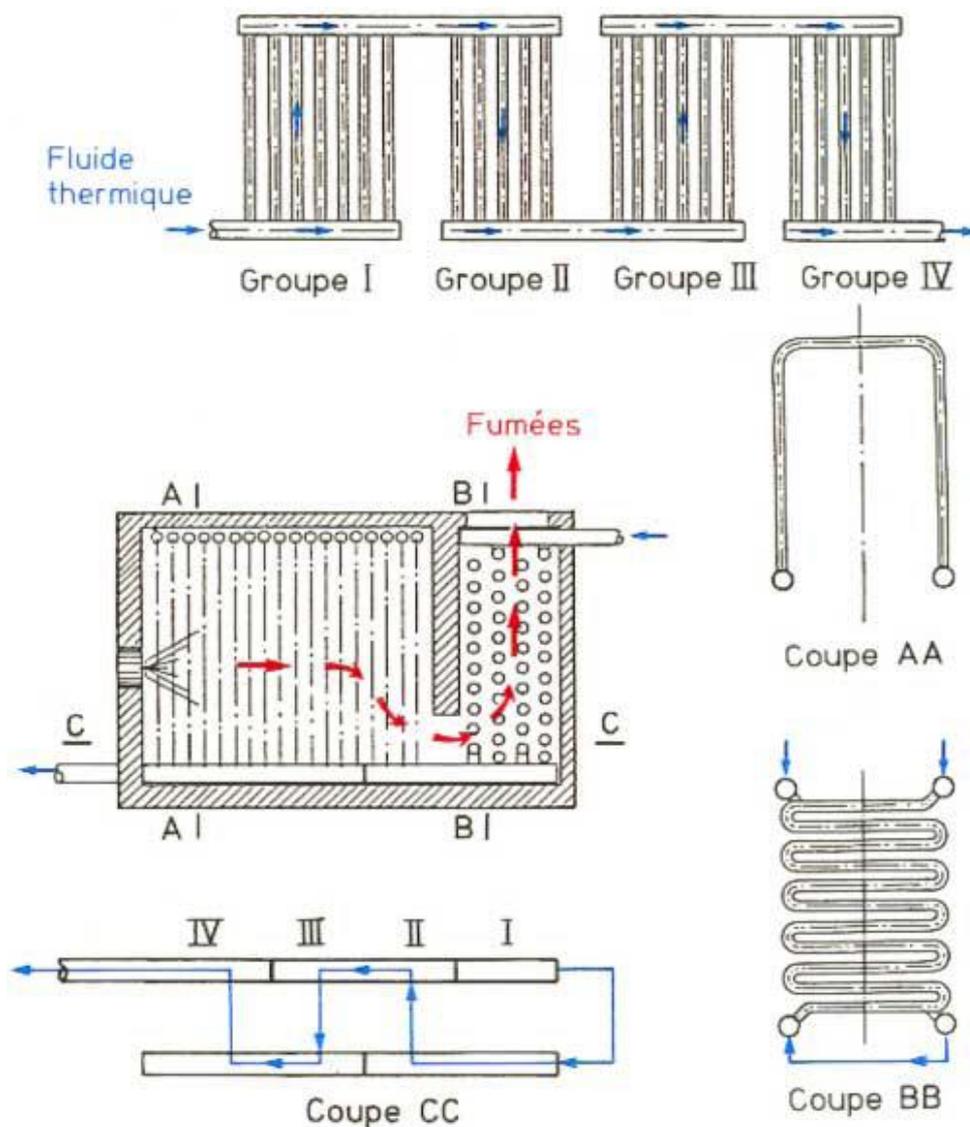


Figure 14:Chaudière pluritubulaires schémas de principe.

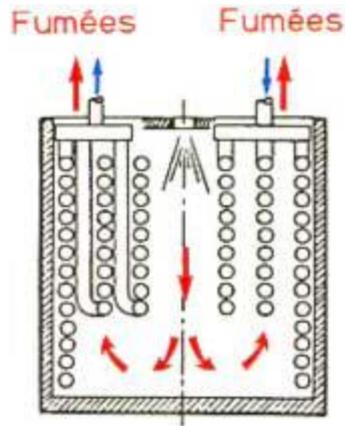


Figure 15: Système intermédiaire

Chaudière à trois éléments monotubulaires schéma de principe On trouve également dans le domaine des chaudières à fluide caloporteur :

- ✚ des chaudières à tubes de fumées ; en phase liquide, il est évident qu'aucun des principes énoncés plus haut ne se trouve respecté. Ces chaudières se caractérisent par une absence de vitesse au contact des surfaces d'échange, notamment en ce qui concerne le tube foyer. Des déflecteurs disposés autour du foyer améliorent la situation, mais ne permettent en aucun cas d'atteindre les vitesses de circulation couramment utilisées dans les chaudières à tubes de liquide. Il semble donc que ces chaudières ne puissent être utilisées qu'avec des fluides pouvant supporter une vaporisation locale sans danger.
- ✚ des chaudières électriques ; en phase liquide, elles sont du type à thermoplongeurs, ceux-ci étant placés à l'intérieur de tubes groupés en série ou en parallèle ou en disposition mixte. Elles permettent une parfaite maîtrise des vitesses de circulation du fluide dans les tubes et de la charge thermique apportée à ceux-ci. Quant à leur rendement, il est, comme pour l'ensemble des chaudières électriques, voisin de 100 % et sorte de notre cadre.

CHAPTER II

BITUME, RESERVOIR
ET INSTALLATION

CHAPITER II : BITUME, RESERVOIR ET INSTALLATION

II.1 Introduction :

Le bitume est un matériau d'étanchéité adhésif et non volatil, qui provient des résidus de pétrole brut choisi pour sa haute teneur en asphaltène, il est totalement ou presque totalement soluble dans le toluène. C'est un matériau thermoplastique visqueux et élastique, de couleur marron à noire et très visqueux ou pratiquement solide à température ambiante.

Il existe de très nombreux bitumes et produits à base bitumé, utilisés dans de nombreuses applications différentes, pour la construction des routes et les applications industrielles, nous ramène à le considéré comme un matériau de construction. Par ailleurs il ne faut pas confondre le bitume avec le goudron, produit à partir de charbon par distillation destructive à haute température. Le goudron présente une composition chimique et une caractérisation physique totalement différentes du bitume.

Le goudron est classé dans les produits carcinogènes, alors que les bitumes ne sont pas classés. Ni l'un ni l'autre ne doit être confondu avec les asphaltes naturels, qui sont des produits non raffinés.

II.2 Définition du bitume :

Le bitume est une association très complexe de composés de haut poids moléculaire qui contiennent une proportion importante d'hydrocarbures, dont la teneur en carbone est généralement supérieure à (C₂₅), avec un fort quotient de carbone par rapport à l'hydrogène. Ils contiennent également de petites quantités de métaux comme le nickel, le fer et le vanadium.

C'est un liquide visqueux ou solide, soluble dans le trichloréthylène. Il est en grande partie non volatile et se ramollit progressivement quand il est chauffé. Le bitume possède de très bonnes propriétés d'adhésivité et d'étanchéité.

II.3 La composition du bitume :

La nature complexe du bitume est obtenue grâce à un mélange des matières chimiques lourds et spéciales dont sa composition, soit à l'état naturel ou artificiel (après distillation du pétrole brut), nous allons citer les quatre éléments de base les plus connus :

- Les asphaltènes
- Les résines

- Les molécules d'huile saturée
- Les huiles aromatiques :

II.4 Produits extraits du pétrole brut:

Le bitume est principalement obtenu par distillation d'un mélange de pétroles bruts, qui comprend au moins un brut à bitume. Les autres composants plus légers de ce mélange sont utilisés pour produire des carburants et des combustibles. Contrairement à une idée fausse répandue, le bitume n'est pas un sous-produit indésirable dont l'industrie pétrolière cherche à se débarrasser à moindre coût. En réalité, pour produire un bitume de qualité avec des propriétés constantes, les producteurs sélectionnent soigneusement un ou plusieurs bruts à bitume qui répondent à des normes strictes établies par des procédures d'homologation internes rigoureuses.

Sur les 1 300 types de pétroles bruts répertoriés dans le monde, seulement 10 % d'entre eux sont adaptés pour produire des bitumes répondant aux spécifications requises, et ces bruts sont appelés bruts à bitume. En Europe, environ 30 de ces bruts sont réellement utilisés. Cela souligne l'importance de la sélection minutieuse des bruts à bitume pour garantir la qualité et les performances des produits bitumineux.

Le graphe de la figure (16) illustre les différentes compositions du pétrole brut par région.

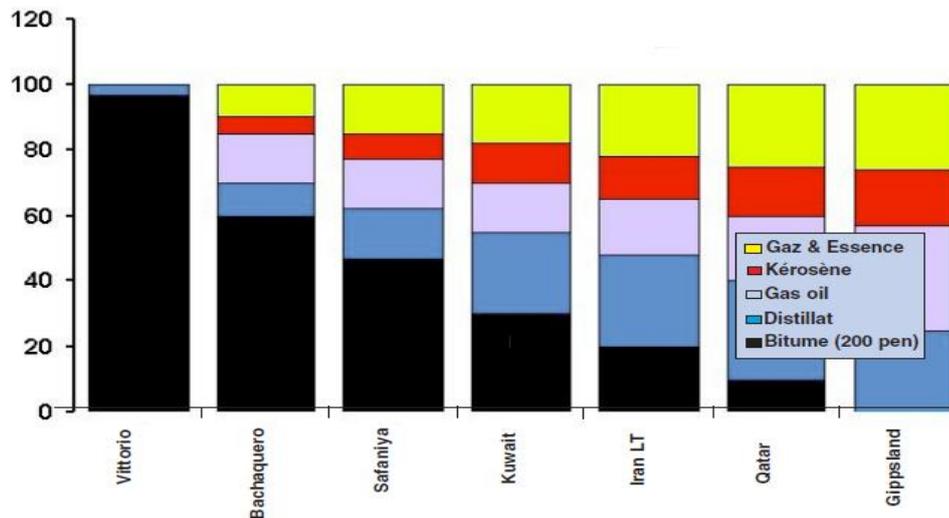


Figure16 :Région et composition du pétrole brut.

L'expérience ainsi que la recherche sur les pétroles brut ont montré par le billet des stations de raffinage, que le brut contient des mélanges miscibles et non miscibles, cette caractéristique modélise les différentes fractions des produits qu'un brut peut contenir, ces même fractions se

distinguent mutuellement par leurs masses volumiques, symbolises qu'un produit est plus lourd, ou volatile, par rapport à l'autre selon la teneur en carbone, dans le même brut, l'illustrations ci-dessous l'explique aisément pour un baril de pétrole brut :

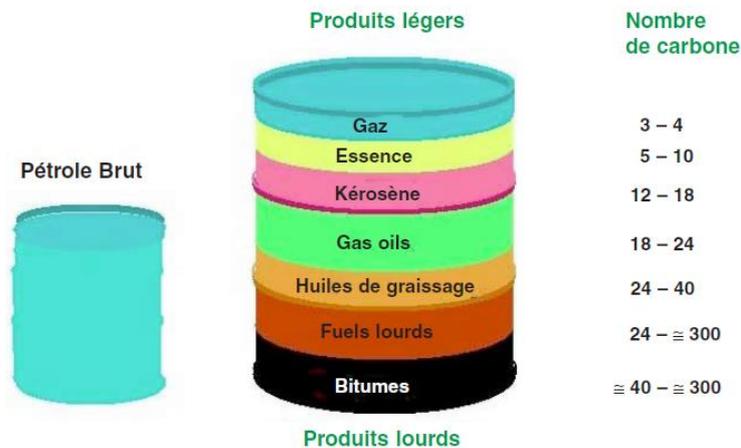


Figure17 :Produits extraits du pétrole brut

II .5 La distillation du pétrole brut :

Effectivement, le bitume est produit par un processus de raffinage du pétrole brut. Ce processus implique plusieurs étapes. Tout d'abord, le pétrole brut est chauffé à environ 300°C. Sous l'effet de la chaleur, le pétrole se vaporise partiellement dans un four.

Ensuite, la vapeur de pétrole est transférée dans une colonne de distillation atmosphérique. Dans cette colonne, les différentes fractions du pétrole sont séparées. Les fractions les plus légères, comme l'essence et le diesel, se vaporisent à des températures plus basses et sont récupérées en haut de la colonne.

Quant aux fractions plus lourdes, notamment le résidu atmosphérique, elles restent au fond de la colonne. Ce résidu est ensuite envoyé dans un deuxième échangeur de chaleur avant d'être traité dans une colonne de distillation sous vide.

Enfin, c'est au fond de cette colonne de distillation sous vide que la base de bitume est récupérée. Elle est plus visqueuse et présente des propriétés spécifiques qui la distinguent des autres fractions du pétrole brut.

Ainsi, le processus de raffinage du pétrole permet d'obtenir du bitume en séparant les fractions lourdes du pétrole brut et en les traitant de manière spécifique pour obtenir le produit final.

Les figures (18) et (19) montrent la distillation et fabrication du bitume par étapes de traitement, autre montre les différentes distributions après raffinage.

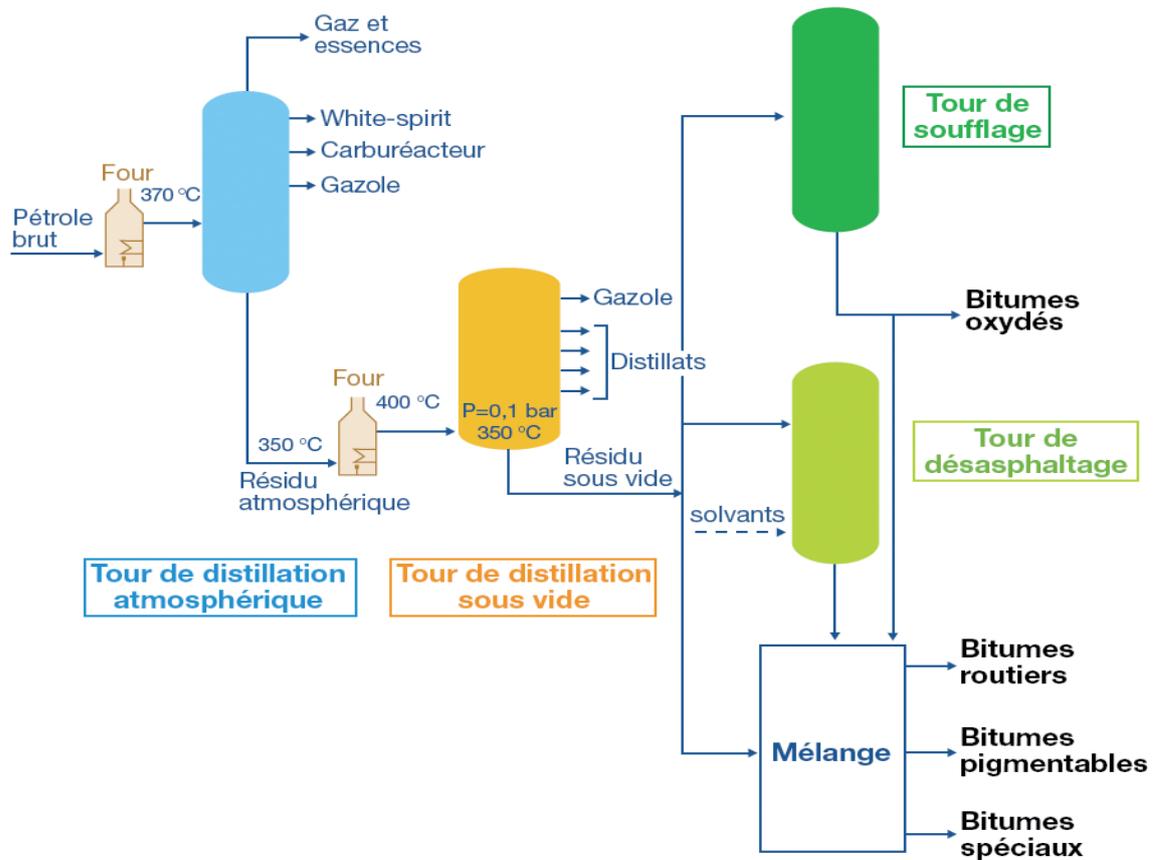


Figure18 :Distillation et étapes de traitement pour l’obtention du bitume

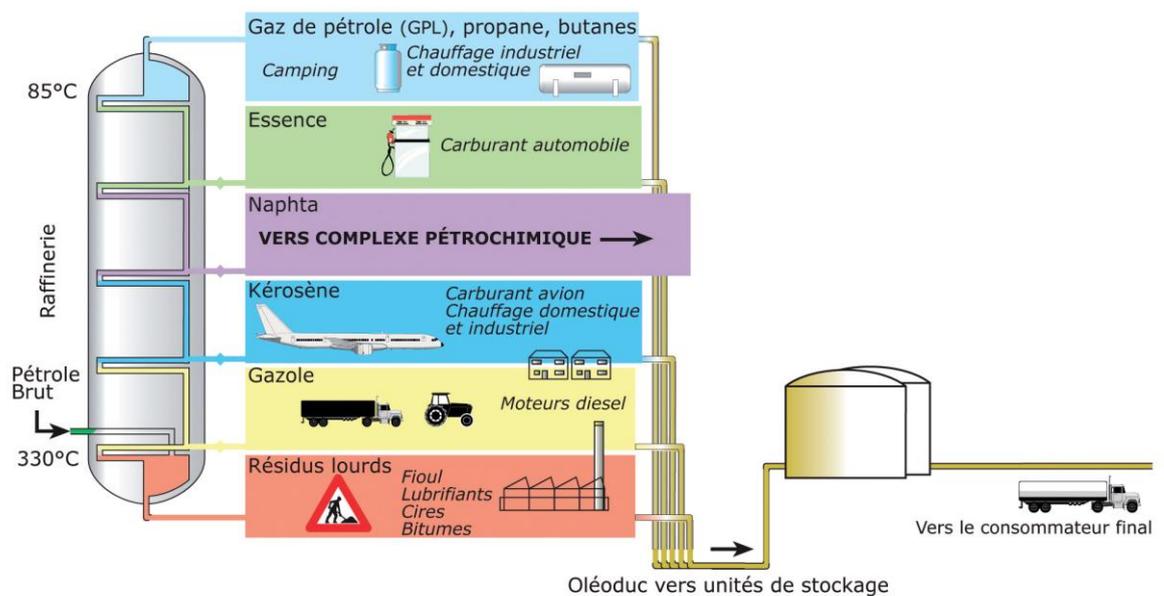


Figure19 :Distribution des produits du pétrole brut après raffinage

II.6 Fabrication de bitumes:

Les bitumes sont fabriqués industriellement à partir de pétroles bruts d'où l'on extrait, au préalable, les fractions les plus légères. De la partie restante, constituée par des huiles visqueuses, on sépare un bitume de la dureté désirée. Certaines variétés sont préparées à partir d'une matière de charge craquée, d'autres sont obtenues par oxydation (soufflage).

Le bitume sorti tel quel des unités de raffinage est trop mou pour être utilisé pour les revêtements routiers. Aussi pour le rendre plus dur, on procède à son soufflage. Le procédé est ni plus ni moins une déshydrogénation partielle et une polymérisation du bitume avec l'oxygène de l'air.

En effet, en faisant passer l'air à travers le bitume sous haute température (240 à 260 °C), il y a déshydrogénation partielle et l'oxygène contenu dans l'air soufflé forme des ponts oxygène avec les chaînes hydrocarbonées et il se forme des réseaux tridimensionnels par polymérisation.

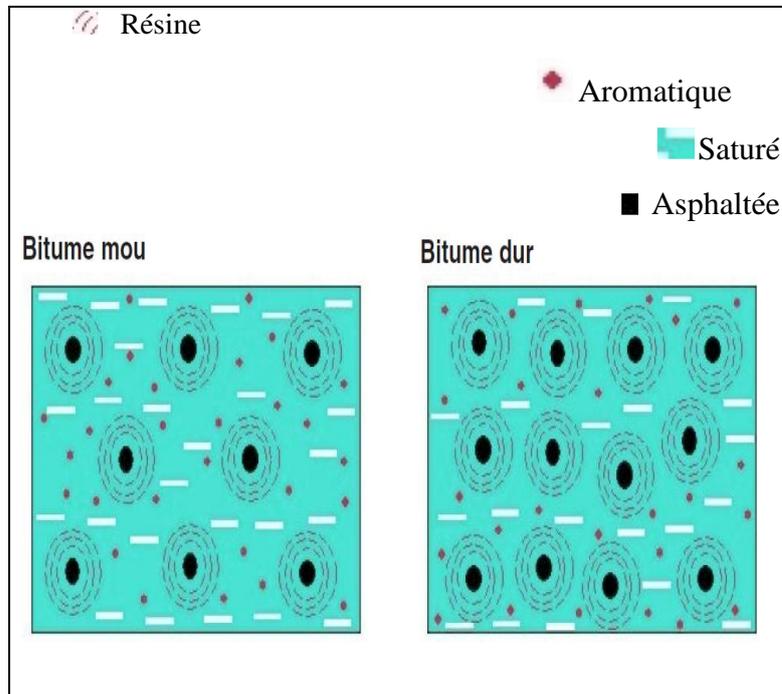
La réaction est plus ou moins exothermique et la température dans la tour de soufflage ne dépasse jamais 300°C sous peine d'apparition du phénomène de "craquage". La dureté du bitume obtenue peut être contrôlée par le temps de passage de l'air, car plus il y a de ponts oxygène plus dur est le bitume.

C'est ainsi qu'on obtient des bitumes plus ou moins durs selon les besoins du marché. La dureté du bitume est définie par leur pénétrabilité (1) minimale et maximale. Plus les valeurs de pénétrabilité sont petites, plus dur est le bitume. Les spécifications officielles prévoient 5 qualités :

- 20/30 la plus dure,
- 40/50, 35/50
- 60/70,
- 80/100,
- 180/220

Figure20 : Structure du bitume.

surtout utilisés
 construction et
 chaussées, dans
 hydrauliques, et
 (papeterie,
 bitumes
 bitume fluidifié
 un bitume dont
 réduite par
 plus ou moins
 international, on
 les bitumes
 vitesse de



Ces bitumes sont
 dans la
 l'entretien des
 les travaux
 dans l'industrie
 étanchéité). Les
 fluidifié : Un
 « cut-back », est
 la viscosité a été
 l'ajout un diluant
 volatil. Sur le plan
 distingue souvent
 fluidifiés par leur

séchage, elle-même fonction du fluidifiant (essence, kérosène, ou gas-oil) :

- ✚ Lente (SL, de l'anglais slow-curing)
- ✚ Moyenne (MC, medium-curing)
- ✚ Rapide (RC, rapid-curing)

II .7 Types de bitume:

- Le bitume dit routier
- Les bitumes durs
- Les bitumes oxydés
- Les bitumes fluidifiés
- Les émulsions de bitume
- Les bitumes fluxés

II.7.1 Caractéristique des bitumes :

Aujourd'hui chaque type de bitume lui en a attribué une couleur et une référence de qualité ainsi que des noms d'animaux pour marquer la dureté.

II.7.2 BITUME 35/50 - BUFFLE / BITUME 40/50 - ELEPHANT :

CARACTERISTIQUES	LIMITES A RESPECTER		METHODE AFNOR
	40/50	35/50	
Densité relative à 25°C	1,00-1,10	1,00-1,10	T 66.007
Point de ramollissement (°C)	47-60	50-56	T 66.008
Pénétration à 25°C 0,1 mm	40-50	35-50	T 66.066
Ductilité à 25°C (cm)	mini 60	mini 60	T 66.066
Point d'éclair Cleveland (°C)	mini 250	mini 250	T 66.118
Solubilité dans le sulfure de carbone (% poids)	mini 99,5	mini 99,5	T 66.012
Perte de masse au chauffage (%)	maxi 1		T 66.011
Pourcentage de pénétrabilité (%)	mini 70		T 66.044

Tableau1 :BITUME 35/50 - BUFFLE / BITUME 40/50 - ELEPHANT

BITUME 50/70 - LION / BIT

CARACTERISTIQUES

Les bitumes Lion et Bélier sont parmi les bitumes les plus utilisés et les plus adaptés aux climats des pays tropicaux. Leurs caractéristiques principales incluent :

- Pénétrabilité : La pénétrabilité de ces bitumes, mesurée en 10ème de millimètre, se situe entre 50 et 70 pour le bitume Lion et entre 60 et 70 pour le bitume Bélier. Cette mesure indique la dureté et la consistance du bitume.
- Degré de ramollissement élevé : Ces bitumes ont un degré de ramollissement élevé, ce qui signifie qu'ils conservent leur rigidité à des températures élevées, offrant ainsi une résistance accrue aux climats chauds.
- Haute résistance à la température : En raison de leur composition et de leurs propriétés spécifiques, les bitumes Lion et Bélier sont connus pour leur résistance élevée à la température, ce qui les rend adaptés aux climats tropicaux où les températures peuvent être élevées.
- Structure plus dure : Comparés au bitume 80/100, ces bitumes ont une structure plus dure, ce qui les rend adaptés à des applications routières nécessitant une plus grande résistance et durabilité.
- Réchauffement plus facile : Par rapport au bitume 40/50, les bitumes Lion et Bélier sont plus faciles à réchauffer en raison de leur dureté relativement plus faible, ce qui facilite leur manipulation et leur utilisation dans les processus de revêtement et d'entretien des routes.
- Naturellement émulsionnable : Comme d'autres bitumes mentionnés précédemment, les bitumes Lion et Bélier ont la capacité de former des

émulsions avec de l'eau, ce qui facilite leur utilisation dans certaines techniques de revêtements et d'entretien des routes.

En résumé, les bitumes Lion et Bélier sont largement utilisés dans les pays tropicaux en raison de leur pénétrabilité, de leur résistance à la température, de leur structure dure et de leur facilité de réchauffement. Ils conviennent aux conditions climatiques chaudes et offrent une bonne durabilité et résistance pour les applications routières.

UTILISATIONS RECOMMANDEES

Ils sont largement préférés et bien adaptés comme types de bitume dur en Afrique subsaharienne, car ils offrent un compromis entre le bitume 40/50 plus dur et le bitume 80/100 moins dur. Les bitumes 50/70 et 60/70 sont couramment utilisés dans la production d'enrobés à chaud pour les usages suivants :

- + la construction de routes neuves en micro-béton, en béton bitumeux et en SAND-ASPHALT.
- + les routes à grande circulation et autoroutes.
- + les routes à lourds trafics.
- + le renforcement des chaussées.

Ces bitumes servent également à la fabrication d'émulsions de bitumes.

SPECIFICATIONS DES BITUMES 50/70 ET 60/70

CARACTERISTIQUES	LIMITES A RESPECTER		METHODE AFNOR
	60/70	50/70	
Densité relative à 25°C	1,00-1,10	1,00-1,10	T 66.007

Point de ramollissement (°C)	43-56	45-51	T 66.008
Pénétration à 25°C 0,1 mm	60-70	50-70	T 66.004
Ductilité à 25°C (cm)	mini 80	mini 80	T 66.066
Point d'éclair Cleveland (°C)	mini 230	mini 230	T 66.018
Solubilité dans le sulfure de carbone (% poids)	mini 99,5	mini 99,5	T 66.012
Perte de masse au chauffage (%)	maxi 1		T 66.011
Pourcentage de pénétrabilité (%)	mini 70		T 66.044
Tableau 2 : CARACTERISTIQUES LIMITES A RESPECTER METHODE AFNOR			

CARACTERISTIQUES

Les bitumes Gazelle et Girafe sont les moins durs parmi notre gamme de produits. Ils sont principalement utilisés comme base pour la production de cut-back ou de bitumes fluidifiés. Leur pénétrabilité, mesurée en 10e de millimètre, se situe entre 80 et 100 pour le bitume Gazelle et entre 70 et 100 pour le bitume Girafe.

- ✚ A long terme, ces bitumes nécessitent plus d'entretien compte tenu des risques d'orniérages.
- ✚ Ce sont des bitumes de qualité avec des points de ramollissement plus bas que le 40/50 et le 60/70.

Gazelle ou Girafe c'est aussi: un avantage d'économie d'énergie, ils ont plus d'élasticité que les autres produits similaires, une bonne résistance à la fatigue et à la fissuration de chaussées, naturellement émulsionnable.

UTILISATIONS RECOMMANDEES

Ces bitumes servent à la fabrication d'enrobés à chaud pour:

- ✚ le revêtement de chaussées en zone urbaine.
- ✚ la réhabilitation et le resurfaçage des chaussées.

- ✚ le renforcement des chaussées à faible trafic.
- ✚ les accotements des chaussées.

Ils servent également à la fabrication des émulsions pour la mise en œuvre des enduits superficiels.

II.8 Tester les enrobés

II.8.1 L'orniérage

Le test de l'orniérage permet de mesurer la résistance à la déformation de l'enrobé au passage des véhicules, notamment des poids lourds.

II.8.2 L'arrachage

Une machine unique a été créée pour simuler le freinage d'un camion et mesurer la résistance des granulats à l'arrachage

II.8.3 L'eau

Pour tester la résistance des enrobés à l'eau, c'est à dire leur capacité à maintenir leur cohésion, ces derniers sont soumis à dures épreuves.

II.9 Mode de stockage :

La configuration des réservoirs, comme mentionné précédemment, est étroitement liée à la nature du produit stocké et à sa volatilité à la température de stockage. En connaissant cette volatilité, différentes méthodes de stockage peuvent être envisagées. Elles peuvent être classées en fonction de la pression et de la température de fonctionnement du liquide stocké, en tenant compte de la relation existante entre ces deux paramètres. Voici quelques exemples :

- ✚ Stockage des liquides volatils/ou peu volatile qui ne bouillent pas à température ambiante.
- ✚ Stockage des Liquides volatils qui bouillent à des températures inférieures ou égales à la température ambiante

Dans notre étude nous nous intéressons uniquement au stockage des liquide peu volatile et qui ne bouille pas à la température ambiante, tels que le bitume, et stocké à la pression atmosphérique.

II.10 Type de réservoir :

fin de répondre à la grande diversité des produits liquides industriels à stocker, les fabricants utilisent des réservoirs de formes variées et de conceptions différentes, conçus pour s'adapter de manière rationnelle et économique aux caractéristiques du produit à traiter. Nous constatons que la forme cylindrique est la plus répandue en raison de sa simplicité de mise en œuvre et de sa résistance adéquate à la pression interne. Lorsque la pression interne est élevée, des formes sphériques sont utilisées, car elles sont mieux adaptées que les cylindres et permettent de réduire l'épaisseur des parois. Voici un exemple de réservoir :

- ✚ Réservoirs cylindriques verticaux (le cas de notre installation).
- ✚ Réservoirs cylindriques horizontaux (appelé ballon).
- ✚ Réservoirs sphériques.
- ✚ Réservoirs sphéroïdaux.

II.10.1 Réservoirs cylindriques verticaux :

Couramment appelés réservoirs, sont placés directement sur le sol ou sur une fondation à l'aide d'un fond plat. Ils sont généralement équipés d'un toit fixe conique ou sphérique, ou d'un toit flottant qui repose sur le liquide et glisse dans le piston formé par la paroi du réservoir, évitant ainsi la présence de phase gazeuse. Dans quelques cas assez rares, ces réservoirs sont de simples cuves à ciel ouvert, sans toit, exposant directement la surface du liquide stocké à l'atmosphère.

Lorsque ces réservoirs doivent supporter une légère pression, leur toit est généralement de forme sphérique, tandis que leur fond périphérique peut être ancré sur une fondation circulaire en béton. Pour éviter l'utilisation de ces ancrages et les fondations associées, le fond plat peut être remplacé par un fond sphérique concave qui équilibre les effets de pression sur le toit.

II.10.2 Réservoirs cylindriques horizontaux :

Ces réservoirs, également appelés ballons, sont généralement installés au-dessus du sol sur des berceaux supports. Leurs extrémités sont équipées de fonds emboutis de forme hémisphérique, torisphérique ou elliptique. Les réservoirs cylindriques horizontaux sont conçus pour le stockage sous forte pression, mais leur utilisation est généralement limitée à de faibles capacités. Cependant, depuis 1975, on a observé le développement de réservoirs cylindriques horizontaux de grande capacité aux États-Unis, en Europe et en Afrique du Sud,

principalement pour des raisons de sécurité environnementale. Ces réservoirs sont le plus souvent directement posés sur le sol, sans nécessiter de fondation spéciale ni de berceau. Après leur construction, ils sont entièrement enfouis sous une couche de terre d'environ un mètre, ce qui constitue une protection en cas d'incendie ou d'explosion à proximité.

II .10.3 Réservoirs sphériques :

Aussi appelés sphères, ces réservoirs sont généralement supportés par des poteaux disposés au niveau de l'équateur ou, parfois, par une jupe métallique ou un massif de béton situé sous l'hémisphère inférieur. Ils sont parfaitement adaptés au stockage sous forte pression et permettent la réalisation économique de grandes capacités.

II .10.4 Réservoirs sphéroïdaux :

Ces réservoirs sont généralement désignés sous le nom de sphéroïdes. Pour certains produits nécessitant une pression moyenne, on peut utiliser des formes sphéroïdales où la partie inférieure repose directement sur le sol, qui a été préalablement préparé pour épouser la forme du réservoir. Cependant, cette méthode de stockage est devenue pratiquement obsolète en raison de son faible intérêt économique par rapport aux difficultés de construction qu'elle présente.

II.11 Installation de bitume:

Cette installation se présente dans le cadre d'augmenté la capacité de stockage pour l'importation et la distribution des bitume, à SKIKDA, prévue à fin de satisfaire la consommation du payé, en besoin de cette matière première, qui contribue principalement au développement du secteur industrielle, et surtout celui du transport.

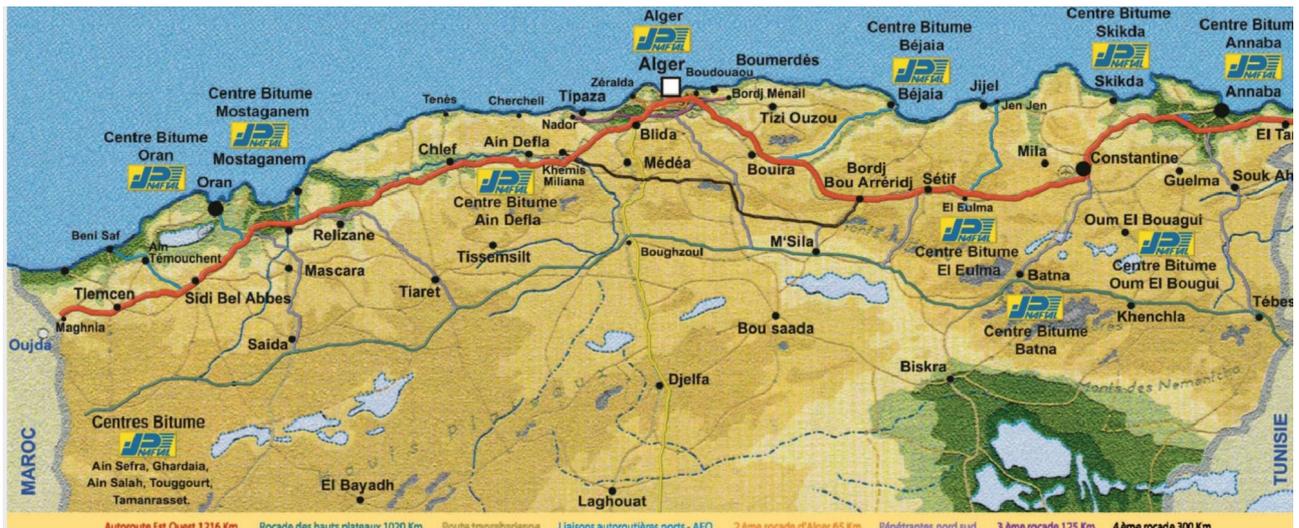


Figure21 :les sites de stockage des bitumes en Algérie, ainsi celui de SKIKDA

L'étude de l'installation se départage en cinq perspectives pour la réalisation et la mise en service :

- ✚ L'étude du site (endroit, environnement, construction, météo, etc...).
- ✚ L'étude de moyen de transport et distribution, canalisation..
- ✚ L'étude de conception des unités de stockage et équipement (réservoir, pompe, etc...).
- ✚ L'étude de la chaufferie et échange thermique (chaudière, échangeur, etc..).
- ✚ L'étude de la sécurité et entretien.

Dans notre cas seul le cas de la chaufferie est traité, dont nous considérons les bilans thermiques aux niveaux des réservoirs, en tenant compte des déperditions calorifiques engendrées par les niveaux de la hauteur du bitume , puis par apport à ce dernier et l'intérieur du réservoir, plus exactement le fond où il est installé un échangeur de chaleur de type serpentin ou nappe, par lequel le maintien de température est probable en s'appuyant sur la pompe à circulation du fluide caloporteur venant d'une chaudière à combustible gazeux ou liquide.

II.12 Caractéristique de l'installation:

Le besoin de stockage de $16\,5000\text{ m}^3$ nécessite la construction de six réservoirs de type vertical avec des capacités différentes, à savoir, deux réservoirs de 5000 m^3 , deux de 2500 m^3 et un de capacité d'ordre de 1500 m^3 . Ces réservoirs sont liés entre eux par des canalisations de telle manière à pouvoir

vidé un réservoir dans un autre, par l'intermédiaire des conduits et pompes et vis-versa, tous les réservoirs sont à toit fixe, et équipés des événements pour éviter une surpression, et soupapes de dépression.

La construction elle-même des réservoirs est prévue pour l'inspection de l'équipement de stockage, en respectant les normes API 650 et 653 concernant "Les réservoirs de stockage de produits pétroliers en acier soudé". Ainsi les normes locales d'inspection, réparation, modification et reconstruction, et normes Supplémentaires. Il est recommandé d'installer une douche de sécurité à proximité des réservoirs dans lesquels on décharge du bitume, pour le facteur sécurité.

Les différents organes d'un réservoir à bitume sont : (1), Event, (2) Equipements électroniques de mesure de sécurité comprenant (Alarme de niveau haut, Jauge de niveau, Jauge de température), (3) Echelle, (4) Main courante Escalier, (5) Plaques extérieures, (6) Poutre raidisseurs (Des vents violents peuvent arracher les plaques extérieures), (7) Choisir un acier adapté (doit être facile à remplacer), (8) Mélangeur Prendre en compte les exigences en alimentation électrique et la stabilité mécanique, (9) serpentin chauffant doit être facilement accessibles pour réaliser les opérations de maintenance, (10) Trou d'homme tenir compte de la facilité de maintenance du réservoir lors du choix de la position d'implantation, (11) Trappe de nettoyage, (12) Isolation convient aux températures jusqu'à 230°C une bonne isolation réduit les écarts de température dans le réservoir limite la formation de dépôts, (13) Plaque inférieure inclinée pour faciliter la vidange du réservoir , (14) Robinets vidange admission sortie prélèvement d'échantillons , (15) Décontamination socle en gravier ou béton lisse autour du réservoir pour faciliter la manipulation des déchets.

La figure (22) :

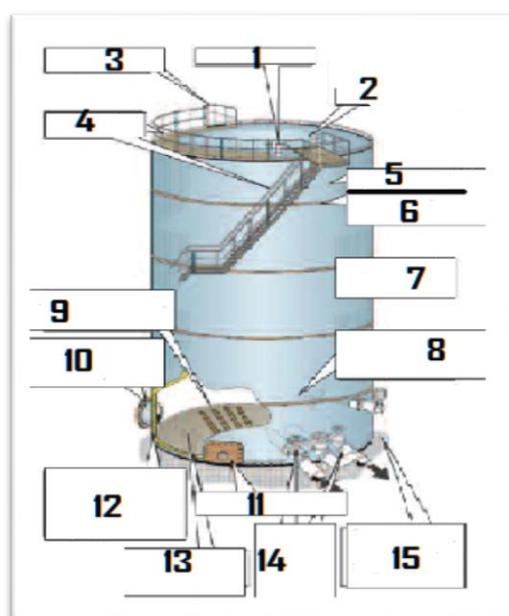


Figure22 : les éléments d'un réservoir à bitume



Figure23 :les éléments d'un réservoir à bitume

II.12.1 Chauffage (serpentin) :

L'étude du système de chauffage, en particulier à l'intérieur des réservoirs de stockage, revêt une grande importance afin de prévenir les phénomènes de surchauffe qui peuvent entraîner la formation de coke (surface de chauffe, diamètre des tuyauteries, température de surface des serpentins de chauffage) et garantir un maintien optimal de la température. Le chauffage à l'huile est recommandé pour les températures élevées (entre 130 et 250°C). Pour des températures plus basses, la vapeur peut être utilisée. Le chauffage électrique est une autre option envisageable. Dans les réservoirs, dont tous les éléments externes ont été soigneusement calorifugés, il est nécessaire de nettoyer régulièrement les surfaces de chauffe afin de réduire la consommation d'énergie nécessaire au chauffage.

II .12.2 Stockage prolongé :

En cas de stockage prolongé, il est recommandé de porter la température le moins possible au-dessus du seuil de comptabilité, afin d'éviter une évolution des caractéristiques du bitume.

II.12.3 Manutention :

Il est essentiel de prévoir des moyens appropriés tels que les doubles enveloppes et le traçage pour assurer le réchauffage des canalisations et des vannes, afin d'éviter toute intervention dangereuse (comme l'utilisation d'un chalumeau par exemple). Le remplissage des réservoirs doit être effectué en utilisant un tube plongeant plutôt qu'une méthode de cascade, et si possible, en utilisant le principe d'aspiration.

II.12.4 Tuyaux d'évent et autres accessoires :

Les tuyauteries doivent être conformes aux réglementations et normes locales, et il est préférable qu'elles soient verticales, courtes et droites autant que possible. Si les tuyauteries doivent être plus longues que nécessaire ou sont exposées à des conditions extérieures, elles doivent être isolées et chauffées. L'admission des tuyauteries doit être positionnée à une hauteur de 0,5 à 1 mètre du sol et être équipée d'un raccord spécialisé à bride. Si la conduite est pleine et que l'admission se situe en dessous du niveau du bitume, il est recommandé d'installer des alarmes de niveau bas, haut et ultra-haut sur les réservoirs de stockage du bitume.

II .13 TEMPERATURE DE MANIPULATION DU BITUME

II .13.1 Température de pompage minimale:

Indique la température minimale à laquelle le bitume atteint une viscosité permettant d'assurer son pompage, généralement à 2000 mPa.s. Pour faciliter les opérations de transfert ou de mélange, des températures de 10 à 50°C supérieures à celles indiquées dans les tableaux de températures ci-dessous peuvent être utilisées pour les opérations normales. Cependant, il est essentiel de ne jamais dépasser la température maximale de manipulation sans danger.

II .13.2 Température de stockage typique :

Pour chaque grade de bitume, une plage de températures est indiquée. Ces températures couvrent la plage généralement utilisée pour le stockage du bitume et permettent un chargement et un déchargement efficaces dans les réservoirs de stockage du client. Il est recommandé de réduire au

minimum la durée pendant laquelle le bitume est stocké et transféré à une température élevée pour éviter la formation de durcissement. Si le bitume doit être stocké pendant une longue période sans ajout de nouveau produit, il est recommandé de réduire la température à environ 20-25°C au-dessus du point de ramollissement et d'arrêter la circulation. Le réchauffement doit être effectué avec précaution pour éviter toute surchauffe locale et les problèmes opérationnels qui en découlent.

II .13.3 Température de manipulation/stockage maximale :

Les températures maximales recommandées pour le stockage et la manipulation du bitume sont basées sur des expériences généralement satisfaisantes de stockage en contact avec l'air, sous réserve de l'absence d'une atmosphère inflammable dans l'espace libre du réservoir. La température maximale de manipulation sans risque est de 230°C, ou 30°C en dessous du point d'éclair. Il est impératif de ne jamais dépasser la température la plus basse retenue.

Le tableau présente les pratiques d'excellence pour la manipulation de chaque grade dans trois situations :

II .13.4 BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :

Tableau 3 :BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES

		10/20	15/25	20/30	30/45	35/50
Temp. de pompage minimale	°C	150	145	140	130	130
Temp. de stockage typique	°C	175-190	175-190	165-185	160-180	155-175
Temp. maximale de manipulation/stockage	°C	200	200	200	200	200

II.13.4.1 :BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :

Tableau4 : BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES

		40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Temp. de pompage minimale	°C	125	125	120	115	110
Temp. de stockage typique	°C	150-170	145-165	140-160	135-155	130-150
Temp. maximale de manipulation/stockage	°C	200	200	190	190	190

II.13.4.2 BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES :

Tableau 5 :BITUME POUR CONSTRUCTION DE ROUTES

		250/330	330/430	500/650	650/900
Temp. de pompage minimale	°C	100	95	90	85
Temp. de stockage typique	°C	125-145	120-140	115-135	110-130
Temp. maximale de manipulation/stockage	°C	190	180	170	160

II.13.4.3 BITUME OXYDE :

Tableau 6 : BITUME OXYDE

		R&B <100 °C	R&B <100 °C
Temp. de pompage minimale	°C	R&B + 80	R&B + 90
Temp. de stockage typique	°C	200-220	210-230
Temp. maximale de manipulation/stockage	°C	230	230

II .13.4.4 BITUME FLUIDIFIE :

Tableau 7 : BITUME FLUIDIFIE

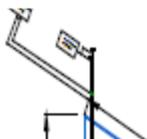
		V1500	V3000	V6000	V10000	V12000
Temp. de pompage minimale	°C	60	65	70	75	80
Temp. de stockage typique	°C	80-130	85-135	90-140	95-145	100-150
Temp. maximale de manipulation/stockage	°C	130	140	150	150	150

II.14 La station de stockage:

Nous pouvons regarder la centrale de stockage de bitume de loin pour faire part des différents éléments qui la constituent, pour avoir une idée de son schéma globale par exemple la figure (24) le mentionne.



Figure 24:une centrale de stockage et distribution de bitume



CHPITERIII

MAINTENANCE DES CHAUDIÈRES A VAPEUR

CHPITER III : MAINTENANCE DES CHAUDIERES A VAPEUR

III.1 Introduction :

Dans un environnement économique concurrentiel, les entreprises sont constamment à la recherche de moyens pour rendre leurs installations plus fiables et optimiser leur fonctionnement. Elles doivent améliorer leur productivité en assurant la disponibilité et la qualité de leurs équipements, tout en respectant les normes de sécurité. Ainsi, la maintenance des installations industrielles est une préoccupation majeure pour les exploitants.

III.2 Définition de la maintenance :

Selon la norme AFNOR (NFX 606010), la maintenance est définie comme "l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé". Dans le cadre d'une entreprise, la maintenance consiste donc à effectuer

différentes opérations telles que le dépannage, la réparation, le graissage, le contrôle, etc., dans le but de préserver le potentiel des équipements afin d'assurer une production efficace et de qualité.

La notion de "maintenance" implique également d'intervenir dans des conditions optimales et d'appliquer différentes méthodes pour optimiser le coût global de possession. En d'autres termes, la maintenance vise à maîtriser les opérations afin de garantir une gestion efficace des ressources.

Le terme «rétablir», nous assimilons le verbe «rétablir» à, une notion de correction sur une entité qui n'est plus en mesure d'accomplir convenablement sa fonction. [3]

III.3 Objectifs de la maintenance

La maintenance préventive offre plusieurs avantages et permet d'améliorer divers aspects au sein d'une entreprise :

- Amélioration de la fiabilité du matériel : En réalisant des analyses techniques du comportement du matériel, la maintenance préventive permet de mettre en place des actions préventives optimales et d'éliminer complètement certaines défaillances. [4]
- Garantie de la qualité des produits : La surveillance quotidienne des équipements permet de détecter les symptômes de défaillance et de veiller au respect des paramètres de réglage et de fonctionnement. Le contrôle des jeux et de la géométrie de la machine permet d'éviter les problèmes de fonctionnement et d'assurer la qualité des produits en évitant les rebuts.
- Amélioration de l'ordonnancement des travaux : La planification des interventions de maintenance préventive, en accord avec le planning d'arrêt des machines, doit être validée par le service de production. Cette collaboration facilite la tâche de la maintenance en permettant une coordination efficace. Une bonne planification prévoit des arrêts en fonction du planning établi à l'avance et prend en compte les contraintes de production.
- Assurer la sécurité des personnes : La préparation des interventions de maintenance préventive doit tenir compte des critères de sécurité afin d'éviter les accidents. De plus, le programme de maintenance doit également prendre en compte les visites réglementaires nécessaires pour garantir la sécurité des installations.
- Amélioration de la gestion des stocks : La maintenance préventive permet de planifier les échéances de remplacement des organes ou pièces, facilitant ainsi la gestion des stocks. Cela permet d'éviter d'avoir certaines pièces en stock pendant une longue période et de ne les demander que lorsque le besoin se présente.
- Amélioration du climat de relations humaines : Les pannes imprévues peuvent souvent entraîner des tensions entre les services de maintenance et de production. En évitant ces

pannes grâce à la maintenance préventive, on contribue à améliorer les relations entre les différents acteurs de l'entreprise.

En résumé, la maintenance préventive présente plusieurs enjeux importants tels que la sécurité, la fiabilité, la production, la qualité des produits et la gestion des stocks. En mettant en place une stratégie de maintenance préventive efficace, les entreprises peuvent améliorer leur performance globale et assurer un fonctionnement optimal de leurs installations.

III.4 Les différents types de maintenance :

La maintenance peut classifier en deux catégories composées elles-mêmes de souscatégories [5] (voir le tableau 8) :

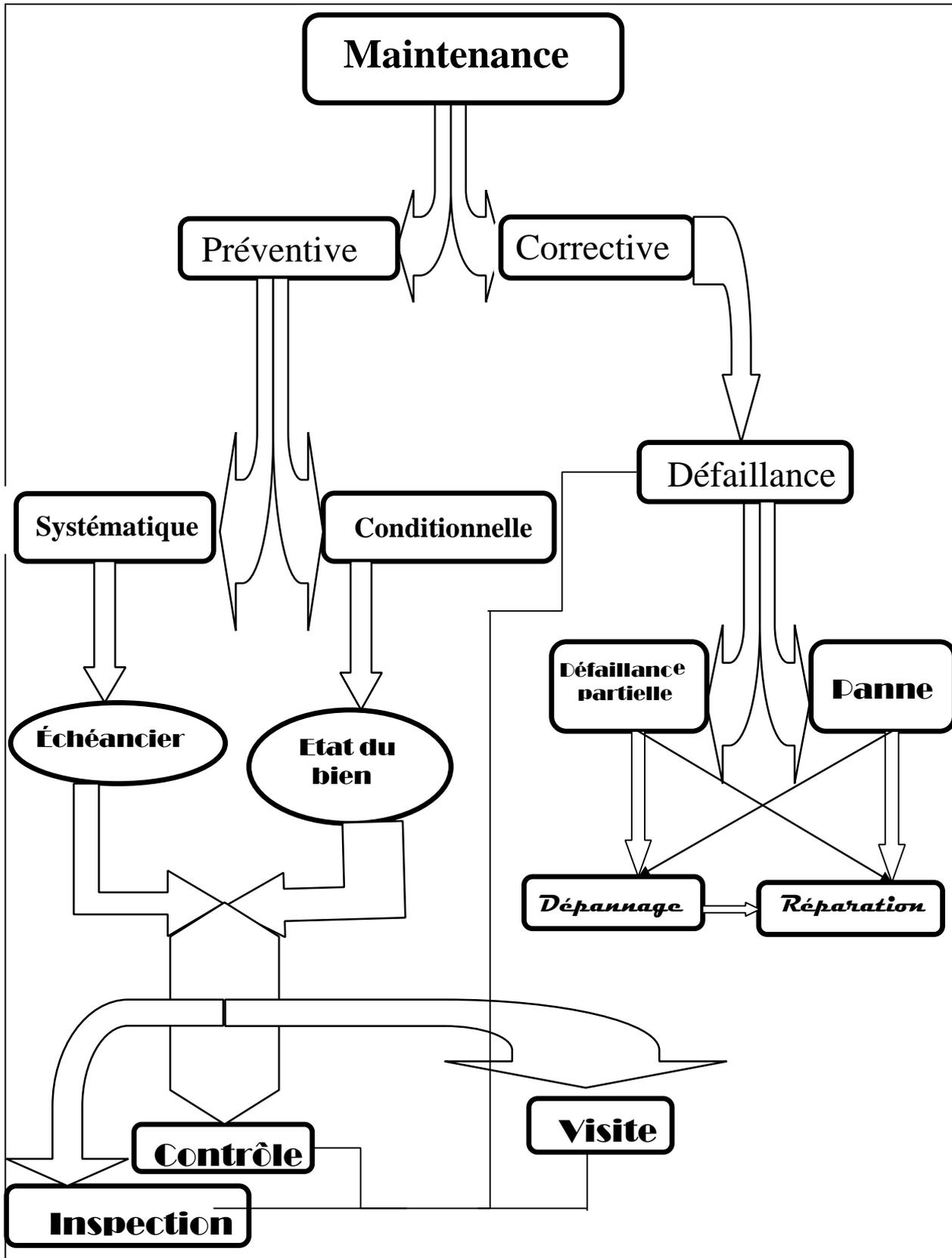


Tableau 8 :Les types de maintenance

La maintenance préventive vise à diminuer la probabilité de défaillance d'un système en se basant sur la maintenance systématique et la maintenance conditionnelle. La maintenance préventive systématique est effectuée selon un échéancier établi en fonction du temps ou du nombre d'unités d'usage. Elle consiste à décomposer les machines en éléments maintenables qui doivent être inspectés ou changés périodiquement. Pour mettre en pratique cette forme de maintenance, il est nécessaire de connaître le comportement du matériel, les modes de dégradation et le temps moyen de bon fonctionnement entre deux avaries . [6.7]

La maintenance préventive conditionnelle est subordonnée à un événement prédéterminé, tel qu'un autodiagnostic ou une mesure d'un capteur. Elle permet une surveillance continue des points sensibles de l'équipement lors des visites préventives, ce qui permet d'éliminer ou de réduire les pannes accidentelles à un niveau acceptable.

La maintenance prévisionnelle est une forme de maintenance préventive subordonnée à l'analyse de l'évolution surveillée des paramètres significatifs de la dégradation du bien. Elle permet de retarder et de planifier les interventions de maintenance.

En ce qui concerne la maintenance corrective, elle est effectuée après la détection d'une défaillance. Elle vise à remettre l'équipement en état de marche lors d'une panne. On distingue deux formes possibles de maintenance corrective : la maintenance palliative, qui consiste en une remise en marche provisoire de l'équipement, et la maintenance curative, qui correspond à une intervention définitive et limitée pour réparer l'équipement. [8]

La combinaison de ces différentes formes de maintenance permet de garantir la disponibilité et la fiabilité des équipements, d'optimiser la gestion des ressources et de prévenir les pannes et les défaillances.

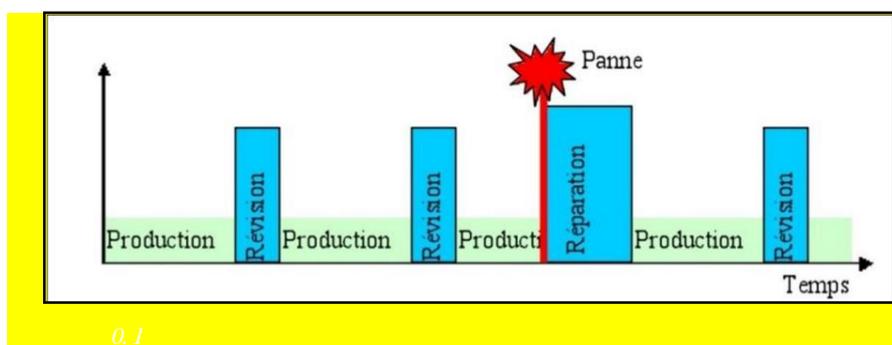


Figure 26: Maintenance préventive systématique

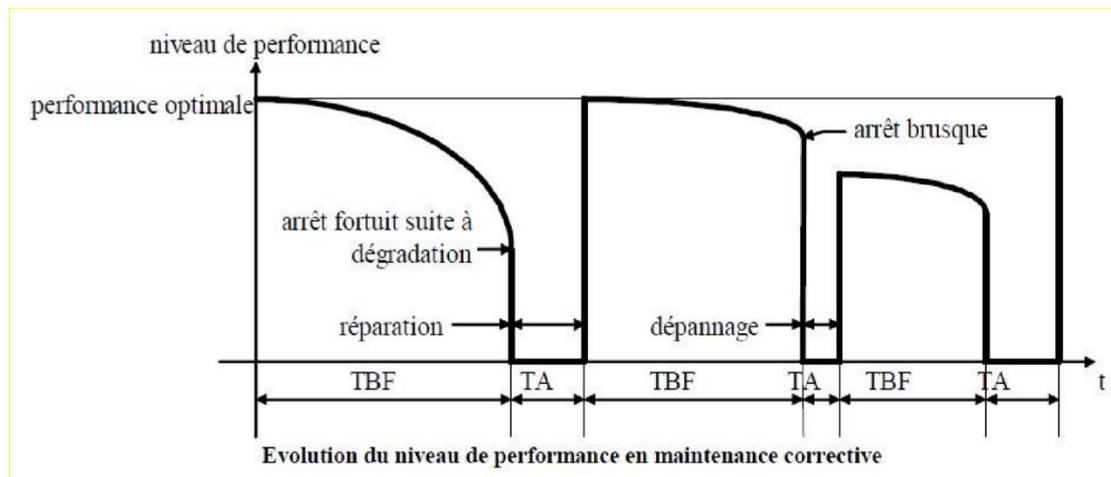


Figure 27:Schéma explicatif de la maintenance corrective

III.5 Les niveaux de la maintenance

Le degré de développement de la maintenance est classifié en 5 niveaux, qui sont donnés à titre indicatif par la norme. Ces niveaux servent de guide et leur utilisation pratique nécessite une définition précise entre les parties concernées, en fonction du type de bien à maintenir [9].

Voici les niveaux de maintenance et leurs activités correspondantes :

Niveau 1 : Il comprend des activités telles que les rondes de petit entretien et le graissage des équipements.

Niveau 2 : Ce niveau implique des activités telles que l'échange standard de pièces et les contrôles du bon fonctionnement des équipements.

Niveau 3 : Il englobe des activités telles que le diagnostic, les petites réparations et les opérations mineures préventives.

Niveau 4 : Ce niveau comprend des travaux de maintenance préventive corrective, tels que les réglages et l'étalonnage des moyens de mesure.

Niveau 5 : Ce niveau concerne des activités de rénovation, de reconstruction et de réparations importantes.

Ces niveaux de maintenance permettent de déterminer le niveau de complexité et d'envergure des activités de maintenance à réaliser, en fonction des besoins spécifiques de chaque équipement ou système.

III.6 Politique de maintenance

La politique de maintenance est établie pour définir les orientations générales, les méthodes, les programmes et les budgets destinés à atteindre les grands objectifs liés à la maintenance. Voici les principaux objectifs visés par la politique de maintenance [10] :

1. Accroître la disponibilité des matériels de production : La politique de maintenance vise à garantir que les équipements de production sont disponibles et fonctionnels lorsque nécessaire, afin d'éviter les temps d'arrêt non planifiés et d'assurer une production continue.
2. Réduire les coûts de maintenance des matériels de production : La politique de maintenance cherche à optimiser les coûts associés à la maintenance en mettant en place des stratégies efficaces, telles que la maintenance préventive et la gestion proactive des pièces de rechange, afin de minimiser les coûts de réparation et de remplacement.
3. Permettre une production de haute qualité : La politique de maintenance vise à maintenir les équipements en bon état de fonctionnement, ce qui contribue à assurer une production de haute qualité, en évitant les défauts liés aux équipements défectueux ou mal entretenus.
4. Diminuer les pertes de production : En prévenant les pannes et en effectuant des interventions de maintenance planifiées, la politique de maintenance cherche à réduire les temps d'arrêt imprévus, les interruptions de production et les pertes de rendement.
5. Augmenter la productivité du personnel de maintenance : La politique de maintenance vise à optimiser l'utilisation des ressources humaines en fournissant des formations appropriées, en mettant en place des méthodes de travail efficaces et en utilisant des technologies de maintenance avancées, afin d'augmenter la productivité et l'efficacité du personnel de maintenance.

En mettant en œuvre une politique de maintenance adaptée, les entreprises peuvent améliorer la performance de leurs installations, réduire les coûts et maximiser leur productivité globale.

III.7 Problèmes les plus fréquents dans les chaudières :

- Fuite des chaudière
- votre chaudière est bruyante
- chaudière ne démarre pas
- chaudière s'éteint toute seule
- chaudière produit de la fumée
- votre chaudière s'encrasse de manière excessive
- La pompe du système est en panne
- La pression est trop basse

III.8 Régulation dans les chaudières

Les principaux paramètres à surveiller pendant le fonctionnement d'une chaudière sont la pression et la température de la vapeur dans le collecteur principal et le niveau d'eau dans le réservoir supérieur.[11]

III.8.1 Contrôle de la pression de la vapeur surchauffée

La pression de la vapeur surchauffée dans le collecteur principal doit être maintenue constante afin de satisfaire les besoins de l'utilisateur et d'assurer la sécurité de la chaudière.

Un générateur de vapeur constitue un système pluri variables dont lequel les paramètres tels que le débit d'eau, de vapeur, de gaz combustible et d'air affectent directement la pression de la vapeur. Afin d'assurer une commande stable, le débit de combustible est conçu comme variable modifiable.

Lorsque plusieurs chaudières fonctionnent en parallèle, il est nécessaire d'utiliser un seul point de contrôle de la pression de la vapeur, un régulateur de pression et d'installer un distributeur de charges. Ce dernier fait varier arbitrairement les proportions de charges de plusieurs chaudières et règle le débit du combustible en recordant les commandes du régulateur principal à chaque chaudière. [12]

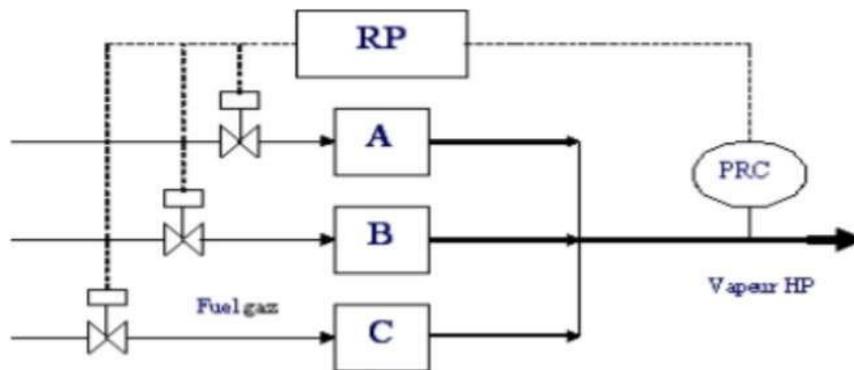


Figure 28 :Contrôle de la pression de la vapeur surchauffée

Les méthodes de répartition de la variation de charge sont :

- a. la variation de charge est répartie équitablement sur toutes les chaudières ;
- b. la variation de charge est répartie proportionnellement sur toutes les chaudières ;
- c. une seule chaudière supporte la variation de charge.

Les trois méthodes peuvent être utilisées lorsque les chaudières sont de même type et de même capacité. Les méthodes a et b peuvent être utilisées lorsque les capacités sont différentes.[11]

III.8.2. Contrôle de la température de la vapeur surchauffée

La température de la vapeur surchauffée dans le collecteur principal est maintenue constante par injection d'une faible quantité d'eau traitée dans le désurchauffeur. C'est ainsi que la température

de la vapeur est maintenue à une valeur légèrement inférieure à celle admise dans la turbine (résistance thermique des matériaux).[12]

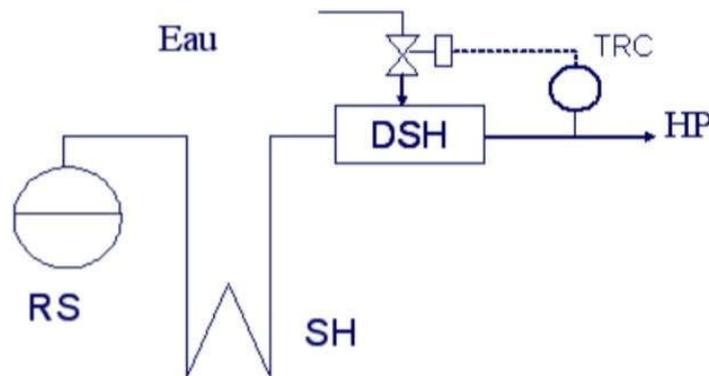


Figure 29: Contrôle de la température de la vapeur surchauffée

III.8.3. Contrôle du niveau d'eau dans le ballon supérieur

a. Niveau haut

Bien qu'un séparateur soit installé dans le réservoir, la séparation de la vapeur et du liquide devient incomplète si le niveau d'eau est trop haut. La présence d'eau dans la vapeur à la sortie du ballon entraîne des sels dissous et provoque le phénomène de primage dans les conséquences sont fort préjudiciables sur les ailettes de la turbines (érosion). [11]

b. Niveau bas

Si le niveau est bas, il y a risque de crevaison des tubes sous l'effet de la chaleur.

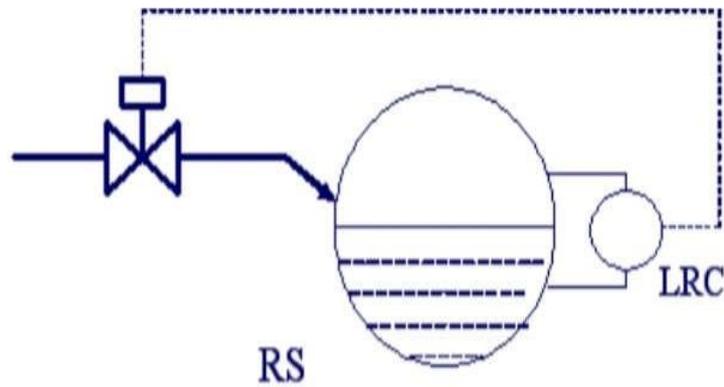


Figure 30: Contrôle du niveau d'eau dans le ballon supérieur

III.9 Sécurité des chaudières

III.9.1 Importance de la sécurité

La sécurité des chaudières revêt une importance primordiale pour garantir à la fois la protection du matériel et la sécurité des personnes. Elle implique la mise en place de dispositifs et d'instruments spécifiques pour éliminer les risques potentiels et réduire au minimum les dangers associés au fonctionnement des chaudières. Voici les principales fonctions de sécurité assurées par les équipements de chaudière :

1. Coupure des feux par pression du combustible basse : Ce dispositif permet de couper l'alimentation en combustible si la pression du combustible descend en dessous d'un seuil prédéterminé, ce qui évite les risques d'accumulation de combustible et de surchauffe.
2. Contrôle de flamme par pilotes ou cellules : Les systèmes de contrôle de flamme utilisent des pilotes ou des cellules pour détecter la présence et la stabilité de la flamme. En cas de défaillance de la flamme, un mécanisme de sécurité intervient pour interrompre le fonctionnement de la chaudière.
3. Surpression limitée par soupape et portes d'explosion : Les chaudières sont équipées de soupapes de sécurité et de portes d'explosion pour évacuer la pression excessive et prévenir les risques d'explosion.
4. Verrouillage autorisant l'alimentation en air de combustion et en combustible : Des dispositifs de verrouillage sont utilisés pour contrôler l'alimentation en air de combustion et en combustible. Ils assurent que ces éléments ne sont fournis qu'en présence de conditions de fonctionnement sûres.
5. Ouverture du registre à la défaillance de la commande : En cas de défaillance de la commande principale, un mécanisme de sécurité permet l'ouverture automatique du registre de la chaudière pour interrompre le processus de combustion.

6. Alimentation en vapeur d'étouffement : Certains systèmes de sécurité fournissent de la vapeur d'étouffement pour éteindre rapidement la flamme en cas de détection d'une condition dangereuse.
7. Alimentation en vapeur de protection à l'intérieur des tubes : Pour protéger les tubes de la chaudière contre les températures excessives, une alimentation en vapeur de protection peut être utilisée pour maintenir les températures à des niveaux sécuritaires.
8. Purge vapeur des cannes assurée par un système de verrouillage : Les cannes de purge vapeur des chaudières sont équipées d'un système de verrouillage pour s'assurer que la purge est effectuée de manière sûre et contrôlée, évitant ainsi les risques de surpression.

En mettant en place ces dispositifs de sécurité, les chaudières peuvent fonctionner de manière fiable tout en minimisant les risques potentiels pour la sécurité du personnel et l'intégrité du matériel.

III.9.2 Sécurité des brûleurs

La sécurité des brûleurs est d'une importance primordiale, car c'est à ce niveau que réside principalement le risque. Lorsque les brûleurs s'éteignent, il est essentiel de prendre des mesures de sécurité appropriées pour éviter les conséquences néfastes. Dans les systèmes de chauffage automatiques, semi-automatiques et manuels, particulièrement lors de variations importantes du débit du combustible, il est nécessaire de prévoir des dispositifs de sécurité en cas d'extinction du brûleur.

Le risque majeur réside dans le fait que lorsqu'un brûleur s'éteint, l'arrivée du combustible peut persister. Cela peut entraîner la formation d'un mélange inflammable dans la chambre de combustion, qui peut s'enflammer au contact d'un point chaud tel qu'un pot de suie en ignition, une torche d'allumage ou un brûleur de soutien laissé en service. La combustion soudaine de ce mélange peut entraîner une augmentation instantanée de la pression, susceptible de causer des dommages graves.

Pour prévenir ces situations dangereuses, il est essentiel de mettre en place des dispositifs de sécurité appropriés pour les brûleurs. Cela peut inclure des mécanismes de surveillance de la flamme, des capteurs de présence de flamme, des systèmes de coupure du combustible en cas d'extinction, ainsi que des dispositifs de purge de la chambre de combustion pour éliminer les mélanges inflammables.

De plus, une conception appropriée des systèmes de chauffage doit prendre en compte ces risques potentiels. Il est important de s'assurer que les brûleurs sont conçus pour minimiser les risques d'extinction inopinée, et que les procédures d'allumage et d'extinction sont effectuées de manière sûre et contrôlée.

En prenant soin de la sécurité des brûleurs et en mettant en place les dispositifs appropriés, il est possible de réduire les risques d'incidents graves liés à l'extinction des brûleurs et aux conséquences potentielles qui en découlent.

III.9.3. Comportement sécuritaire du personnel

Le comportement sécuritaire du personnel est un élément crucial pour améliorer la sécurité des personnes et des installations industrielles. Dans cette optique, la formation en sécurité joue un rôle essentiel en intervenant sur le changement du comportement individuel et collectif des travailleurs afin de prévenir les accidents.

Dans le cadre du programme de formation en sécurité appelé "Safe Behaviour Programme" (SBP), lancé le 29/10/2006 par un responsable de la santé et de la sécurité, l'objectif est d'appliquer un certain nombre de barrières mentales et techniques pour éviter les accidents imprévus.

Les barrières mentales comprennent les éléments suivants :

1. **Priorité première** : Donner la priorité à la sécurité, même si cela implique l'arrêt du travail. La sécurité doit toujours être la première préoccupation.
2. **Conformité** : Respecter les procédures et les règles établies dans les documents officiels de l'entreprise. Cela implique de suivre les protocoles de sécurité et les bonnes pratiques établies.
3. **Dialogue ouvert** : Encourager le dialogue et la communication ouverte sur les questions de sécurité avec tous les travailleurs, indépendamment de leur position hiérarchique. Il est important que chacun puisse exprimer ses préoccupations en matière de sécurité.
4. **Évaluation continue des risques** : Avant d'entreprendre une tâche, il est essentiel d'évaluer en permanence les risques, même si l'intervenant est expérimenté. Les imprévus peuvent survenir, il est donc important de rester attentif aux dangers potentiels.
5. **Non à l'indifférence** : Prendre soin des autres et réagir lorsque quelqu'un agit de manière non sécuritaire ou ne respecte pas les règles de sécurité. Il est important de signaler les dangers potentiels et de ne jamais ignorer une situation où une personne s'expose à un risque.

Le respect de ces cinq barrières mentales est essentiel pour atteindre l'objectif de zéro accident. Il est important de souligner que derrière chaque accident, il y a une erreur matérielle, mais également une erreur humaine, car la sécurité des installations nécessite un entretien et une maintenance adéquats. Il est donc primordial de comprendre l'origine et la cause des accidents pour mettre en place les mesures appropriées et prévenir les récidives.

En encourageant et en promouvant un comportement sécuritaire basé sur ces barrières mentales, les entreprises peuvent réduire les risques d'accidents et créer un environnement de travail plus sûr pour tous les employés.

III .10 Niveaux de Chaudière

➤ Niveau 1 (réservoir et remplissage) :

Conditions de validité :

- Accélérateur de remplissage opérationnel.
- Capteurs au point.
- Existence de substance liquide (eau).
- Vidange fermée. [12]

➤ Niveau 2 (accélérateur et vannes d'admission, remplissage de chaudière)

- Accélérateur et vannes opérationnelle.
- Capteurs chaudière au point
- Capteurs réservoir état valide.
- Vidange fermée. [11]

➤ Niveau 3 (bruleur)

- Disponibilité substance gazeuse (combustible)
- Validité des deux soupapes à gaz
- Validité de la photocellule
- Disponibilité entrée air
- Capteurs chaudière état valide Le ventilateur opérationnel

➤ Niveau 4 (distributeur)

- Pression valide (pressostat)
- Vanne de distribution opérationnelle.

III .11 Inspection des chaudières

Une chaudière contrôle interne est effectuée pour permettre à l'inspection de la chaudière de voir toutes les surfaces internes, c'est-à-dire les tubes, la coque, le tambour, les soudures, le réfractaire, etc. La chaudière est mise hors ligne, refroidie, vidangée, ouverte et nettoyée en vue de l'inspection

interne de la chaudière. Tous les trous de main et regards sont ouverts, et les coupures de bas niveau d'eau sont ouvertes et nettoyées. Un contrôle externe peut être effectué par :

- Visualisation de l'extérieur de la chaudière pendant le fonctionnement
- Visualisation de l'extérieur de la chaudière à l'arrêt mais pas ouverte
- Inspection hydrostatique ou inspection opérationnelle effectuée lorsque la chaudière est en ligne. Il s'agit d'un test de pression d'eau des nouvelles installations et de la chaudière réparée.

III .12 Taches à exécuter lors de la maintenance :

Lors de la maintenance d'une chaudière, plusieurs tâches doivent être exécutées pour assurer son bon fonctionnement. Voici quelques-unes de ces tâches :

1. Vérification des brûleurs : Examiner l'état des brûleurs et s'assurer qu'ils fonctionnent correctement.
2. Vérification des valves : Vérifier les valves, qu'elles soient motorisées, manuelles ou autres, pour s'assurer qu'elles sont en bon état de fonctionnement.
3. Inspection de la tuyauterie du réseau : Examiner la tuyauterie du réseau, que ce soit pour l'eau ou la vapeur, afin de détecter d'éventuelles fuites ou dommages.
4. Vérification de la cheminée : S'assurer que la cheminée permet une évacuation adéquate des fumées de combustion.
5. Vérification de l'approvisionnement en air : S'assurer que l'alimentation en air frais est suffisante pour la combustion.
6. Inspection des échangeurs de chaleur : Examiner les échangeurs de chaleur pour détecter d'éventuelles fuites ou problèmes de performance.
7. Vérification des manchons : Examiner l'état des manchons et les remplacer si nécessaire.
8. Vérification de l'alimentation en gaz : S'assurer que l'alimentation en gaz vers la chaudière est correcte et qu'il n'y a pas de fuites de gaz.
9. Vérification des jauges indicatrices : Examiner les jauges indicatrices telles que le thermomètre, le manomètre, le débitmètre, etc., pour s'assurer qu'elles fonctionnent correctement et fournissent des mesures précises.
10. Vérification du système de contrôle : Examiner les sondes de température intérieure et extérieure, les dispositifs de sécurité, la valve de relâche haute pression et haute température, l'interrupteur de débit d'eau, l'interrupteur d'air, le contrôle de pression, etc., pour s'assurer qu'ils sont en bon état de fonctionnement.

11. Vérification des pompes : Vérifier la lubrification des pompes, le fonctionnement du moteur, l'alignement des pompes, etc., pour garantir leur bon fonctionnement.

Ces tâches de vérification et d'inspection sont essentielles pour assurer la performance, la sécurité et la fiabilité de la chaudière. Il est recommandé de les effectuer régulièrement dans le cadre d'un programme de maintenance préventive.

III.13 Outils d'analyse des défaillance :

Tableau 9 :Outils d'analyse des défaillance

Outil	Intérêt
diagramme causes-effet = Ishikawa = arête de poisson	recherche des causes d'une défaillance
Q-Q-O-Q-C-P & 5 Pourquoi	analyse de défaillance
graphe de Pareto ou méthode ABC	mise en évidence des actions prioritaires
AMDEC	analyse prévisionnelle des défaillances

III.14 AMDEC (= ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEUR CRITICITE)

III.14.1 Méthodologie d'une AMDEC

L'AMDEC (Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité) est une procédure d'analyse qui vise à identifier les modes de défaillance d'un système, à évaluer leurs effets et à déterminer leur criticité. L'objectif principal de l'AMDEC est d'anticiper les défaillances et de prendre des mesures préventives pour améliorer la conception ou la maintenance du système.

Il existe deux types d'AMDEC :

1. AMDEC de conception : Cette analyse est réalisée pendant la phase de conception d'un système ou d'un équipement. Elle permet de prévoir et d'identifier les défaillances potentielles et leurs effets sur le fonctionnement du système. L'objectif est d'améliorer la conception en prenant en compte ces défaillances et en mettant en place des mesures préventives pour les éviter ou les minimiser.
2. AMDEC de maintenance : Cette analyse est effectuée sur des équipements en service, en se basant sur les défaillances observées. Elle permet d'analyser les défaillances réelles et d'évaluer leur impact sur la maintenance du système. L'objectif est d'améliorer les pratiques de maintenance en identifiant les causes des défaillances, en mettant en place des actions correctives et en optimisant les intervalles de maintenance.

La méthodologie d'une AMDEC comprend les étapes suivantes :

1. Constitution d'un groupe de travail : Former une équipe multidisciplinaire composée d'experts techniques, d'opérateurs et de spécialistes de la maintenance.
2. Décomposition fonctionnelle du système : Identifier et décrire les différentes fonctions du système étudié.
3. Evaluation des défaillances potentielles : Identifier les modes de défaillance potentiels pour chaque fonction du système.
4. Détermination des modes de défaillance, de leurs effets et de leurs causes : Analyser les modes de défaillance identifiés, leurs effets sur le fonctionnement du système et leurs causes probables.
5. Evaluation et notation de chaque cause de défaillance : Chaque cause de défaillance est évaluée en termes de probabilité de non-détection (D), de probabilité d'apparition ou d'occurrence (O) et de gravité (G) de la défaillance.
6. Calcul de la criticité et hiérarchisation : L'indice de criticité (C) est calculé en multipliant les valeurs de D, O et G. Cela permet de hiérarchiser les modes de défaillance en fonction de leur criticité, afin de prioriser les actions correctives.

III.14.2 Objectifs de l'AMDEC

L'AMDEC est une méthodologie puissante pour identifier et évaluer les risques de défaillance d'un système, qu'il s'agisse de sa conception ou de sa maintenance. Elle permet de prendre des mesures préventives et d'améliorer la fiabilité, la disponibilité et la sécurité des équipements industriels.

III.14.3 Application d'analyse des modes de défaillances d'un chaudière par AMDEC:

Le tableau sous-dessous démontre notre analyse de défaillance pour la chaudière principale dans un unité de bitume à Naftal (Ghardaia)

Tableau 10 : Analyse des modes de défaillances d'un chaudière par AMDEC

Equipement	Mode de défaillance	Cause	Phase de fonctionnement	Criticité				Action
				Frequence	Gravite	Non-detection	c	
Ventilator admission dair	Usures et fissuration des hélices	Choc vibration fatigue	Mauvais fonctionnement de la chaudière	2	3	2	12	Surveillance des hélices du ventilateur
Volet dair	Pignon de rotation defectueux	Manqué de graisse	Mauvais combustion (le ratio air /gasoil n'est pas respecte)	2	2	2	8	Contrôle périodique du volet d'air et graissage du pignon mensuelle
Système d'alimentation de la chaudière en gasoil	Pompe gasoil defectueuse Mauvais filtration chute de pression	Fatigue filtre colmate	Arrêt de la chaudière	2	4	4	32	Vérification et nettoyage ou changement du filtre gasoil selon le planning de révision
Tête de pulvérisation pour bruleur	Usure	Frottement encrassement	Mauvais combustion arrêt de la chaudière	1	4	4	16	Vérification après inspection générale action d'amélioration fiche technique
Détecteur de passage de flux	Blocage Du ressort ou différentiel de pression defectueux	Frottement encrassement		2	4	4	32	Vérification et nettoyage du système après chaque révision gamme d'entretien améliorer les fiches technique pour les nouvelles acquisitions vérifier le fonctionnement du contrôleur de débit quotidienne
Accouplement du	desserrage	Vibration	Arrêt de la chaudière	1	4	3	12	Action corrective vérifier l'état de Lo couplement du

servomoteur gasoil								servomoteur (trimestrielle)
Electrode	Electrode encrassée distance entre les deux lames non respectée	Passage de fumée noire	Pas d'étincelle au démarrage	2	3	2	1 2	Nettoyage de électrode et vérification de la distance entre les deux lames
La photo cellule	Pas de détection de flamme	Cellule oxydée court-circuit mal positionnée	Pas de démarrage absence de flamme	1	3	2	6	Changement ou réparation du détecteur de flamme vérifier le fonctionnement de la photo cellule mensuelle
Bobine de l'électrovanne gasoil	endommagement	Mauvaise régulation du courant perturbation au niveau du circuit gasoil	Mauvais fonctionnement de la chaudière combustion déséquilibrée	1	3	2	6	Changement de la bobine le fonctionnement de la bobine (trimestrielle)
Ciment réfractaire	Fissuration	Choc thermique présence d'eau longueur de flamme bruleur non réglée mauvaise combustion E17	Fissuration de la tôle perte d'énergie	2	4	4	3 2	Revoir la conception contrôler la température de corps de la chaudière
Electropompe de circulation d'huile	Endommagement accouplement	Choc1	Arrêt totale de la chaudière	2	4	2	1 6	Changement de l'accouplement
cheminée	Dégradation du calorifugeage	Usure	Perte de chaleur	2	3	3	1 8	Vérifier l'état du calorifugeage
	Déséquilibre de la cheminée	Présence de vibration	Mauvais fonctionnement de la chaudière	2	3	3	1 8	Vérifier l'état de fixation de la cheminée
	Fissuration	Corrosion	Mauvais fonctionnement de la chaudière	2	3	4	2 4	Vérifier l'absence la corrosion
Serpentin	Fissuration et colmatage des faisceaux et serpentins	Présence d'impureté	Arrêt totale de la chaudière	2	4	4	3 2	Nettoyer les faisceaux et serpentins

III.15 Entretien des composants des chaudières

L'entretien d'une chaudière proprement dit passe par l'entretien de ses composants précédemment cités.

Entretien du brûleur

L'entretien du brûleur comprend différentes tâches pour assurer son bon fonctionnement. Voici les étapes générales d'entretien du brûleur :

1. Démontez et nettoyez complètement le brûleur : Il est important de démonter le brûleur et de le nettoyer en profondeur pour éliminer les dépôts de combustion et les impuretés accumulées.
2. Vérifier le bon placement des électrodes : Les électrodes doivent être correctement positionnées pour assurer une bonne combustion. Il est nécessaire de vérifier leur placement et de les ajuster si nécessaire.
3. Vérifier et régler les organes de régulation : Les pressostats d'air et de gaz, ainsi que les capteurs et régulateurs de débit de gaz, doivent être vérifiés et réglés pour garantir un fonctionnement optimal du brûleur.
4. Dépoussiérer les électrodes d'allumage : Les électrodes d'allumage peuvent accumuler de la poussière et des résidus, ce qui peut affecter leur efficacité. Il est important de les dépoussiérer périodiquement.
5. Vérifier le bon fonctionnement des pompes : Les pompes du système de combustion doivent être vérifiées pour s'assurer qu'elles fonctionnent correctement.
6. Nettoyer ou changer le filtre à air périodiquement : Le filtre à air du brûleur doit être nettoyé ou remplacé régulièrement pour éviter toute obstruction et garantir une bonne qualité de l'air de combustion.
7. Démarrer le moteur de combustion : Le moteur de combustion doit être démarré et laissé en marche pendant une période suffisante pour effectuer une vérification approfondie du fonctionnement du brûleur.
8. Changer l'huile du moteur de combustion : L'huile du moteur de combustion doit être changée régulièrement conformément aux recommandations du fabricant.
9. Nettoyer les composants du moteur : Les buses d'air, les ailettes de refroidissement, les culasses et le refroidisseur du moteur doivent être soigneusement nettoyés pour assurer un bon refroidissement et un fonctionnement optimal.
10. Entretien du tube foyer : Le tube foyer doit être nettoyé et inspecté régulièrement. Un nettoyage manuel est souvent nécessaire même après un pré-nettoyage chimique.
11. Vérifier et remplacer les joints des raccords mécaniques : Les joints des raccords mécaniques doivent être vérifiés et remplacés si nécessaire pour éviter toute fuite de gaz ou d'air.

12. Nettoyer le siphon d'évacuation des condensats et l'échangeur : Le siphon d'évacuation des condensats et l'échangeur doivent être nettoyés avec de l'eau pour éliminer les accumulations de dépôts.
13. Vider la chaudière et l'inspecter : Il est recommandé de vider la chaudière périodiquement et de l'inspecter pour détecter d'éventuels problèmes ou dommages.
14. Traiter la corrosion du corps de la chaudière : Si des signes de corrosion sont présents sur le corps de la chaudière, il est nécessaire de traiter le problème pour prévenir d'autres dommages

Pour l'entretien de la boîte arrière de fumée :

- Nettoyer la cheminée pour éliminer les impuretés accumulées.
- Traiter la corrosion du corps de la cheminée en utilisant des méthodes appropriées de nettoyage et de protection contre la corrosion.

Pour l'entretien de l'armoire électrique :

- Vérifier la continuité du circuit de mise à la terre de la chaudière en effectuant un examen visuel. Si nécessaire, réaliser un test de continuité.
- Dépoussiérer l'armoire de haut en bas.
- Vérifier et manœuvrer les disjoncteurs.
- Nettoyer les jeux de barres et les isolateurs.
- Resserrer les connexions électriques.
- Vérifier le bon fonctionnement des organes de commande.
- Vérifier l'absence de court-circuit.
- Vérifier l'état des lampes de signalisation (voyants).

Pour l'entretien de la canalisation :

- Traiter la corrosion de la canalisation en utilisant des méthodes appropriées de nettoyage et de protection contre la corrosion.
- En cas de détection de défauts de continuité ou d'autres problèmes, envisager le remplacement de la canalisation défectueuse.

Pour l'entretien des pompes :

- Un entretien annuel est recommandé, en particulier si la charge en fluide frigorigène de la pompe diminue. Il peut être réalisé dans le cadre d'un contrat annuel avec un installateur qualifié.

- Il est également recommandé de nettoyer régulièrement les filtres des pompes pour éliminer les accumulations d'impuretés.

Pour l'entretien des vannes :

- Inspecter régulièrement la membrane, les guides et les surfaces d'assise des vannes pour s'assurer qu'elles s'ouvrent et se ferment librement.
- Tester les vannes en les ouvrant et les fermant pour éviter les blocages et les coincements.

Il est important de suivre les recommandations du fabricant de l'équipement et de faire appel à des professionnels qualifiés pour effectuer ces tâches d'entretien.

CHAPITER IV

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITER IV : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

IV.1 Introduction :

Dans l'industrie pétrolière certains produits hydrocarburé possèdent des caractéristiques spéciales, ce qui veut dire un traitement spécial réservé à chacun d'entre eux, pour cela leur stockage ou utilisation nous demande une étude précise et détaillé.

Intéressons-nous dans ce cas au bitume ou l'huile lourde, réputé par le phénomène de solidification à la température ambiante, provoqué par la cristallisation des paraffines, ces derniers sont composés de longues chaines de carbone, cette perte de viscosité rend le stockage ou le transport de cette matière impossible sans un recours au réchauffage.

L'utilisation de réchauffage fait fondre les molécules de paraffine et le produit devient plus visqueux donc augmentation de mobilité en outre changement de caractéristiques physique permettant le pompage, stockage, transport et la commercialisation.

IV.2 Calcul de la température probable du produit bitume :

Pour déterminer la température de distribution et stockage du produit nous devons écrire Le bilan thermique du réservoir de stockage, en tenant compte des paramètres suivants :

- ✚ La variation de la température du produit en fonction du temps.
- ✚ La température de remplissage du produit T_{rp} .
- ✚ La température du milieu ambiant T_a .
- ✚ Durée ou temps de stockage t_s .
- ✚ La quantité du produit dans le réservoir soit le volume V_p ou bien la masse, m_p .

L'application du premier principe de la thermodynamique à la quantité du produit présente dans le réservoir, nous permet d'écrire le bilan thermique du contenu réservoir :

$$\dots dU = \Delta W + \Delta Q \quad \text{IV.1}$$

Étant donné que $\partial W = 0$ pas d'échange de travail avec le milieu extérieur, et pour quantité infiniment petite nous aurons :

$$dU = dQ = m_p c_p dT \dots\dots \quad \text{IV.2}$$

(IV.2) est la quantité de chaleur perdue par le produit cédée au milieu ambiant.

- ✚ c_p La chaleur spécifique du produit en $\text{Kcal/m}^2\text{°C}$.

- ✚ dT différence température, ou chute de température pendant le stockage du produit (bitume) en $^{\circ}\text{C}$.

D'autre part la loi de transfert thermique s'écrit :

$$dQ = k_g S_m (T - T_a) dt \dots\dots\dots \text{IV.3}$$

(IV.3) c'est la quantité de la chaleur ayant traversé les parois du réservoir de stockage.

- ✚ k_g Le coefficient d'échange global moyen en $\text{Kcal}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$.
- ✚ S_m Surface mouillée du réservoir en m^2 .
- ✚ T Température courante du réservoir en $^{\circ}\text{C}$.
- ✚ T_a Température du milieu ambiant en $^{\circ}\text{C}$.
- ✚ dt Le temps où durée du refroidissement du produit par le milieu extérieur.
- ✚ m_p Masse du produit en kg .

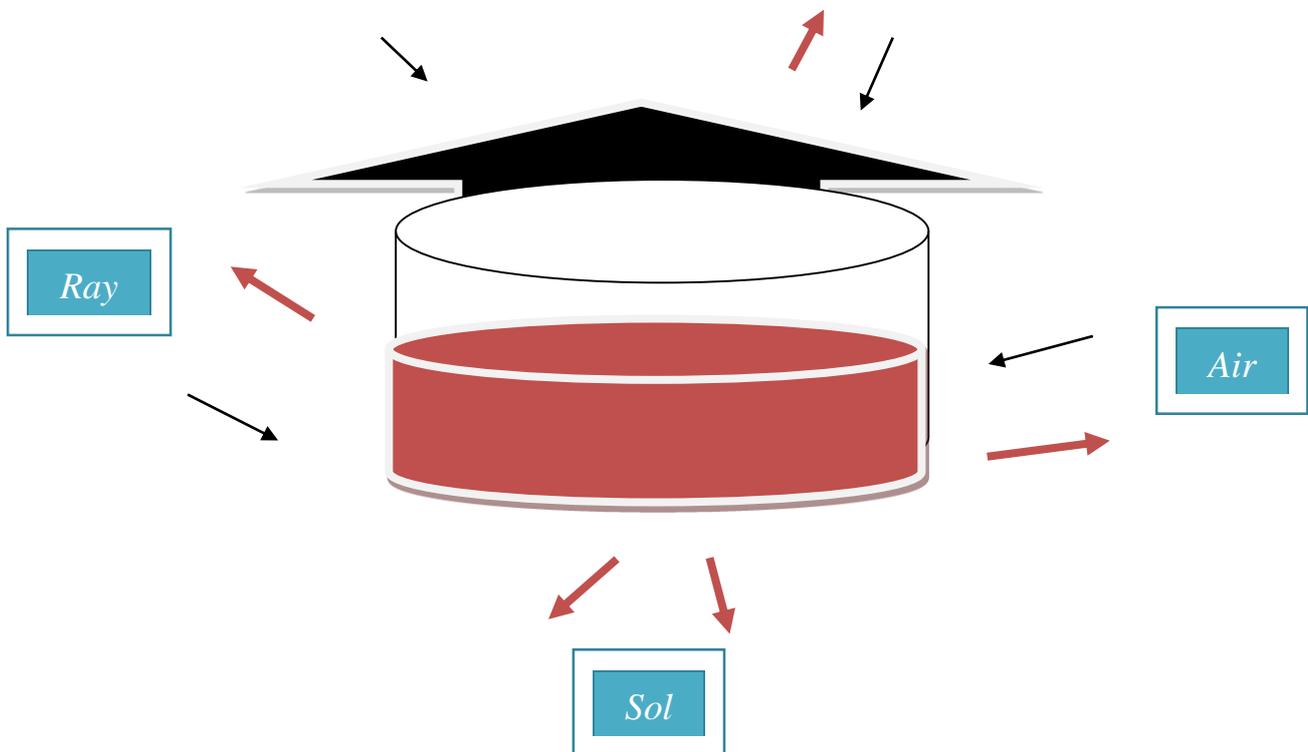


Figure 31: les déperditions des parois du réservoir

Par la suite la quantité de chaleur cédée au milieu ambiant est elle-même la quantité perdue par le produit, ce qui implique que la quantité de chaleur du transfert thermique elle est égale à celle du bilan thermique, puisque la densité de flux de chaleur se conserve alors (IV.2) = (IV.3) :

$$dQ = -\dot{m}_p c_p dT = k_g S_m (T - T_a) dt$$

$$dt = -\frac{\dot{m}_p c_p dT}{k_g S_m (T - T_a)} = -\frac{\dot{m}_p c_p}{k_g S_m} * \frac{dT}{(T - T_a)}$$

Ce qui est traduit par l'intégrale suivant avec les conditions aux limites :

$$\int_0^t dt = -\int_{T_i}^T \frac{\dot{m}_p c_p}{k_g S_m} * \frac{dT}{(T - T_a)}$$

$$t = -\frac{\dot{m}_p c_p}{k_g S_m} \ln(T - T_a) + \frac{\dot{m}_p c_p}{k_g S_m} \ln(T_i - T_a)$$

$$t = \frac{\dot{m}_p c_p}{k_g S_m} \ln\left(\frac{T_i - T_a}{T - T_a}\right)$$

En fin nous pourrons définir la température du produit comme de tels :

$$T = T_a + (T_i - T_a) \text{EXP} - \frac{k_g S_m}{\dot{m}_p c_p} t \dots\dots \text{IV.4}$$

Cependant la température déterminée par la formule (IV.4) est en fonction du temps, des paramètres du produit et le milieu ambiant.

Calcul de la température du milieu ambiant T_a :

En général quand on désigne la température ambiante, elle correspondre directement à la température de l'Air, mais dans le cas d'un réservoir posé sur le sol, la surface du fond est en contact avec la température de ce dernier, or les autres parois restent en contact avec l'Air, de ce fait notre raisonnement va se pencher vers un calcul d'une température pondéré, qu'on appelle T_a température du milieu ambiant en tenant compte des deux températures et surfaces d'échanges :

$$T_a = \frac{T_s S_s + T_{air} S_{air}}{S_s + S_{air}} \dots\dots IV.5$$

✚ T_s : Température du sol en °C.

✚ T_{air} : Température de l'air auprès de la paroi en °C.

✚ S_s : Surface paroi en contact avec le sol en m².

✚ S_{air} : Surface du réservoir en contact avec l'air en m².

✚ c_p En recommande pour la chaleur spécifique de prendre $c_p=0.5$ Kcal/kg°C pour les calculs pratiques ou bien en utilisant la formule suivante :

$$c_p = \frac{1}{\sqrt{\rho_{15}}} (0.403 + 810 \cdot 10^{-3} \cdot T) \dots\dots IV.6$$

ρ_{15} : Masse volumique du produit en tonne/m³.

IV.3 Détermination du coefficient d'échange global pondéré

Pour déterminer le coefficient d'échange global pondéré de transfert de chaleur, il faut tenir compte des trois autres coefficients d'échange globaux, affectés chaque eux à sa surface d'échange. Étant donné que le réservoir contient une certaine quantité du produit (bitume) à un certain niveau de hauteur, fait partager les surfaces échanges en trois régions, une surface d'échange produit/ sol (de fond), produit/air et une surface d'échange paroi non mouillée plus celle du toit gaz/air.

Suite à ce raisonnement nous pourrons écrire la formule la figure IV.2 illustre ses parois d'échange. Par là et comme nous l'avons fait pour la température du milieu ambiant, le coefficient d'échange suivra le même traitement ce qui lui donne une valeur pondérée, désigné par le coefficient d'échange global pondéré du réservoir, en attendant de développés les autres paramètres qui le définissent.

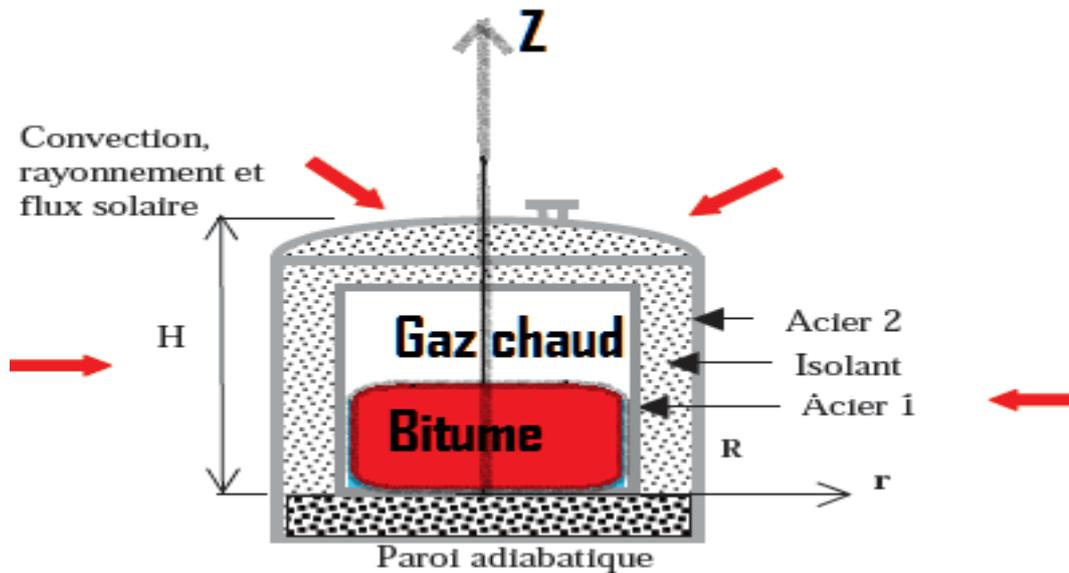


Figure 32:reservoir de bitume et parois

$$K_g = \frac{K_m S_m + K_s S_s + K_t S_t}{S_m + S_s + S_t} \dots \quad \text{IV.7}$$

- ✚ $S_m ; K_m$ Surface et coefficient d'échange global paroi mouillée produit/air.
- ✚ $S_s ; K_s$ Surface et coefficient d'échange global paroi en contact avec le sol ; produit/sol.
- ✚ $S_t ; K_t$ Surface et coefficient d'échange global paroi non mouillée gaz/air.

IV.4 Le coefficient d'échange paroi mouillée :

Le coefficient d'échange global de la robe mouillée lui aussi tient compte d'autres paramètres tels que le coefficient de convection interne produit/paroi, paroi/Air et le coefficient de transfert par conduction entre les deux parois, pour le définir en formule de calcul il faut le considérer à une des deux surfaces qui présente le plus d'échange, mais dans cas de notre figure puisque nous avons un réservoir cylindrique de grand dimension, fait que les deux surface interne et externe s'égalise ainsi que la surface moyenne, nous ramènent à les supprimé des calcul dans la relation IV.9 faite par Mr le professeur DOUCHINE livre à INH.

$$S_m \approx \left(\frac{S_{ex} + S_{in}}{2} \right) \approx S_{ex} \approx S_{in} .$$

$$\text{Tel que : } K_m \cdot S_m = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in} S_{in}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i S_{in}} + \frac{1}{(\alpha_{ex} + \alpha_r) S_{ex}}} \dots \text{IV.8}$$

$$\text{Ainsi nous aurons : } K_m = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{in}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{(\alpha_{ex} + \alpha_r)}} \dots \text{IV.9}$$

Après avoir rapporté les deux surfaces à la surface moyenne S_m de la robe mouillée.

- ✚ α_{in} ; Coefficient interne de transmission de chaleur du produit avec la paroi interne par convection naturel.
- ✚ α_{ex} ; Coefficient externe de transmission de chaleur coté Air avec la paroi externe par convection forcée.
- ✚ α_r ; Coefficient de transmission de chaleur par radiation avec la paroi externe.
- ✚ λ_i ; Coefficients de transmission de chaleurs par conductibilité des couches de paroi interne vers la paroi externe.
- ✚ δ_i Épaisseur i des parois.

Sachant que le produit c'est un fluide, il est stocké à l'intérieur d'un réservoir donc il est stagnant, ou bien en régime stationnaire, la détermination du coefficient d'échange convectif α_{in} , entre la paroi verticale et le fluide (produit) se présente par une convection naturelle, donnant rappel à des corrélations de calculs déjà fondée pour une telle situation, interpellant deux conditions ;

- Si $10^3 \leq (Gr \cdot Pr)_{\text{produit}} \leq 10^9$

Alors :

$$\alpha_{in} = 0.76 \cdot \frac{\lambda_{\text{produit}}}{H_{\text{produit}}} \cdot (Gr \cdot Pr_{\text{produit}})^{0.25} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{produit}}}{Pr_{\text{virole}}}\right)^{0.25} \dots .10$$

- Si $10^9 \leq (Gr \cdot Pr)_{\text{produit}} \leq 10^{12}$

a. Pour un réservoir vertical

$$\alpha_{in} = 0.15 \cdot \frac{\lambda_{\text{produit}}}{H_{\text{produit}}} \cdot (Gr \cdot Pr_{\text{produit}})^{1/3} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{produit}}}{Pr_{\text{virole}}}\right)^{1/3} \dots \text{IV.11}$$

b. Concernant le réservoir horizontal :

➤ Si $10^4 \leq (Gr \cdot Pr)_{produit} \leq 10^8$

$$\alpha_{in} = 0.5 \cdot \frac{\lambda_{produit}}{L_{produit}} \cdot (Gr \cdot Pr_{produit})^{1/4} \cdot \left(\frac{Pr_{produit}}{Pr_{virole}}\right)^{1/4} \dots \text{IV.12}$$

$\lambda_{produit}$: Coefficient de conductibilité du produit, on recommande pour les produits pétroliers de prendre, $\lambda_{produit} = 0.1$ à $1.14 \text{ Kcal/mh}^\circ\text{C}$.

Sinon il est calculé par la formule en dessous :

$$\lambda_{produit} = \frac{0.101}{\rho_{15}} (1 - 0.00054T) \dots \dots \text{IV.13}$$

$H_{produit}$: Hauteur du niveau de produit dans le réservoir

✚ Notant que : Gr et Pr sont des paramètres adimensionnels respectivement Grashof et Prandtl.

$$Gr_m = \frac{H_{produit}^3 \cdot g \cdot \beta_{produit} \rho^2 (T_{produit} - T_{virole})}{\mu_{produit}^2} \dots \dots \text{IV.14}$$

Indice : m indiqué que le calcul se fait avec des températures moyennes du produit.

V : indique que le calcul se fait avec des températures moyennes de la virole.

$\mu_{produit}$: viscosité du produit à la température moyenne.

$$Pr_{produit} = \frac{\mu_{produit} C_p}{\lambda_{produit}} \quad ; \quad Pr_{produit} = \frac{\mu_v C_p}{\lambda_v} \quad ; \text{IV. (15) et (16)}$$

$\beta_{produit}$; Le coefficient de dilatation volumique du produit.

Après avoir donné la relation du coefficient convectif interne α_{in} , nous allons procéder de la même manière pour déterminer α_{ex} sauf que la paroi externe est en contact direct avec l'Air ambiant, ou généralement ce dernier est soumis à des vents que nous devrions les prendre en considération dans le calcul du coefficient de convection externe, qui cette fois ci est dû à une convection forcée, cependant les corrélations suivantes font que α_{ex} se calcul par la formule en dessous ;

$$\alpha_{ex} = Nu \cdot \frac{\lambda_{air}}{D_{reservoir}} \dots \dots \text{IV.17}$$

✚ Nu est le nombre de Nusselt.

✚ $D_{reservoir}$ Diamètre du réservoir.

Avec ;

$$Nu = A \cdot Re_{air}^n \dots\dots\dots IV.18$$

✚ A et n ; coefficients dépendant de la valeur de Re donné dans le tableau

Re	C	m
0,4 à 4	0,989	0,33
4 à 40	0,911	0,385
40 à 4000	0,683	0,466
4 000 à 40000	0,193	0,618
40000 à 400000	0,027	0,805

Tableau 11 :coefficients dépendant de la valeur de Re

✚ Re c'est le nombre de Reynolds

$$Re_{air} = \frac{U_{air} \cdot D \cdot \rho_{air}}{\mu_{air}} \dots\dots\dots IV.19$$

✚ U_{air} ; vitesse du vent auprès de la paroi.

✚ μ_{air} ; Viscosité de l'air.

✚ ρ_{air} ; Masse volumique de l'aire.

Maintenant que le coefficient convectif externe est connu, passant à la formule qui illustre le coefficient d'échange par radiation ou rayonnement pour la paroi externe et l'ambiance, même si dans la plus par des temps il peut être négligé en le comparant avec les autres coefficients d'ordre de grandeur supérieur.

$$\alpha_r = 4.96 \cdot \varepsilon_v \left(\frac{\left(\frac{T_v + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{air} + 273}{100} \right)^4}{T_v - T_{air}} \right) \dots IV.20$$

ε_v ; Coefficient émissivité de la surface de la paroi réservoir par rayonnement.

Pour le Fer Oxydé il est de l'ordre de 0.96, Fer recouvert de peinture Aluminium $\varepsilon_v = 0.25$ à 0.67, Fer recouvert de peinture rouge, verte, ou grise il est de l'ordre de 0.92 à 0.92.

- **La température moyenne du produit :**

Deux conditions proposent le choix de la température moyenne selon le rapport des deux écarts entre la température initial du produit et la température du milieu ambiant, puis la température finale et cette même température du milieu ambiant faite par MR DOUCHINE à INH ;

$$\color{blue}{+} \text{ Si } \frac{T_i - T_{\text{air}}}{T_f - T_{\text{air}}} \leq 2$$

$$\color{red}{\rightarrow} \text{ Alors ; } \bar{T}_{\text{produit}} = \frac{T_i + T_f}{2} ; \text{ ou } \bar{T}_{\text{produit}} \cong T_i + T_{\text{air}} \dots \text{IV.21}$$

$$\color{blue}{+} \text{ Si } \frac{T_i - T_{\text{air}}}{T_f - T_{\text{air}}} \geq 2$$

$$\color{red}{\rightarrow} \text{ Alors ; } \bar{T}_{\text{produit}} = T_a + \frac{T_i - T_f}{\ln \frac{T_i - T_{\text{air}}}{T_f - T_{\text{air}}}} \dots \text{IV.22}$$

Remarque :

La température moyenne de la virole est choisie arbitrairement au début, puis avec cette valeur nous allons calculer le coefficient d'échange global moyen K_m coté robe mouillée, en suite celle du coefficient d'échange moyen par convection interne α_{in} , par là nous égalisons les deux densités de flux de chaleurs puisque cette dernière est constante, nous obtenons :

$$T_v = \bar{T}_{\text{produit}} - \frac{K_m}{\alpha_{in}} [\bar{T}_{\text{produit}} - T_a] \dots \text{IV.23}$$

$\color{blue}{+}$ Si la température T_v de la virole d'après IV.23 n'est pas égale à la température T_v choisi, nous devrions refaire le calcul en prenant la température trouvée et recalculant jusqu'à ce que la différence entre les deux températures devienne négligeable (10% à 15%) ou le calcul itératif est bon.

IV.5 Le coefficient d'échange global coté sol

Toujours sur le même raisonnement la paroi du fond est en contact avec le sol, donc un échange convectif intervient du côté de la paroi du fond et le produit, puis deux échanges conductibles pour les deux parois externe et interne, et la paroi externe et le sol permettant d'écrire :

$$K_S = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_F} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{\pi D}{8\lambda_S}} \dots \text{IV.24}$$

- ✚ α_F ; Coefficient interne de transmission de chaleur du produit avec la paroi interne par convection naturel.
- ✚ λ_i ; Coefficient de transmission de chaleur par conductibilité de la paroi interne vers la paroi externe.
- ✚ λ_S ; Coefficient de transmission de chaleur par conductibilité de la paroi externe et le sol.
- ✚ δ_i Épaisseur i des parois.

Puisque la paroi du fond est en contact avec le produit stocké à l'intérieur du réservoir, celui-ci est stagnant alors la convection est naturelle et dont la corrélation s'écrit :

$$\alpha_F = 0.5 \frac{\lambda_{\text{produit}}}{D} [\text{Gr} \cdot \text{Pr}]_{\text{produit}}^{0.25} \left[\frac{\text{Pr}_{\text{produit}}}{\text{Pr}_{\text{fond}}} \right]^{0.25} \dots \text{IV.25}$$

Il faut prendre Pr indice font à la température du fond au contact avec la paroi.

Grashof cette fois ci est défini par les températures moyenne :

$$\text{Gr}_{\text{prouduit}} = \frac{D^3 \cdot g \cdot \beta (\bar{T}_{\text{produit}} - T_{\text{Fond}}) \rho_{\text{produit}}^2}{\mu_{\text{produit}}^2} \dots \text{IV.26}$$

Et le nombre de Prandtl :

$$\text{Pr}_{\text{fond}} = \frac{\mu_{\text{produit}} \text{FCp}}{\lambda_{\text{Fond}}} \dots \text{IV.27}$$

Généralement le coefficient de conductibilité du sol est égal à l'unité ce qui implique $\lambda_S \cong 1 \text{ Kcal/m}^\circ\text{Ch}$.

Comme pour la température de la virole nous allons donner une valeur de température approximative, et après effectuer le calcul itératif par la formule ci-dessous, jusqu'à atteindre la vraie valeur, puisque le flux la densité de chaleur se conserve nous pourrons écrire ;

$$T_F = T_{\text{produit}} - \frac{K_S}{\alpha_F} (\bar{T}_{\text{produit}} - T_S) \dots \text{IV.28}$$

- ✚ T_S : Température du sol en de sous du réservoir

IV.6 Le coefficient d'échange global coté toit K_t :

Après avoir trouvé les coefficients d'échange globaux, il nous reste le troisième auprès de la paroi du toit plus celle de la zone non remplie en bitume ou produit, dont on la considère composée de gaz, mais sachant que le bitume est très lourd ce qui veut dire qu'il ne contient pas de matière volatile tel que les gaz, pour cela cette partie obtiendra les caractéristiques de l'Air, et la formule sera comme suite :

$$K_S = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_t} + \frac{\delta_g}{\lambda_g} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_{it}} + \frac{1}{\alpha_{2ex} + \alpha_{2r}}} \quad \dots \text{IV.29}$$

- ✚ α_t ; **Coefficient** interne de transmission de chaleur du produit avec la couche du gaz par convection naturel (interface) entre le produit et le toit du réservoir.
- ✚ λ_{it} ; **Coefficient** de transmission de chaleur par conductibilité de la paroi interne vers la paroi externe coté toit.
- ✚ λ_g ; Coefficient de transmission de chaleur par conductibilité équivalente de la couche du gaz (phase gazeuse).
- ✚ δ_g Épaisseur de couche gazeuse entre la paroi et le produit.
- ✚ α_{2ex} ; Coefficient externe de transmission de chaleur coté Air avec la paroi externe du toit par convection forcée.
- ✚ α_{2r} ; Coefficient de transmission de chaleur par radiation avec la paroi externe du toit.

Nous avons deux solutions pour deux conditions selon les valeurs du nombre adimensionnel Rayleigh ou (Gr. Pr) selon les corrélations du transfert liquide-gaz

Dans génie de procédé ;

➡ Si : $5 \cdot 10^2 \leq (Gr. Pr)_{\text{produit}} \leq 2 \cdot 10^7$

$$\alpha_t \cong 4.7 \sqrt[3]{T_{S \text{ produit}} - T_g} \quad \dots \text{IV.30}$$

➡ Si : $(Gr. Pr)_{\text{produit}} \geq 2 \cdot 10^7$

$$\alpha_t \cong 0.98 \sqrt[3]{T_{S \text{ produit}} - T_g} \quad \dots \text{IV.31}$$

- ✚ $T_{S \text{ produit}}$; Température de la surface du produit.

✚ T_g ; Température de la surface du gaz.

Remarque :

Dans les calculs pratiques nous avons les recommandations suivantes :

$$T_{S \text{ produit}} \cong T_{\text{produit}} \dots\dots\dots\text{IV.32}$$

$$T_g = 10 + 0.5 \cdot T_{S \text{ produit}} \dots\dots\dots\text{IV.32}$$

Pour le calcul λ_g équivalent du gaz nous avons la formule suivante, qui l'exprime en fonction du coefficient de conductibilité du gaz et de son coefficient de convection ;

Tel que ;

$$\lambda_g \cong \lambda_{air} \varepsilon_c \dots\dots\dots\text{IV.33}$$

$$\varepsilon_c = 0.18 (\text{Gr} \cdot \text{Pr})_{g \text{ ou air}}^{0.25} \dots\dots\dots\text{IV.34}$$

Et le Grashof sera défini :

$$\text{Gr}_g = \frac{\delta_g^3 \cdot g \cdot \beta_g \cdot \rho_g^2 [T_g - T_v]}{\mu_g^2} \dots\dots\dots\text{IV.35}$$

Et le Prandtl :

$$\text{Pr}_g = \frac{\mu_g \cdot C_p}{\lambda_g} \dots\dots\dots\text{IV.36}$$

Pour le stockage des produits lourd comme l'huile, bitume, mazoute-nous pouvons prendre les caractéristiques de la couche du gaz identique au caractéristique de l'air.

D'autre par la détermination du coefficient par convection forcée entre la paroi du toit et l'Air peut être induite par les relations déjà données en formule IV.17 et IV.18:

$$\alpha_{2ex} = Nu \cdot \frac{\lambda_{air}}{D_{reservoir}} \dots\dots\dots\text{IV.37}$$

✚ Nu est le nombre de Nusselt.

✚ $D_{reservoir}$ Diamètre du réservoir.

Avec ;

$$Nu = A \cdot Re_{air}^n \dots\dots\dots\text{IV.16}$$

$$Re_{air} = \frac{U_{air} \cdot D \cdot \rho_{air}}{\mu_{air}} \dots\dots\dots\text{IV.17}$$

Une autre possibilité s'il n'y a pas du vent nous pourrions utiliser les formules IV.25 ou IV.26 pour le calcul de ce coefficient en remplaçant la température de surface de produit par celle du toit et celle du gaz par celle de l'air.

La même chose pour le calcul du coefficient par rayonnement en utilise la formule (IV.18)

$$\alpha_{2r} = 4.96 \cdot \varepsilon_v \left(\frac{\left(\frac{T_v + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{air} + 273}{100} \right)^4}{T_v - T_{air}} \right) \dots \dots \text{IV.38.}$$

IV.7 La température finale pendant le réchauffage du produit :

La détermination de la température finale de stockage durant le réchauffage doit tenir compte de la température de vidange du produit, car celle-ci est conditionnée par des délais, de pompage, l'aspiration du contenu à une certaine distance, cela fait que la température est calculée empiriquement de la manière suivante :

$$T_f = T_x + \frac{1}{U \cdot m} \ln \left[(\beta / \rho) \frac{Q^{2-m} \cdot \mu_x^m \cdot l}{d^{5-m}} \cdot \frac{\Delta Z^{cr}}{H_{asp} - \Delta Z} \right] \dots \dots \text{IV.39}$$

✚ U coefficient de la pente de la viscosogramme.

$$U = \frac{1}{T_2 - T_1} \ln \frac{\mu_1}{\mu_2} \dots \dots \text{IV.40}$$

✚ μ_x : la viscosité du produit à T_x avec $X = (1 \text{ à } n)$.

✚ β Et m des constantes caractérisé par le régime d'écoulement du produit dans les conduites :

➡ Si le régime d'écoulement est laminaire alors $m = 1$ et $\beta = 4.15 \text{ s}^2/m$.

➡ Si le régime d'écoulement est turbulent soient

$$m = 0.25 \text{ et } \beta = 0.0024 \text{ s}^2/m$$

✚ \dot{Q} Le débit de la pompe

✚ L, d longueur, et diamètre de la conduite

✚ H_{asp} Hauteur d'aspiration de la pompe.

✚ ΔZ Différences des altitudes entre la pompe et le réservoir.

✚ ΔZ^{cr} Une correction qui dépend du régime d'écoulement,

Laminaire $\Delta Z^{cr} = 1.4$ à 1.6 . Turbulent $\Delta Z^{cr} = 1$ à 1.05 .

IV.8 Étude du serpentín :

Le but de notre calcul est de déterminer la surface d'échange de cet échangeur (réchauffeur), ainsi que la quantité de chaleur horaire à fournir au produit, comme le serpentín est placé au fond du réservoir nous allons écrire l'équation du flux de chaleur échangé entre celui-ci et le produit stocké, à l'aide d'un certain coefficient d'échange global K_{sep} .

$$\dot{Q} = K_{sep} S_{sep} \Delta T_{DLMT} \dots \dots \dots IV.41$$

✚ K_{sep} : Coefficient global de transmission de la chaleur huile/ produit ou vapeur d'eau/produit selon l'utilisation du caloporteur.

✚ \dot{Q} : Le flux de chaleur échangé entre le caloporteur et le produit stocké.

✚ S_{sep} : La surface d'échange entre le serpentín et le produit stocké.

✚ ΔT_{DLMT} : La différence moyenne logarithmique des températures caloporteur/produit.

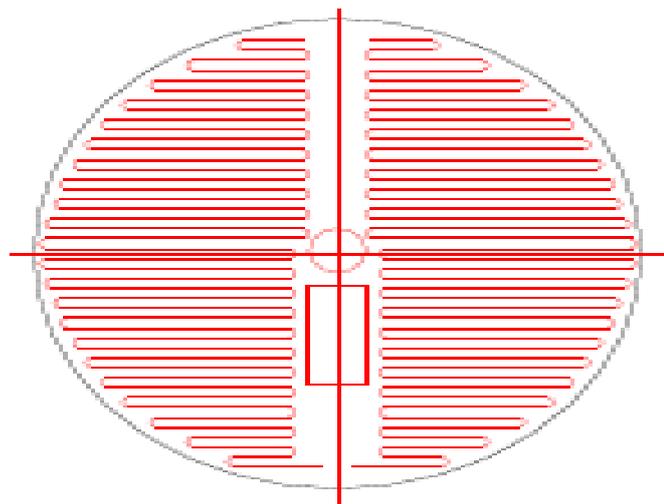


Figure 33 :forme du serpentín à l'intérieur du réservoir

IV.9 Détermination de K_{sep} :

Étant donné que le serpentin est plongé au fond du réservoir, fait que sa surface extérieure échange une quantité de chaleur avec ce milieu fluide, cet échange est caractérisé par la convection naturelle (à l'intérieur du réservoir), alors qu'à l'intérieur du serpentin l'échange avec la paroi intérieure est considéré forcé, reste que l'échange conductible entre les deux parois du serpentin est négligeable vu que l'épaisseur de la paroi est très petite.

L'écriture de la relation du coefficient global est donnée par la relation IV.42 avec quelque modification :

$$K_{sep} \cdot S_{sepm} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{sepin} S_{sepin}} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i S_{sepin}} + \frac{1}{\alpha_{sepex} S_{sepex}}} \dots IV.42$$

Si l'épaisseur est négligeable ;

$$K_{sep} \cdot S_{sepin} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{sepin} S_{sepin}} + \frac{1}{\alpha_{sepex} S_{sepex}}} \dots IV.42$$

- ✚ α_{sepin} ; Coefficient interne de transmission de chaleur du fluide caloporteur avec la paroi interne par convection forcée pour le serpentin.
- ✚ α_{sepex} ; Coefficient externe de transmission de chaleur du produit avec la paroi externe par convection naturel serpentin/produit

Remarque :

Sachant qu'expérimentalement, et théoriquement le coefficient α_{sepin} à une très grande valeur par rapport à α_{sepex} de l'ordre de 1000 à 3000 Kcal/m²h nous pourrions réduire encore le coefficient global à α_{sepex} .

$$\alpha_{sepin} = 0.53 \frac{\lambda_{produit}}{d_{ex}} [GrPr]_{sep\ moy}^{0.25} \dots IV.43$$

- ✚ d_{in}, d_{ex} Diamètre interne et externe du conduit serpentin.
- ✚ (*indice sep moy*) température moyenne coté serpentin.

Le nombre de Grashof :

$$Gr_{\text{rec moy}} = \left[\frac{d_{\text{ex}}^3 \cdot g \cdot \beta_{\text{produit}} \cdot \rho_{\text{produit}}^2 [T_{\text{sep}} - \bar{T}_{\text{produit}}]}{\mu_{\text{produit}}^2} \right]_{\text{sep}} \dots\dots\dots \text{IV.44}$$

Le nombre de Prandtl :

$$Pr_{\text{sep}} = \frac{\mu_{\text{sep}} \cdot C_p}{\lambda_{\text{sep}}} \dots\dots\dots \text{IV.45}$$

La température moyenne du serpentin :

$$T_{\text{sep}} = \frac{T_{\text{sep max}} + T_{\text{sep min}} + \bar{T}_{\text{produit}}}{3} \dots\dots\dots \text{IV.46}$$

✚ \bar{T}_{produit} Elle a été calculée en relation *20* et *21*

Pour la différence de température que nous appelons charge de température nous donnons deux conditions de calcul d'après MR DOUCHINE à INH livres tome 4 :

$$\rightarrow \text{Si } \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} > 2.0 \text{ implique ; } \Delta T = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}} \dots\dots \text{IV.47}$$

$$\rightarrow \text{Si } \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \leq 2.0 \text{ dans ce cas ; } \Delta T = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{2} \dots\dots \text{IV.48}$$

✚ ΔT_1 Différence de température entre l'entrée du fluide caloporteur dans le serpentin et la température du produit stocké entrée serpentin toujours.

✚ ΔT_2 Différence de température entre la sortie du fluide caloporteur dans le serpentin et la température du produit stocké sortie serpentin toujours.

Dans la pratique en générale la température de l'entrée est sortie serpentin son mesurable donc donnée.

Après avoir donné les formules du flux échangé par le coefficient d'échange global et la température moyenne logarithmique, passant à l'autre définition du même flux.

IV.10 Détermination du flux :

L'étude de transfert thermique a montré que le flux de chaleur au sein du même milieu est conservatif, ainsi la quantité de chaleur émise par le réchauffeur sera égale à la de chaleur transportée

dans le produit plus celle dissipée à l'ambiance, sans oublier dans notre cas de changement emmagasinée pour faire fondre le bitume ou partie cristallisé.

$$\dot{\Phi} = \dot{\Phi}_{\text{transmis}} + \dot{\Phi}_{\text{dissipé}} + \dot{\Phi}_{\text{latente}} \dots\dots\dots \text{IV.49}$$

IV.11 Quantité de chaleur requise :

C'est la quantité de chaleur nécessaire au produit pour le faire passer de la température T_{initial} à T_{Finale} défini par :

$$\dot{\Phi}_{\text{transmis}} = \dot{m}_{\text{produit}} C_p [T_{\text{Finale}} - T_{\text{Initiale}}] \dots\dots\dots \text{IV.50}$$

IV.12 Quantité de chaleur dissipée :

Puisque le réservoir de stockage des produits est en contact avec le milieu ambiant, le rend susceptible aux déperditions thermique (perte de thermique) par ses parois exposées, alors la quantité de chaleur s'écrit :

$$\dot{\Phi}_{\text{dissipé}} = K_g S_{\text{tot exposé}} [\bar{T}_{\text{produit}} - T_a] t \dots\dots\dots \text{IV.51}$$

K_g ; T_a ; \bar{T}_{produit} : Déjà déterminer par les relations (*7*, *4*, *21*).

IV.13 Quantité de chaleur latente :

Cette quantité est nécessaire à la partie de paraffine cristallisée, pour la faire fondre ou la rendre plus môle.

$$\dot{\Phi}_{\text{latente}} = m. \vartheta. t \dots\dots\dots \text{IV.52}$$

ϑ ; Chaleur latente du produit stocké.

m ; La masse du produit gelé ou cristallisé elle est déterminée expérimentalement.

Lorsque tous les calculs sont faits, nous accédons au calcul de la surface du réchauffeur (échangeur de chaleur soit en serpentin ou en bloc de tube en branche) par la relation *39* ;

$$S_{\text{sep}} = \frac{\phi}{K_g \cdot \Delta T_{\text{DLMT}}} \dots\dots\dots \text{IV.53}$$

☛ Si l'échangeur est du type serpentin on définit la longueur par

$$L_{\text{sep}} = \frac{S_{\text{sep}}}{\pi d_{\text{ex}}} \dots\dots\dots \text{IV.54}$$

☛ Si l'échangeur réchauffeur est du type à branche le nombre de tube ;

$$N_{\text{tub}} = \frac{S_{\text{sep}}}{\pi L_{\text{tub}} d_{\text{tub}}} \dots\dots\dots \text{IV.55}$$

IV.14 Données :

Réservoirs			
Diamètre en m	20,61		
Hauteur en m	14		
Hauteur produit en m	11,9	Pourcentage	85%
Pouvoir Émissif (epsilon)	0,92		
Épaisseur de la paroi du réservoir	10	mm	
Coefficient conductivité	34	kcal/m.h.c	Acier au carbone

Tableau 12 :Données

Quantite de la chaleur Perdue :

Perdue

Temp. Produit en °c	170
Densité à 20°C en kg/m ³	1100
Viscosité à t1 en CSt	480
Viscosité à t2 en CSt	180
t1 en °c	130
t2 en °c	150
Coeff. dilat. Vol. 1/°c	0,0006
Coeff. conduct. Kcal/m.h.°c	0,23
Chaleur Spec. Cv en kcal/kg.°c	0,45 Cp0,45

Tableau 13 :Quantite de la chaleur Perdue

Cond. Ambiantes :

temp.air en °c	10
Vitesse du vent en m/s	10
Coeff. conduct-air Kcal/m.h.°c	0,025
Chaleur Spec-air en kcal/kg.°c	0,23
Viscosité air en Cst	14
Température du Sol	5
Lambda Sol	1,5
Épaisseur du Sol	0,7

Tableau 14 :Donnes de Cond. Ambiantes

Quantité La Chaudière

2052974,08	kcal/h
8581431,65	Kj/h
2668866,3	Kcal/h
11155861,2	Kj/h

Tableau 15 :Quantite de la chaudière

Puissance de la chaudière :

Q(Kcal/h)	1992713,5	Q(24heures) 47825124,9
Température	144,3390467	
V Bitume	3970,021204	
Masse	4141625,37	

Tableau 16 :Puissance de la chaudière

IV.15 Résultat :

:

Tv initiale en °c	124	124,2	90
Alpha-1r en kcal/m2.h.°c	54,41		
Alpha-2r en kcal/m2.h.°c	14,56		
Alpha-3r en kcal/m2.h.°c	7,39		
Kr (moyen)	15,570		
Alpha-1t	11,49		
Ktoit	0,999		
Alpha Sol	6,900		
Ksol	0,114929141		
Kglobal	7,32		

Résultat 17: Tableau

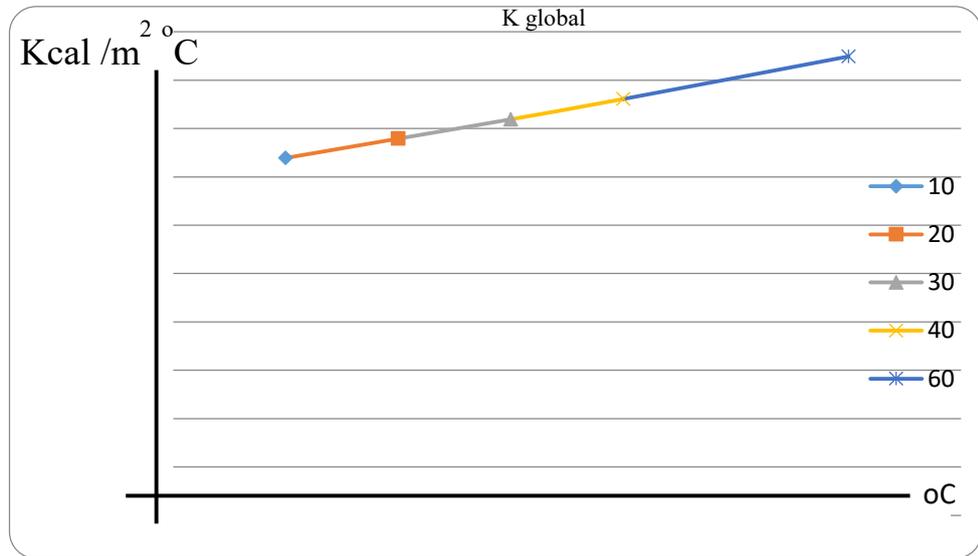


Figure 34: Courbe du coefficient d'échange global pondéré en fonction de la température ambiante

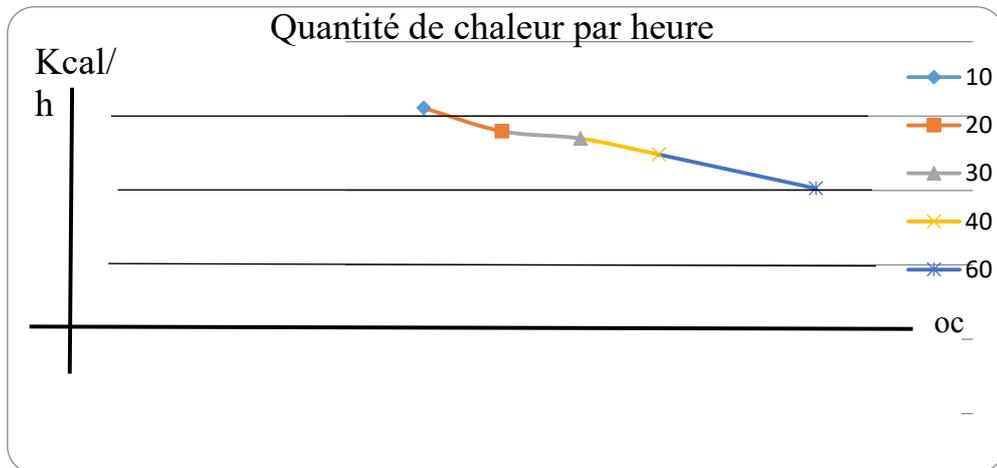


Figure35 : Courbe de la quantité de chaleur perdu en fonction de la température ambiante

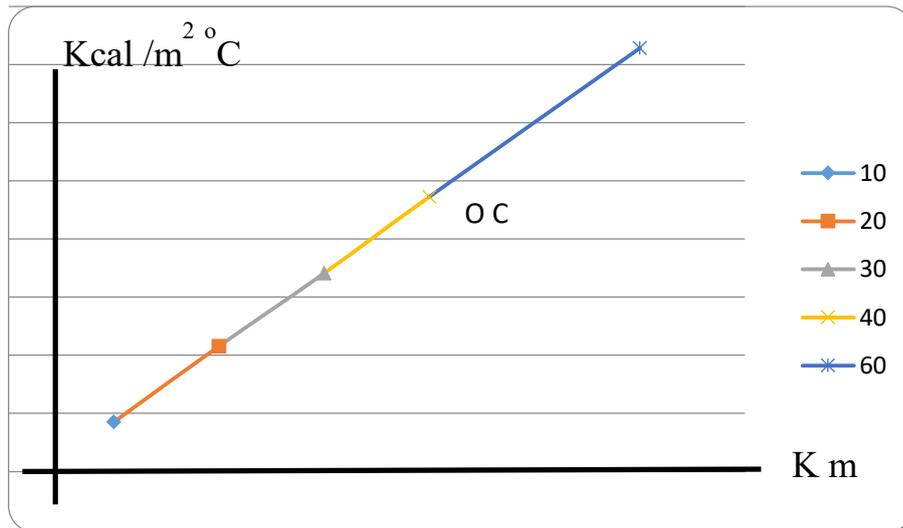


Figure 36 : Courbe du coefficient d'échange moyen robe mouillée en fonction de la température

Conclusion Générale

Conclusion générale :

L'objectif de ce travail est, d'analyser et pratiquer les différentes, options, tâches et techniques de maintenance sur les chaudières, et utiliser la méthode AMDEC pour analyser les différents modes de défaillances et ces criticités et ces effets, et aussi de déterminer la puissance des chaudières pour le maintien de température des réservoirs à produit pétrolier. à savoir n'importe quel réservoir vertical car suite au modèle de calcul EXCEL réservoir, nous avons uniquement considéré cette contrainte, mais ce qui est original c'est la flexibilité des calculs pour un produit au choix stocké à la pression atmosphérique, dont nous connaissons ses propriétés, cependant le calcul de la puissance de vient simple et facile car il suffirait juste d'injecter les données avec soin pour ne pas se tromper dans les cases, pour voir les coefficients d'échanges de tous les parois s'affichés, ainsi que les pertes par déperdition, et puissance de la chaudière estimée à 30% de la puissance trouvée.

Donnant accès à d'autres utilisateurs ce modèle fait gagner du temps à l'entreprise avec des précisions de l'ordre de fiabilité des données injectées. De même pour le calcul de la surface du serpentin pour maintenir la température, aussi sa longueur, d'une telle manière que le choix de l'échangeur pourra se faire selon l'encombrement des installations judicieusement.

Bibliographie

[1] Moussa. R, Mémoire de master en énergie et génie des procédés industriels. « Amélioration du fonctionnement par une revue de l'exploitation des chaudières de la SN-SOSUCO » Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, Burkina Faso, juin 2012 .

[2] Etude techno-économique du remplacement des chaudières de procédé au complexe GL1/Z.ARZEW

[3] JEAN HENG 'Pratique de la maintenance préventive' 4^e édition, DUNOD, 2002, 2005, 2011,2017.

[4] MalloulSmail, MengchicheZahir, étude thermodynamique et maintenance préventive d'une turbine à gaz MS5002c, université UMMTO.

[5] AMIRA Messaoud, BOULECHEFAR Aissam, 'Optimisation et amélioration de la Maintenance par la fiabilité Cas d'une turbine d'une centrale électrique, mémoire de fin d'étude, université Mohammed Seddik Ben Yahia – Jijel.

[6] P. Stouffs, SHavery, 'Thermodynamique Appliquée : Cycles Thermodynamiques Moteurs 2000/2001, cours données dans le cadre de l'école doctorale EDDED 2007/2008

[7] JEAN HENG 'Pratique de la maintenance préventive' 4^e édition, DUNOD, 2002, 2005 2011,2017.

[8] HerzallahFayssal,' Etude Energétique et Maintenance d'une Turbine à gaz LM2500, mémoire de fin d'étude, Université de Biskra

[9] Mahfoud Brahim 2017 « analyse de la fonction maintenance à l'unités – siderannaba » mémoire présente en vue de l'obtention du diplôme de master université Badji Mokhtar Annaba

[10] https://www.m-habitat.fr/chaudieres/achat-entretien-et-depannage/chaudiere-en-panne-que-faire-151_A

Boiler_Operation_Maintenance_and_Safety_Study_Guide_for_MTAA_Boiler_Operator_Trainee_Certification_SGBO001_306

[11] benahmed.A «Four et chaudière dans l'industrie pétrolière » Lap école de Skikda, 2013

[12] Ben Ahmed, A. Touiker, M. « Fours et chaudières dans l'industrie pétrolière » Séminaire, IAP école de Skikda, 2013. »Séminaire.