

Introduction	6
I/ La centrale thermique vapeur CIII du CAP des BICHES	8
I-1/ Présentation	9
I-2/ Principe de fonctionnement	11
I-2-1/ Circuit mono hydrique d'une tranche	11
I-2-2/ Circuit eau de refroidissement (eau de mer)	13
I-2-3/ Circuit Fuel	15
I-2-4/ Circuit comburant (air)-gaz de combustion	16
II/ Le générateur de vapeur (La chaudière)	18
II-1/ Constitution de la chaudière	19
II-2/ Le Fonctionnement de la chaudière	21
II-3/ Les transferts thermiques	23
II-3-1/ Cas d'un tube vaporisateur	24
II-3-1-1/ Rayonnement dans la chambre	25
II-3-1-2/ Conduction dans la paroi	26
II-3-1-3/ Convection dans le liquide caloporteur (l'eau)	26
II-3-1-4/ Détermination de la Résistance thermique	27
II-3-1-5/ Coefficient global de transfert	28
II-3-1-6/ Application : Représentation de la variation de la température dans la paroi du tube vaporisateur	28
II-3-2/ Généralisation	30
II-4/ Méthodes de calcul de rendement de la chaudière	31
II-4-1/ Rendement sur PCI	31
II-4-2 / Rendement sur PCS	31
Conclusion	32
Bibliographie	34
Webographie	35
Annexe	36

Nomenclature

Acronymes :

PCI : Pouvoir Calorifique Inferieur (**9700 kcal.kg⁻¹**)

PCS : Pouvoir Calorifique Supérieur (**10845 kcal.kg⁻¹**)

SENELEC : Société Nationale d'Electricité du Sénégal

Lettres latines :

\vec{dS} : Vecteur surface élémentaire (**m²**)

H : Hauteur de tube vaporisateur (**8 m**)

h : Coefficient d'échange convective du mélange d'eau et de vapeur (**W. m⁻². K⁻¹**)

K_e : Coefficient global de transfert (**W. m⁻². K⁻¹**)

k : Conductivité thermique de la paroi du tube vaporisateur (nuance d'acier 15Mo3) : (**W. m⁻¹. K⁻¹**)

M : Débit de fuel (**kg.h⁻¹**)

M_v : Débit de vaporisation (**kg.h⁻¹**)

N : Nombre de tubes vaporisateurs

Q_c : Puissance cédée à l'eau (**kcal.h⁻¹**)

Q_{PCI} : Puissance calorifique en PCI produite par la combustion du fuel (**kcal.h⁻¹**)

Q_{PCS} : Puissance calorifique en PCS produite par la combustion du fuel (**kcal.h⁻¹**)

R_{cond} : Résistance thermique par conduction (**K. W⁻¹**)

R_{conv} : Résistance thermique par convection (**K. W⁻¹**)

R_{ext} : Rayon extérieur du tube vaporisateur (**28,5. 10⁻³ m**)

R_{int} : Rayon intérieur du tube vaporisateur (**26,25. 10⁻³ m**)

R_{ray} : Résistance thermique par rayonnement (**K. W⁻¹**)

R_T : Résistance thermique totale (**K. W⁻¹**)

R_{th} : Résistance thermique pour un tube vaporisateur (**K. W⁻¹**)

S : Surface de chauffe de l'ensemble des tubes vaporisateurs (**m²**)

S_{ext} : Surface d'échange du tube vaporisateur à l'extérieur (**m²**)

S_i : Surface totale intérieure de l'ensemble des tubes vaporisateurs (**m²**)

S_{int} : Surface d'échange du tube vaporisateur à l'intérieur (**m²**)

T_f : Température des flammes (**1300°C**)

T_p : Température de la paroi côté des flammes (**°C**)

T_{pint} : Température de la paroi à l'intérieur : côté eau (°C)

T_{sat} : Température de saturation du mélange d'eau et de vapeur (295°C)

Symboles grecs :

ΔH : Enthalpie massique de vaporisation à pression constante du fluide caloporteur (kcal.kg⁻¹)

ϵ : Emissivité de la paroi du tube vaporisateur

η : Rendement de la chaudière

$\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W. K}^{-4} . \text{ m}^{-2}$: Constante de Stefan Boltzmann

$\vec{\varphi}$: Vecteur densité de flux thermique (W.m⁻²)

Φ : Puissance thermique ou flux thermique total (W)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les principales caractéristiques de chaque tranche 10

Tableau 2 : Répartition des services 10

Tableau 3: Variation de la température en fonction du rayon du tube vaporisateur 28

Liste des figures

Fig. 1 : Circuit mono hydrique d'une tranche 11

Fig. 2 : Circuit eau de refroidissement 13

Fig. 3 : Circuit Fuel 15

Fig. 4 : Circuit comburant (air)-gaz de combustion 16

Fig. 5 : Coupe verticale, Constitution de la chaudière 19

Fig. 6 : Schéma de fonctionnement de la chaudière 21

Fig. 7 : Représentation simplifiée de la flamme et d'un tube vaporisateur 24

Fig. 8 : Coupe vertical d'un tube vaporisateur 24

Fig. 9 : Représentation de la variation de la température en fonction du rayon du tube vaporisateur au niveau de la paroi 29

Fig. 10 : Coupe horizontale (compartiments de la chaudière) 36

Fig. 11 : Variation de la température pour un tube vaporisateur de la chambre de rayonnement au liquide caloporteur 37

Fig. 12 : Représentation simplifiée des flammes et de tubes jointifs 37

INTRODUCTION

L'humanité a toujours été à la recherche de la production d'énergie électrique pour s'éclairer, travailler ou faire fonctionner ses machines. Cette énergie est produite, en grande quantité, dans des usines appelées centrales électriques. Elles transforment l'énergie primaire (c'est-à-dire l'énergie contenue dans une chute d'eau, un tas de charbon, un réservoir de pétrole, un réservoir de fuel...) en énergie électrique.

Une centrale thermique vapeur utilise de la vapeur vive, produite dans la chaudière, comme force motrice qui fait tourner l'arbre de la turbine, lequel entraîne un rotor.

L'énergie mécanique produite par la turbine est transformée en énergie électrique grâce à l'alternateur.

La chaudière, parmi les parties primordiales de la centrale thermique vapeur, peut être définie comme étant l'appareil permettant de transférer en continu de l'énergie thermique à un fluide caloporteur (l'eau).

L'énergie thermique transférée est la chaleur dégagée par la combustion du fuel (ou fioul).

Le fluide caloporteur est chauffé, vaporisé et surchauffé dans la chaudière.

Elle est tout simplement un générateur de vapeur d'eau utilisée à des fins de rotation de la turbine.

Le fait de brûler du fuel et d'obtenir de l'énergie électrique constitue une énigme. Pour expliquer ce problème, on se propose d'étudier les échangeurs thermiques au niveau de la centrale thermique vapeur C III du CAP DES BICHES et particulièrement une application sur les transferts thermiques et thermodynamiques dans une des chaudières.

Cette étude permet de rapprocher la théorie (enseignements suivis) à la pratique (sur le terrain): c'est-à-dire expliquer les processus du transfert de chaleur au fluide caloporteur et modéliser la loi de variation des températures des flammes jusqu'au mélange eau vapeur.

Pour cela, une première étude sera menée pour répondre aux questions : Qu'est-ce que la centrale thermique vapeur C III du CAP DES BICHES et comment fonctionne-t-elle?

Ensuite quelle est la constitution du générateur de vapeur communément appelé chaudière ?

Quelles sont les différentes étapes de la production de vapeur vive ?

Et enfin comment peut-on calculer le rendement de la chaudière ?

I /

**La centrale thermique
vapeur CIII du CAP des
BICHES**

I-1 / Présentation

Au Sénégal la distribution d'électricité est assurée par la SENELEC (La Société Nationale d'Electricité du Sénégal) qui fait partie du réseau interconnecté de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal (OMVS) regroupant le Mali, la Mauritanie et le Sénégal.

La production de la SENELEC est assurée par de nombreuses centrales à travers le pays.

Dans le département de Rufisque (région de Dakar), au niveau du CAP des BICHES, la SENELEC dispose d'une centrale thermique vapeur appelée C III dont la production représente 45 à 50 % de l'énergie livrée au réseau interconnecté. On y dispose de trois groupes vapeur et de trois turbines à gaz.

La fréquence de consigne est fixée à 50 hertz avec des variations tolérées de $\pm 5\%$. Cinq à dix pourcents de l'énergie livrée par la C III sont produits par les turbines à Gaz au sein de la centrale. La plus grande partie de l'énergie est donc produite par les turbines à vapeur qui sont les plus puissantes du parc de production de la SENELEC.

Le premier groupe mis en service est le groupe vapeur 301. Il a une puissance nominale installée de 27,5 MW. Les deux autres groupes vapeur dénommés "302" et "303" sont identiques et ont chacun une puissance nominale installée de 30 MW ce qui fait une puissance nominale de 87,5 MW pour les trois groupes vapeurs.

Cependant la centrale traverse depuis plusieurs années des contraintes entraînant une réduction de sa puissance.

La centrale C III produit environ 50% de la puissance du réseau national auquel elle est connectée. Ce qui signifie qu'elle joue un rôle important quant à sa stabilité.

Chaque tranche est composée d'une chaudière, d'un groupe turboalternateur, d'un poste d'eau, de transformateurs et d'auxiliaires (pompes alimentaires, pompes d'extraction et compresseurs) permettant la production d'énergie électrique.

Les principales caractéristiques de chaque tranche sont données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Les principales caractéristiques de chaque tranche

	TRANCHE 301	TRANCHE 302	TRANCHE 303
Puissance nominale	27,5 MW	30 MW	30 MW
Année de mise en service	1966	1975	1978
Puissance assignée en 2011	20 MW	12 MW	20 MW
Date dernière révision générale	16 février 2001	Septembre 1996	17 novembre 1995

D'après A. KANE

Les unités utilisent le fuel lourd comme combustible avec un PCI (pouvoir calorifique inférieur) de 9700 kcal/kg et une Cs (consommation spécifique) de 300 g/kWh dans les conditions normales et optimales de production. Le système de régulation est du type pneumatique. Les alternateurs génèrent des tensions de 12,5 kV qui sont par suite élevées à 90kV par des transformateurs élévateurs alimentant le poste 90kV raccordé au réseau interconnecté du Sénégal.

La centrale C III, sous la direction d'un Chef de département, est composée de deux services avec un effectif de 122 agents réparti dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Répartition des services

Service Exploitation	Service Maintenance
Unité de contrôle technique	Unité exécution
Unité de conduite vapeur	Unité préparatoire
Unité de conduite TAG	Cellule gestion des stocks
Unité d'entretien	

D'après A. KANE

Ces différents équipements mettront en exergue les capacités de production et les difficultés à gérer une telle unité de production d'énergie électrique.

Pour le bon déroulement des travaux de ces unités, un organigramme conventionnel bien libellé a été confectionné par les autorités de la centrale.

I-2/ Principe de fonctionnement

L'ensemble des circuits mentionnés ci-dessous constitue le principe de fonctionnement de la centrale. Pour démarrer la production d'énergie de chaque tranche, il faut veiller à ce que l'ensemble des circuits soit opérationnel.

I-2-1/ Circuit mono hydrique d'une tranche

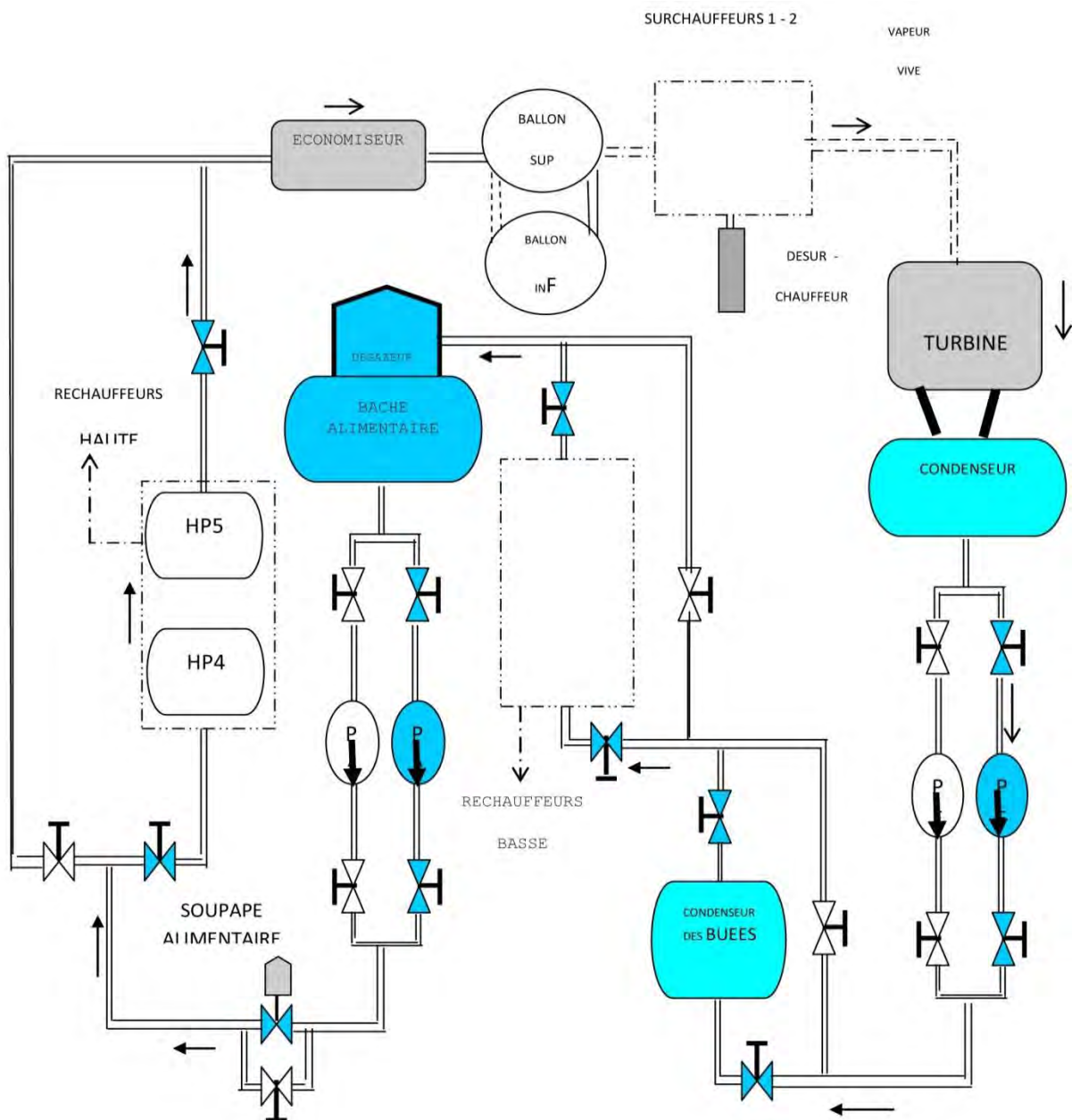


Fig. 1 : Circuit mono hydrique d'une tranche. D'après A. KANE

Le cycle monohydrique est un circuit fermé. Le bas du condenseur appelé puits du condenseur est le début et la fin du circuit. En commençant par ce condenseur principal, la pompe d'extraction extrait l'eau (environ 40°C) à partir du puits du condenseur et l'envoie dans la bache alimentaire en passant par le condenseur des Buées et les réchauffeurs BP1, BP2.

Ce condenseur récupère les buées venant des boites d'étanche de la turbine (c'est-à-dire la vapeur des boites d'étanche qui a travaillé comme vapeur de barrage pour empêcher l'air d'entrer dans les paliers de la turbine) et leurs calories sont cédées à l'eau d'extraction. Le condenseur des buées relève d'un ou de deux degrés au moins la température de l'eau.

Par un collecteur l'eau passe aux réchauffeurs basse pression (BP1, BP2 : soutirage à la zone de basse pression de la turbine), la température de cette eau s'accroît puis elle entre dans un ballon appelé dégazeur. A l'intérieur du dégazeur, on pulvérise l'eau sur des plaques chaudes et les incondensables tels que O_2 se vaporisent. L'eau chaude réchauffe la bache alimentaire : le dégazage est de type physique.

Dans la bache alimentaire on utilise l'hydrazine (N_2H_4) pour assurer le dégazage chimique en inhibant l'action de l'oxygène. Dans la bache alimentaire il y a un échange par mélange (eau-vapeur).

Passant par un collecteur d'aspiration, la pompe alimentaire aspire l'eau et l'envoie à la chaudière en passant par la soupape alimentaire, par les réchauffeurs HP4, HP5 et par l'économiseur. La soupape alimentaire régule le débit d'eau en fonction du débit de vapeur qui sort au ballon supérieur.

Toujours par un collecteur, la pompe alimente les réchauffeurs haute pression (HP4, HP5 : soutirage à la zone de haute pression de la turbine), l'eau y sort à la même pression mais avec une augmentation de sa température et entre dans l'économiseur puis aux ballons.

Dans l'économiseur, contrairement aux réchauffeurs la température des gaz de combustion venant de la chambre de combustion se charge d'élever celle de l'eau par échange de surface. L'économiseur à son tour alimente le ballon supérieur.

Dans le ballon supérieur le niveau d'eau est limité de sorte que la partie supérieure est réservée à la vapeur. Le ballon inférieur quant à lui est toujours rempli d'eau. Les tubes d'écran seront réchauffés et à chaque molécule d'eau transformée en vapeur il y'a une autre

molécule d'eau qui la remplace à travers les tubes descende. C'est pourquoi dans cette zone on parle de vapeur saturée.

La vapeur saturée obtenue passe dans les surchauffeurs (primaires et secondaires) et entre les deux il y'a un désurchauffeur. Les surchauffeurs augmentent la température de la vapeur venant du ballon supérieur par échange de surface avec les gaz de combustion. Si la température de la vapeur sortant du surchauffeur primaire dépasse les 500°C alors le désurchauffeur intervient pour la stabiliser (par injection d'eau alimentaire).

Cette vapeur vive surchauffée sèche fera tourner la turbine avec une pression vapeur de 66 bars en 3000 tr/ mn ce qui correspondrait à la fréquence de 50 Hz. Le mouvement de la turbine entraine l'alternateur qui va générer une tension électrique.

Après avoir fait tourner la turbine, la vapeur d'eau arrive de nouveau dans le condenseur principal via la manchette de raccordement et sera condensée après l'échange thermique avec la source d'eau froide (eau de mer).

I-2-2/ Circuit eau de refroidissement (eau de mer)

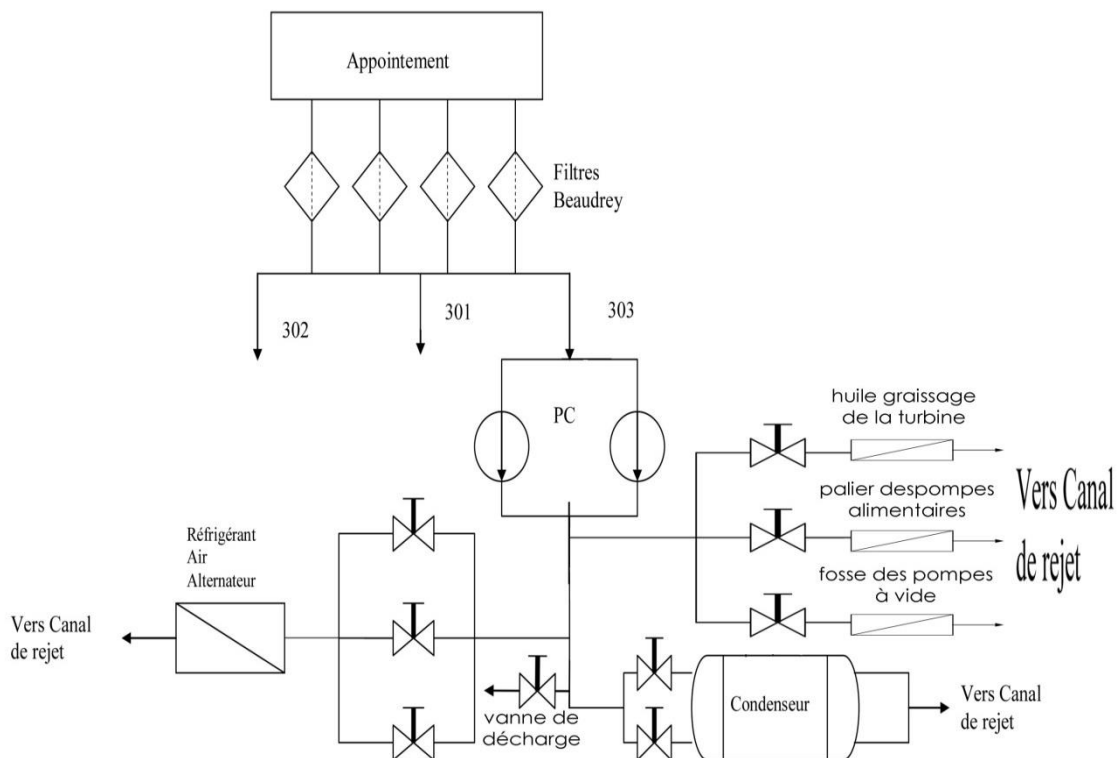


Fig. 2 : Circuit eau de refroidissement. D'après BABCOCK

Un nombre de huit pompes élévatrices est installé à l'entrée du chenal d'amenée qui prend son origine dans la mer. Ces pompes munies de grillages lourds aspirent l'eau du chenal et une partie des algues est retenue sur ces grillages.

L'eau filtrée arrive par le canal dans un filtre Beaudrey (appelé tambour filtrant, c'est un cylindre creux), qui retient le reste des algues et d'autres déchets contenus dans l'eau de mer.

A l'entrée de la centrale pour chaque pompe à circulation, toujours implantée dans le canal, un filtre à aspiration lui est relié pour éviter que des débris ne passent au grand collecteur en ciment (collecteur BONA) et ce dernier se chargera d'alimentation du condenseur principal, de l'alternateur à travers un système réfrigérant.

Cette eau de mer servira aussi à refroidir l'huile de graissage de la turbine, l'eau brute qui refroidit les paliers des pompes alimentaires, les compresseurs et l'alimentation des fosses des pompes à vide à l'aide d'autres collecteurs munis de pompes branchés au grand collecteur.

De façon globale l'eau de refroidissement sert à alimenter les échangeurs de chaleur et pompes à circulation renseignent sur le taux d'encrassement du condenseur.

Au niveau du condenseur, l'eau de mer arrive par deux entrées situées au bas, à l'intérieur elle circule dans des tubes. Il y'a un échange par surface. Par deux sorties situées en haut du condenseur, l'eau est reversée dans le canal de rejet qui la conduit jusqu'à la mer.

On peut remarquer qu'en cas de marée basse, le niveau d'eau peut baisser considérablement. Pour compléter ce manque, on fait recours au batardeau de recyclage en le soulevant un peu tout en évitant un excès d'eau. Sa nouvelle température est différente de celle de l'eau provenant du collecteur BONA parce qu'ayant déjà échangé avec la vapeur dans le condenseur.

Il y'a également la vanne de décharge du condenseur qui a pour rôle d'isoler une des deux entrées du condenseur en cas de besoin de nettoyage. Il suffit de manœuvrer pour décharger le collecteur BONA.

En mesurant les températures d'entrée et de sortie de l'eau du condenseur la variation tolérée doit être à l'ordre de 7°C pour éviter la pollution de la mer.

I-2-3/ Circuit Fuel

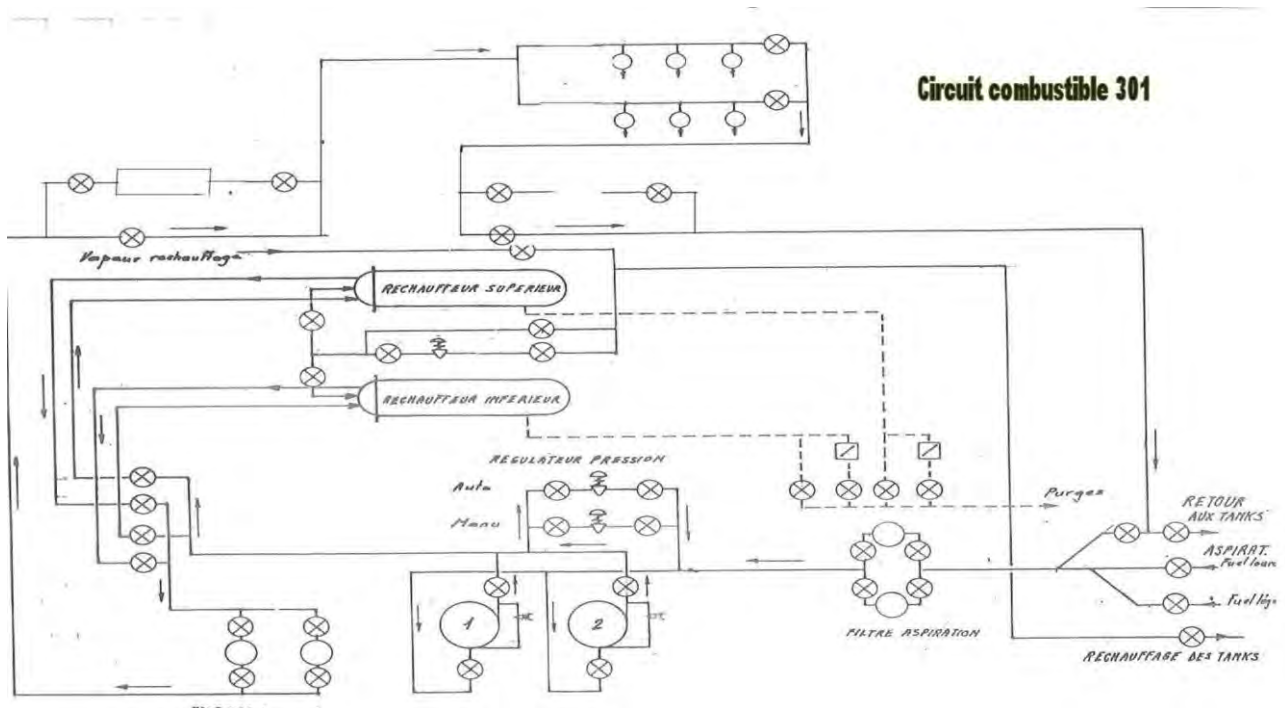


Fig. 3 : Circuit Fuel. D'après BABCOCK

Le fuel lourd (très grande viscosité) est stocké dans des réservoirs (tanks) de $2000m^3$. Ces tanks sont reliés entre eux par des collecteurs d'aspiration des pompes.

Le remplissage des tanks en fuel de même que son transfèrement vers la centrale sont assurés par des collecteurs. Ces derniers sont assistés par un système de chauffage venant de la centrale pour diminuer la viscosité du fuel facilitant son transport.

Il existe deux types de chauffage :

- Chauffage de masse c'est-à-dire à l'intérieur des tanks il y'a des serpentins, à travers lesquels traverse de la vapeur venant du ballon supérieur, qui chauffe leur contenu.
- Chauffage de bouche c'est-à-dire lors du transfert, le fuel est chauffé à la sortie.

Les collecteurs transportent vers la centrale le fuel dont la pression dépend du niveau de remplissage du Tank.

Les pompes aspirent le fuel qui passe par des filtres à froid avec une température variant entre $45^{\circ}C$ et $50^{\circ}C$. Les filtres à froid assurent le rôle de protection de la pompe en extrant certaines impuretés contenues dans le fuel. Après ces filtres à froid, le fluide passe à la pompe à fuel

qui a un double rôle d'aspiration et de refoulement. Leur pression dépend des caractéristiques du fuel.

La pompe à fuel envoie le fluide aux réchauffeurs mazout et sa température peut atteindre les valeurs comprises entre 100°C et 150°C. Le réchauffeur mazout est alimenté par le ballon supérieur en vapeur à travers un système qui diminue la pression à 12 bars environ. Le fuel y sort alors avec une température beaucoup plus élevée ; sa viscosité est très réduite. Il entre encore dans des filtres, mais cette fois ci qui sont à chaud, ces derniers retiennent toujours le reste des impuretés échappant les premiers filtres. Le fuel arrive au poste de comptage qui indique son débit mais ce débit est réglé par une soupape pour maintenir la pression constante avant son entrée dans les brûleurs.

On peut noter aussi que les brûleurs sont assistés par un système de vapeur de pulvérisation. On allume une torche d'allumage qui envoie des étincelles pour activer la flamme à l'arrivée du fuel et la combustion s'amorce.

I-2-4/ Circuit comburant (air)-gaz de combustion

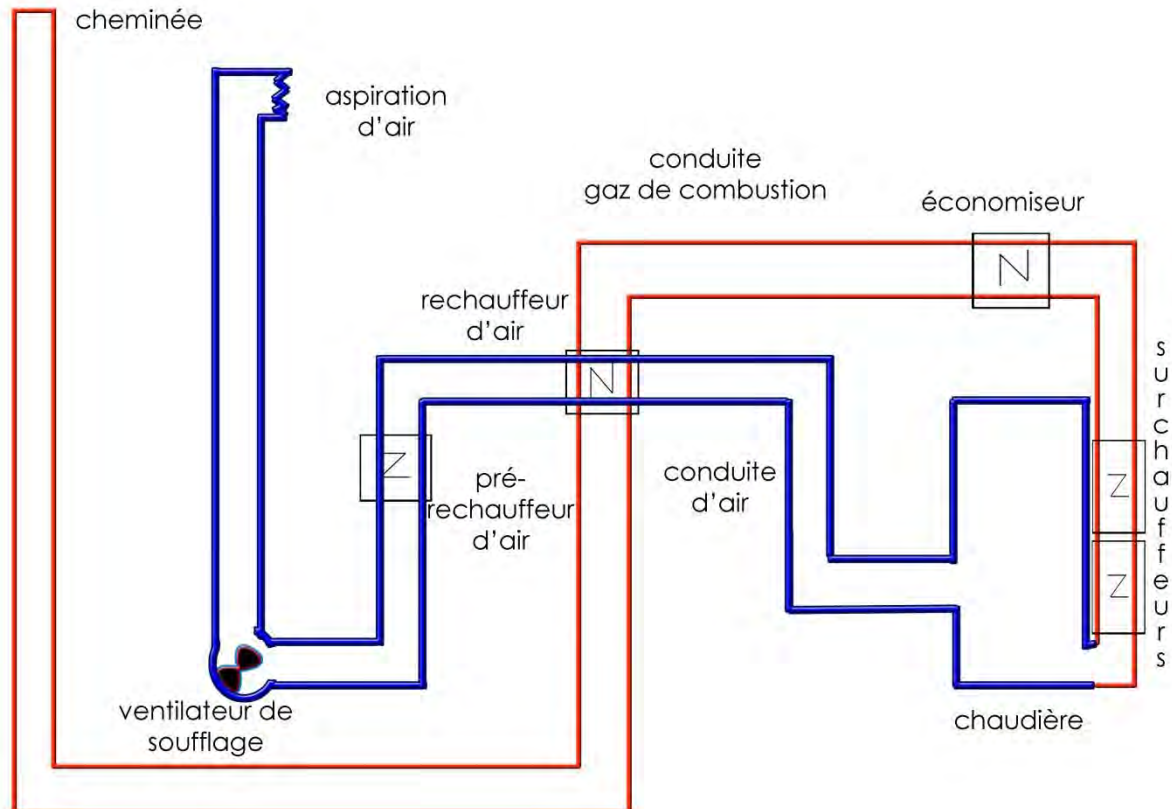


Fig. 4 : Circuit comburant (air)-gaz de combustion

Un système de ventilation d'air est implanté dans la centrale. Il est constitué d'un ventilateur d'air et de deux moteurs qui lui sont reliés de part et d'autre. Pour l'utiliser, on fait fonctionner le ventilateur par l'un des moteurs et l'autre servira de secours en cas de panne.

L'air aspiré par le ventilateur de soufflage passe par une conduite d'air, puis par le pré réchauffeur d'air. Dans ce pré réchauffeur d'air il y a un échange par surface entre l'air aspiré (humide) et la vapeur saturée.

Le passage de l'air dans le pré réchauffeur permet d'augmenter sa température, ce pré réchauffeur joue le rôle de protection du réchauffeur. Toujours par sa conduite, l'air arrive au réchauffeur dans lequel les gaz de combustion échangent avec l'air par surface. L'air passe dans le réchauffeur d'air et continue jusqu'à la chaudière (chambre de combustion) via les brûleurs par un système de virole. Comme le fuel, le débit d'air est global pour l'ensemble des six brûleurs.

Comme l'air est constitué de plusieurs gaz et que c'est l'oxygène qui assure la combustion, nous introduisons un excès d'air pour obtenir le pourcentage d'oxygène nécessaire mais en tenant compte du point de rosée des gaz de combustion (130°C).

Nous remarquons qu'une trappe mécanique s'ouvre en cas de forte pression dans la chambre de combustion. La température de la fumée soit au-dessus du point de rosée est moins dangereuse que celle-ci soit en dessous car au cas elle peut donner naissance aux deux phénomènes redoutés que sont la corrosion à basse température appelée corrosion sulfurique d'une part et la corrosion à haute température nommée la corrosion vanadique d'autre part.

Les gaz de combustion sont canalisés jusqu'à leur sortie à la cheminée. Après leur sortie de la chambre de rayonnement, ils suivent le circuit des fumées et cèdent successivement une partie de leur calorie par échanges surfaciques (convection) à la vapeur dans les surchauffeurs primaires et secondaires, à l'eau dans les tubes de descente et parois latérale, à l'eau d'alimentation dans l'économiseur et à l'air dans le réchauffeur d'air. Ils s'échappent en fin vers l'atmosphère par la cheminée.

Tous ces quatre circuits sont essentiels à la production de vapeur vive au niveau du générateur de vapeur communément appelé chaudière.

II /

Le générateur de vapeur (La chaudière)

II-1/ Constitution de la chaudière

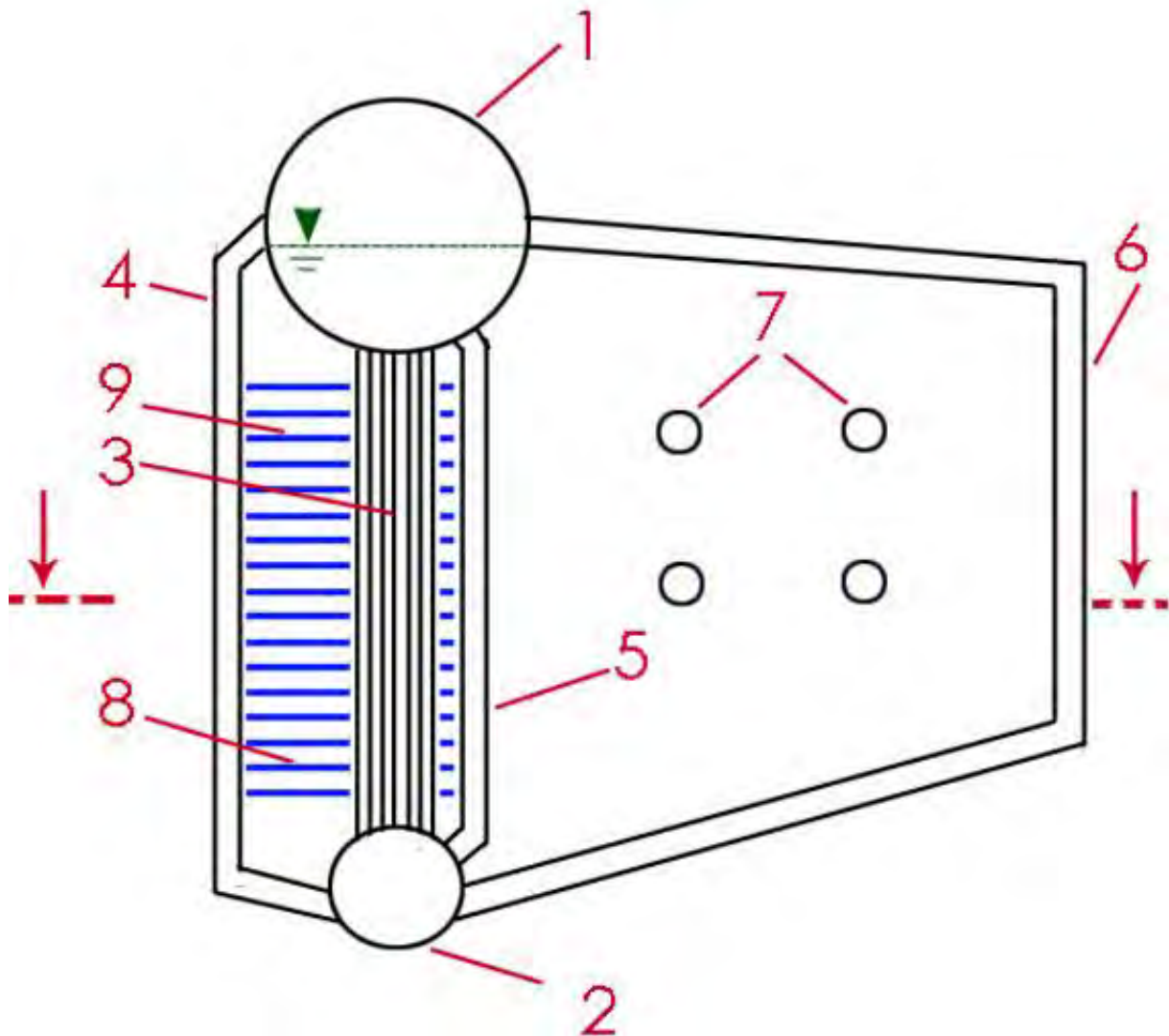


Fig. 5 : Coupe verticale, Constitution de la chaudière. D'après BABCOCK

Elle peut être divisée en deux compartiments (la chambre de rayonnement et le circuit des fumées) et est constituée de:

Ballon supérieur (1) : Il accueille l'eau d'alimentation venant de l'économiseur et il est muni de séparateurs vapeur – eau.

Ballon inférieur (2) : C'est un réservoir et un collecteur d'eau provenant du ballon supérieur.

Tubes de descente (3) : Ils assurent la descente d'eau alimentaire du ballon supérieur au ballon inférieur. Ils sont dans le circuit des fumées.

Paroi latérale gauche(4) : Elle lie aussi les ballons et elle constitue la limite du circuit des fumées.

Paroi de séparation (5) : Elle sépare la chambre de rayonnement du circuit des fumées.

Paroi de la chambre (6) : Elle est constituée des parois frontales, arrière, fond, sole et plafond et limite la chambre de rayonnement du côté droit.

Bruleurs (7) : Ils assurent la combustion du fuel : c'est-à-dire qu'ils fournissent les flammes nécessaires pour qu'il ait un mélange d'eau et de vapeur dans les tubes vaporisateurs.

Surchauffeur primaire (8) : Il surchauffe en premier la vapeur saturée venant directement du ballon supérieur. Il est situé dans les deux tiers inférieurs du circuit des fumées.

Surchauffeur secondaire (9) : Il est chargé de surchauffer de nouveau la vapeur sèche désurchauffée jusqu'à la température de vapeur vive (505°C). Il est situé dans le tiers supérieur du circuit des fumées.

La chambre de rayonnement est le siège des flammes et de la vaporisation.

Le circuit des fumées est le parcours suivi par les gaz de combustion après la chambre de rayonnement jusqu'à la sortie de la cheminée. On y rencontre les surchauffeurs primaire et secondaire, les tubes de descente, un côté de la paroi latérale gauche et un côté de la paroi de séparation.

Les parois de la chaudière sont revêtues de deux couches de matelas en laine minérale et pour les protéger de toute attaque extérieure, ces matelas sont recouverts d'une enveloppe en tôle d'acier galvanisé. Ainsi la chaudière est isolée thermiquement.



Voir annexe A1 pour la coupe horizontale (compartiments de la chaudière)

II-2/ Le Fonctionnement de la chaudière

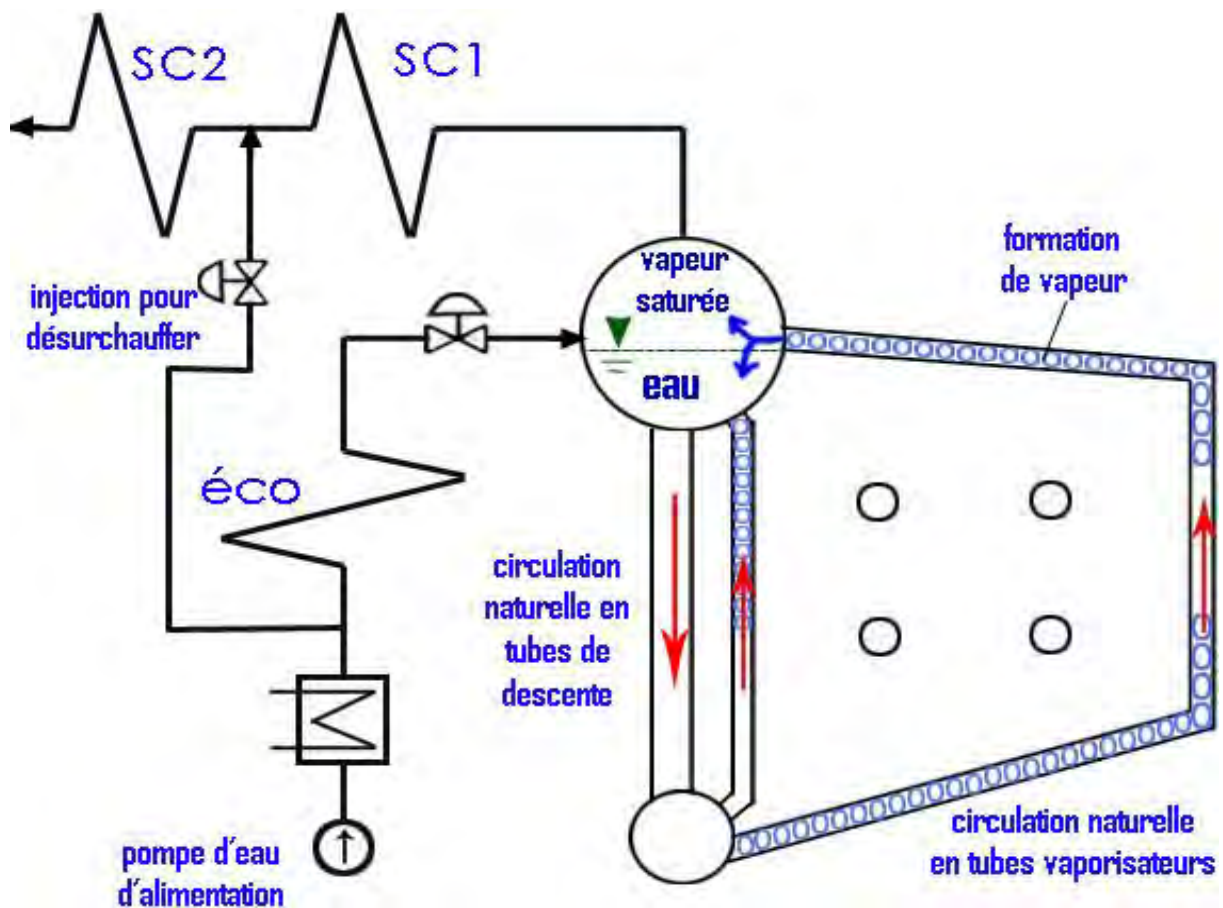


Fig. 6 : Schéma de fonctionnement de la chaudière. D'après BABCOCK

La combustion est une réaction chimique exothermique qui fournit de l'énergie calorifique et émet généralement de la flamme. Pour se faire, elle nécessite trois paramètres :

Un combustible, fuel lourd : c'est un mélange d'hydrocarbures, c'est-à-dire de composés de base de carbone C et d'hydrogène H, auxquels s'ajoutent essentiellement du soufre S, de l'oxygène O et de l'azote N.

Un comburant, l'air : comprend principalement de l'oxygène, de l'azote, de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone.

Une source de chaleur, briquet électrique qui fournit une étincelle pour débiter la combustion du fuel.

Dès l'action des interrupteurs des brûleurs pour qu'ils soient en service, la combustion du fuel commence et les flammes s'établissent.

Les tubes vaporisateurs, les tubes qui contiennent l'eau à vaporiser et se trouvant dans la chambre de rayonnement, commencent à chauffer et il s'y forme lentement de la vapeur.

Le mélange d'eau et de vapeur dans ces tubes vaporisateurs est plus léger que l'eau alimentaire dans le ballon supérieur et les tubes de descente.

En effet quand on chauffe la température augmente, la masse volumique diminue et le corps devient plus léger.

Donc le mélange remonte sous l'effet de la masse d'eau alimentaire qui descend des tubes de descente : c'est une **circulation naturelle**.

A son arrivée au ballon supérieur, par des séparateurs vapeur-eau, le mélange d'eau et de vapeur est séparé : l'eau coule et occupe le fond du ballon et la vapeur saturée la partie supérieure.

L'eau coulée descend ensuite vers le ballon inférieur par le biais des tubes de descente pour effectuer de nouveau la circulation naturelle tandis que la vapeur saturée (295°C) sort du ballon supérieur pour le surchauffeur primaire. Dans ce dernier elle est séchée et sa température est élevée à 450°C.

Par injection d'eau alimentaire dans la vapeur sèche, on la désurchauffe et sa température devient 410°C.

Elle passe au surchauffeur secondaire et en sort avec une température de 505°C. La vapeur devient alors **sèche** et **vive** et elle continue son parcours pour aller faire tourner les ailettes de la turbine.

Pour le surchauffage primaire, l'objectif est de rendre la vapeur saturée sèche et pour le second c'est de la rendre vive.

L'économiseur alimente le ballon supérieur pour remplacer la quantité d'eau vaporisée.

En ce qui concerne les fumées (1300°C), avant de sortir de la chambre de rayonnement pour gagner le circuit des fumées, des tubes "cobra" ou "tubes fusibles" (tubes reliant les deux

ballons et dans lesquels circule de l'eau d'alimentation) absorbent une grande partie de leur énergie. Ces tubes jouent le rôle de protection des surchauffeurs.

Au niveau de ces surchauffeurs il y'a échanges par convection ou surfaciques entre les fumées et la vapeur.

Il faut aussi noter que la température dans les tubes vaporisateurs est celle de la vapeur saturée (295°C) parce qu'il y'a mélange d'eau et de vapeur. Donc la température ne change pas jusqu'après l'entrée de la vapeur saturée dans le surchauffeur primaire.

On remarque aussi que lors du processus de vaporisation la pression reste constante (80bar) parce qu'on garde seulement l'entrée et la sortie du ballon supérieur dans lequel existe une seule pression.

II-3/ Les transferts thermiques

De l'allumage normal des brûleurs jusqu'à l'obtention du mélange d'eau et de vapeur, on note trois modes de transfert de chaleur :

- Dans la chambre de rayonnement, les flammes réchauffent par rayonnement les tubes vaporisateurs (tubes écran faisceau) de la chambre.
- Dans les parois de ces tubes vaporisateurs la chaleur se propage de proche en proche : transfert par conduction.
- A l'intérieur l'eau est réchauffée par convection et il apparaît un mélange d'eau et de vapeur.

Nous étudions d'abord ce qui se passe pour un tube vaporisateur avant de généraliser pour l'ensemble des tubes jointifs

II-3-1/ Cas d'un tube vaporisateur

La géométrie du tube vaporisateur est cylindrique d'axe vertical (r, θ, z)

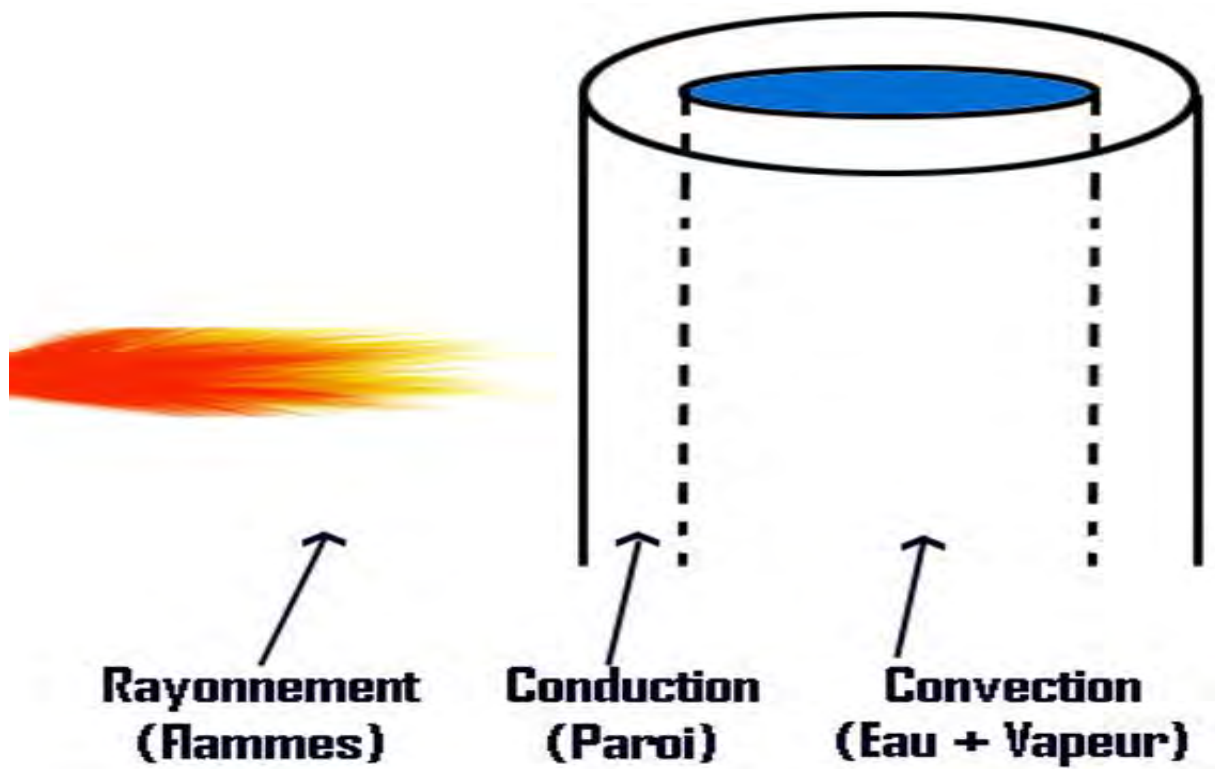


Fig. 7 : Représentation simplifiée de la flamme et d'un tube vaporisateur

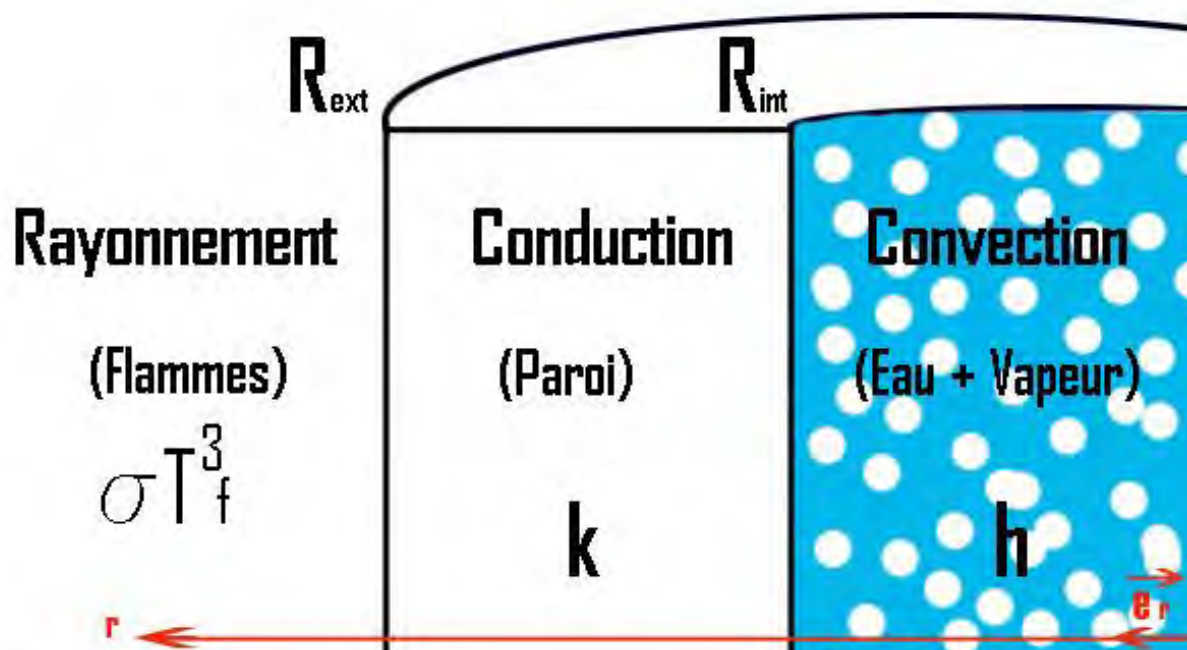


Fig. 8 : Coupe vertical d'un tube vaporisateur

Hypothèses au niveau de la paroi du tube vaporisateur:

- ❖ le flux de chaleur est nul selon (Oz) : $\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
- ❖ le flux de chaleur est nul selon (Oθ) : $\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$
- ❖ le terme source est nul.
- ❖ le problème est stationnaire : $\frac{\partial T}{\partial t} = 0$
- ❖ le matériau est homogène et isotrope
- ❖ on ne tient pas compte de la conduction azimutale (suivant l'angle θ)
- ❖ on n'admet que l'émissivité $\epsilon = 1$

II-3-1-1/ Rayonnement dans la chambre

$$\Phi = S_{\text{ext}} \sigma (T_f^4 - T_p^4) \quad (1)$$

Φ : Puissance thermique ou flux thermique total (W)

$S_{\text{ext}} = 2\pi H R_{\text{ext}}$: Surface d'échange du tube vaporisateur à l'extérieur (m²)

H : Hauteur de tube vaporisateur (8 m)

R_{ext} : Rayon extérieur du tube vaporisateur (28,5. 10⁻³ m)

$\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W. K}^{-4} . \text{ m}^{-2}$: Constante de Stefan Boltzmann

T_f : Température des flammes (1300°C)

T_p : Température de la paroi côté des flammes (°C)

D'après J. SARR et Y. JANNOT

Les températures T_f et T_p étant voisines donc on peut faire l'approximation : $\frac{T_f - T_p}{T_f} \ll 1$

$$\Rightarrow T_f^4 - T_p^4 = (T_f - T_p) (T_f^3 + T_f^2 T_p + T_f T_p^2 + T_p^3) \quad (2)$$

$$T_f^4 - T_p^4 = (T_f - T_p) T_f^3 \left(\frac{T_p^3}{T_f^3} + \frac{T_p^2}{T_f^2} + \frac{T_p}{T_f} + 1 \right) \quad (3)$$

$$T_f^4 - T_p^4 = 4(T_f - T_p) T_f^3 \quad (4)$$

$$(4) \text{ dans } (1) \text{ donne } \Phi = S_{\text{ext}} \sigma 4(T_f - T_p) T_f^3 \quad (5)$$

$$\Rightarrow T_p = T_f - \frac{\Phi}{4 S_{\text{ext}} \sigma T_f^3} \quad (6)$$

II-3-1-2/ Conduction dans la paroi

La chaleur se propage de proche en proche dans la paroi en acier 15Mo3 de conductivité thermique k .

$$\text{D'après J. SARR} \quad \Delta T = 0 \quad (7) \quad \frac{1}{r} \left[\frac{d}{dr} \left(r \frac{dT}{dr} \right) \right] = 0 \quad (8)$$

$$\text{Après intégration on obtient: } T(r) = A \ln(r) + B \quad (9)$$

A et B sont des constantes d'intégration.

$$T_p = A \ln(R_{\text{ext}}) + B \quad \text{pour} \quad r = R_{\text{ext}}: \text{Rayon extérieur du tube vaporisateur}$$

$$T_{p_{\text{int}}} = A \ln(R_{\text{int}}) + B \quad \text{pour} \quad r = R_{\text{int}}: \text{Rayon intérieur du tube vaporisateur}$$

En faisant la somme on obtient :

$$T_p - T_{p_{\text{int}}} = A[\ln(R_{\text{ext}}) - \ln(R_{\text{int}})] \quad \Rightarrow \quad A = \frac{(T_p - T_{p_{\text{int}}})}{\ln\left(\frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}\right)} \quad (10)$$

$$\text{En suite } T_p = A \ln(R_{\text{ext}}) + B \quad \Rightarrow \quad B = T_p - \frac{(T_p - T_{p_{\text{int}}})}{\ln\left(\frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}\right)} \ln(R_{\text{ext}}) \quad (11)$$

(10) et (11) dans (9) donne

$$T(r) = \frac{(T_p - T_{p_{\text{int}}})}{\ln\left(\frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}\right)} \ln(r) + T_p - \frac{(T_p - T_{p_{\text{int}}})}{\ln\left(\frac{R_{\text{ext}}}{R_{\text{int}}}\right)} \ln(R_{\text{ext}}) \quad (12)$$

Cette équation (12) donne la loi de variation de la température dans la paroi du tube vaporisateur.

II-3-1-3/ Convection dans le liquide caloporteur

$$\Phi = h S_{\text{int}} (T_{p_{\text{int}}} - T_{\text{sat}}) \quad (13) \quad \Rightarrow \quad T_{p_{\text{int}}} = T_{\text{sat}} + \frac{\Phi}{h S_{\text{int}}} \quad (14)$$

$S_{\text{int}} = 2\pi H R_{\text{int}}$: Surface d'échange du tube vaporisateur à l'intérieur (m^2)

R_{int} : Rayon intérieur du tube vaporisateur ($26,25 \cdot 10^{-3} \text{ m}$)

h = coefficient d'échange convective du mélange d'eau et de vapeur ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)

T_{sat} : Température de saturation du mélange d'eau et de vapeur (295°C)

Détermination de l'expression de $(T_p - T_{p_{int}})$

$$\text{D'après (6) et (14)} \quad \Rightarrow \quad T_p - T_{p_{int}} = T_f - \frac{\phi}{4S_{ext}\sigma T_f^3} - T_{sat} - \frac{\phi}{hS_{int}} \quad (15)$$

$$\Rightarrow \quad T_p - T_{p_{int}} = -\phi \left(\frac{1}{4S_{ext}\sigma T_f^3} + \frac{1}{hS_{int}} \right) + T_f - T_{sat} \quad (16)$$

II-3-1-4/ Détermination de la Résistance thermique

$$\vec{\varphi} = -k \vec{\text{grad}} T \quad (17)$$

$\vec{\varphi}$: Vecteur densité de flux thermique

k : conductivité thermique de la paroi du tube vaporisateur (nuance d'acier 15Mo3) : $(W.m^{-1}.K^{-1})$

$$\vec{\text{grad}} T = \vec{\text{grad}} \left[\frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \ln(r) + T_p - \frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \ln(R_{ext}) \right] \quad (18)$$

$$\Rightarrow \vec{\text{grad}} T = -\frac{1}{r} \left[\frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \right] \vec{e}_r \quad (19) \quad \Rightarrow \quad \vec{\varphi} = \frac{k}{r} \left[\frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \right] \vec{e}_r \quad (20)$$

$$\phi = \oint \vec{\varphi} \cdot d\vec{S} \quad (21)$$

$d\vec{S} = r d\theta dz \vec{e}_r$: surface élémentaire et avec θ variant de 0 à 2π et z variant de 0 à H .

$$\Rightarrow \phi = k \frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^H dz \quad (22) \quad \Rightarrow \quad \phi = k \left[\frac{(T_p - T_{p_{int}})}{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)} \right] 2\pi H \quad (23)$$

D'après Y. JANNOT (16) dans (23) et après réarrangement on obtient:

$$T_f - T_{sat} = \phi \left\{ \frac{1}{4S_{ext}\sigma T_f^3} + \frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{2H\pi k} + \frac{1}{hS_{int}} \right\} \quad (24)$$

$$\text{D'après S. GAYE, G. MENGUY} \quad R_{th} = \frac{1}{4S_{ext}\sigma T_f^3} + \frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{2\pi H k} + \frac{1}{hS_{int}} \quad (25)$$

R_{th} est la résistance thermique pour un tube vaporisateur. Elle est la somme des résistances thermiques par rayonnement $\left(\frac{1}{S_{ext}\sigma T_f^3}\right)$, par conduction $\left(\frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{\pi H k}\right)$ et par convection $\left(\frac{1}{hS_{int}}\right)$.

Donc notre système est en série c'est-à-dire la chaleur quitte la chambre de rayonnement ensuite la paroi du tube vaporisateur et en fin le fluide caloporteur.

II-3-1-5/ Le coefficient global de transfert

Il est noté K_e et défini par rapport à la surface intérieure S_{int} : $K_e = \frac{\phi}{(T_f - T_{sat}) S_{int}}$ (26)

$$D'où \quad K_e = \frac{1}{\frac{R_{int}}{R_{ext} 4 \sigma T_f^3} + \frac{R_{int} \ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{k} + \frac{1}{h}} \quad (27)$$

Ce coefficient est totalement indépendant de la surface du tube. Il dépend du rayonnement, de la conduction, de la convection et de la géométrie de l'échangeur.

II-3-1-6/ Application : Représentation de la variation de la température dans la paroi du tube vaporisateur

Pour ce faire on suppose que $T_p \cong T_f$ et $T_{sat} \cong T_{pint}$ donc $T_f - T_{sat} \cong T_p - T_{pint}$

$$T_p - T_{pint} = 1300 - 295 = 1005^\circ\text{C} \quad (28)$$

$$T(r) = 12220,613 \ln(r) - 39637,881 \quad (29)$$

Tableau 3: Variation de la température en fonction du rayon du tube vaporisateur

Rayon (mm)	28,50	28,25	28	27,75	27,50	27,25	27	26,75	26,50	26,25
Temperature (°C)	1298	1190	1082	972	861	750	637	524	409	293

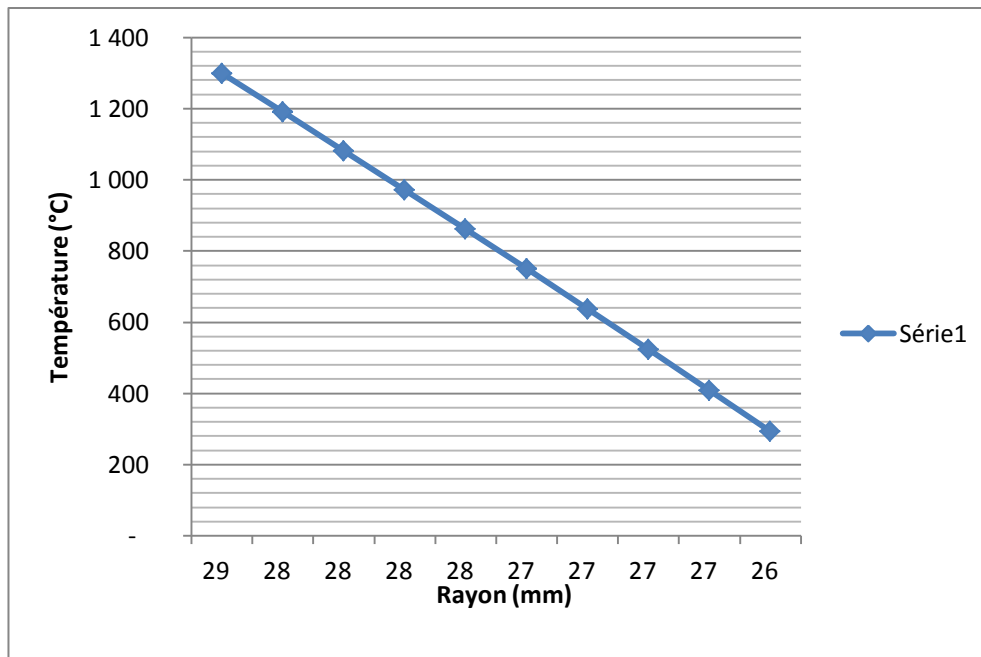


Fig. 9: Représentation de la variation de la température en fonction du rayon du tube vaporisateur au niveau de la paroi.

En respectant rigoureusement la géométrie du tube vaporisateur, la température est une fonction logarithmique népérienne (\ln). Mais du fait de la petitesse de l'épaisseur de la paroi ($R_{\text{ext}} - R_{\text{int}}$), elle varie linéairement : c'est comme si on a linéarisé une portion de la courbe en \ln .

Voir annexe A2 : Variation de la température pour un tube vaporisateur de la chambre de rayonnement au liquide caloporteur.

II-3-2/ Généralisation

Voir annexe A3 : Représentation simplifiée des flammes et de tubes jointifs

Pour l'ensemble (soit N tubes vaporisateurs) on pose R_T comme résistance thermique totale.

$$R_T = R_{ray} + R_{cond} + R_{conv} \quad (30)$$

$$\diamond R_{ray} = \frac{1}{S\sigma T_f^3} = \frac{1}{NS_{ext}\sigma T_f^3} : \text{la résistance thermique par rayonnement} \quad (31)$$

$S = N \times S_{ext}$: la surface de chauffe de l'ensemble des tubes vaporisateurs.

\diamond Le flux thermique traverse à la fois l'ensemble de tubes jointifs : système en parallèle.

$$\frac{1}{R_{cond}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_N} \quad (32)$$

$$\text{Avec } R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_N = \frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{2\pi Hk} = R \quad (33)$$

$$\text{Donc } \frac{1}{R_{cond}} = \frac{N}{R} \quad (34)$$

$$\text{D'où } R_{cond} = \frac{R}{N} = \frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{N2\pi Hk} : \text{la résistance thermique par conduction} \quad (35)$$

\diamond Pour la convection, nous avons R_{conv} .

$$R_{conv} = \frac{1}{NhS_{int}} = \frac{1}{S_i h} : \text{la résistance thermique par convection} \quad (36)$$

$S_i = N \times S_{int}$: la surface totale intérieure de l'ensemble des tubes vaporisateurs.

(31), (33) et (36) dans (30) donne :

$$R_T = \frac{1}{NS_{ext}\sigma T_f^3} + \frac{\ln\left(\frac{R_{ext}}{R_{int}}\right)}{N2\pi Hk} + \frac{1}{NhS_{int}} \quad (37)$$

$$\Rightarrow R_T = \frac{R_{th}}{N} \quad (38)$$

La résistance thermique totale pour l'ensemble des tubes vaporisateurs est beaucoup plus petite que celle d'un tube vaporisateur : les tubes sont en parallèle.

S'ils étaient en série R_T serait égale à $N R_{th}$.

II-4/ Méthodes de calcul de rendement de la chaudière

Le fuel lourd (combustible) est caractérisé par ses pouvoirs calorifiques inférieur (**PCI**) et supérieur (**PCS**).

Le PCS est la quantité de chaleur exprimée en kcal, qui serait dégagée par la combustion complète d'un kg de fuel, et l'eau contenue dans les produits de combustion se présente sous forme liquide. Tandis que pour le PCI, l'eau est à l'état gazeux.

II-4-1-/ Rendement sur PCI

Le rendement sur **PCI** de la chaudière est le rapport entre la puissance cédée à l'eau (Q_c) et la puissance calorifique (Q_{PCI}) produite par la combustion du fuel (combustible) :

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_{PCI}} \quad (39)$$

$$\text{D'après M. LOUM} \quad Q_c = M_v \times \Delta H \quad (40) \quad \text{et} \quad Q_{PCI} = M \times \text{PCI} \quad (41)$$

M_v : Débit de vaporisation

ΔH : enthalpie massique de vaporisation à pression constante

M : débit de fuel

II-4-2 / Rendement sur PCS

On utilise le PCS au lieu du PCI et le rendement devient :

$$\eta = \frac{Q_c}{Q_{PCS}} \quad (42) \quad \text{Avec} \quad Q_{PCS} = M \times \text{PCS} \quad (43)$$

En comparant ces deux expressions du calcul de rendement, nous avons :

- PCI inférieur à PCS donc le rendement sur PCI est supérieur à celui sur PCS. Cela est dû au fait que, dans la chaudière, la combustion se fait généralement en système ouvert, pression constante et l'eau qui apparaît dans les gaz de combustion est à l'état vapeur. Donc en pratique c'est le PCI qui est le plus utilisé.
- Le rendement est aussi fonction de débit de vaporisation M_v : c'est-à-dire que η croît quand M_v augmente.
- Il varie inversement avec le débit de fuel M .

Conclusion

Ainsi la centrale thermique vapeur CIII du CAP DES BICHES de la SENELEC assure la plus grande partie de l'énergie du réseau interconnecté du Pays. Ce sont ses trois groupes vapeur qui fournissent la plus grande partie de sa production avec une puissance nominale de 87,5 MW. Elle possède également quatre circuits pour son fonctionnement :

Le circuit monohydrique qui assure, pour une tranche, le parcours de l'eau d'alimentation, du mélange eau –vapeur et de la vapeur.

Le circuit eau de refroidissement (eau de mer) qui est commun pour l'ensemble des trois tranches. Il assure la condensation de la vapeur et le refroidissement.

Le circuit fuel est chargé du transport du fuel des tanks jusqu'aux brûleurs.

Le circuit comburant- gaz de combustion assure la fourniture d'air nécessaire à la combustion du fuel d'une part et l'évacuation des gaz de combustion d'autre part.

La chaudière subdivisée en deux parties (chambre de rayonnement et circuit des fumées), comporte plusieurs éléments. Elle est le siège de la production de vapeur saturée par le transfert d'énergie calorifique à l'eau dans les tubes vaporisateurs. Mais par l'intervention des surchauffeurs, cette vapeur devient surchauffée, sèche et vive.

Elle est à circulation naturelle du fait de la différence de densité entre l'eau dans les tubes de descente et le mélange d'eau et de vapeur dans les tubes vaporisateurs.

Le rayonnement, la conduction et la convection sont les trois modes de transfert de chaleur rencontrés qui en sont rencontrés.

Au niveau de la paroi des tubes vaporisateurs jointifs, la température suit une fonction logarithmique népérienne.

Ces tubes étant parallèles, la résistance thermique pour un tube vaporisateur est supérieure à celle de l'ensemble.

Le rendement dépend du pouvoir calorifique supérieur ou inférieur, du débit de vaporisateur, du débit de fuel et de l'enthalpie massique de vaporisation à pression constante du fluide caloporteur (eau). Il est préférable qu'en pratique d'utiliser le pouvoir calorifique inférieur pour le calcul du rendement.

L'étude des instabilités de RAYLEIGH Bénard devrait être considérée pour mieux expliquer la circulation naturelle dans les tubes vaporisateurs.

Il serait aussi beaucoup plus intéressant de créer des algorithmes avec des logiciels tels que FORTRAN pour déterminer les différents paramètres qui caractérisent les échanges de chaleur dans la chaudière ?

Bibliographie et sources

- BABCOCK, Chaufferie, Centrale thermique de Cap des Biches, vol n° 1343, p. II-1, II-44.
- BABCOCK, janvier 1996, Documentation de formation sur la réhabilitation des chaudières 303 et 302, SENELEC Centrale Cap des Biches, 39 p.
- DUMONT, M. N., 2005, Simulation et aide au dimensionnement des chaudières de récupération, thèse de doctorat en sciences de l'ingénierie, Université de Liège, 164 p.
- FAVERJON, G., Aout 2003, Précis de physique thermodynamique, Rome, Bréal éditions, 192 p.
- GAIRE, A., GAUTHIER, C., MOREL, Q., 2009-2010, Etude d'un condenseur d'une pompe à chaleur, mini projet, transferts thermiques, école des mines de Nancy, 16 p.
- GAYE, S., MENGUY, G., 2004, Transfert de chaleur cours et problèmes, Association lyonnaise pour le développement à l'étranger de l'enseignement supérieur et technique, 123 p.
- JANNOT, Y., octobre 2011, Métrologie thermique, Lemta, Centre national de la recherche scientifique, Nancy Université, 112 p.
- JANNOT, Y., 2011, Cours de transferts thermiques, Ecole nationale des mines de Nancy, 159 p.
- KANE, A., 2012, Amélioration du rendement d'un équipement thermique cas de la chaudière de la centrale thermique vapeur CIII du Cap des Biches, Mémoire de thèse unique de thermique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, 112 p.
- LALEYE, A., SANOU, C. O., 2004-2005, Modélisation et régulation d'une turbine à vapeur dans une centrale thermique, Projet de fin d'études de mécanique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Ecole Polytechnique de Thies, 117 p.
- LOUM, M., 2001, Détermination des nouveaux paramètres et études du comportement thermomécanique de la nouvelle chambre de combustion de la chaudière 301 du Cap des Biches, projet de fin d'études d'électromécanique, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar (E.P.T), 97 p.
- PONCET, S., 2011-12, Cours de thermodynamique, IUT de Marseille, 89 p.
- RAHHAL, C., 2006, Conception d'une pompe à chaleur air/eau à haute efficacité énergétique pour la réhabilitation d'installations de chauffage existantes, mémoire de thèse en thermique, spécialité : énergie, école des mines de Paris, 175 p.

- ROULAND, E., 2012, Les échangeurs thermiques, Université de Rouen, 80p.
- SARR, J., 2012, Transferts thermiques et thermodynamiques.

Webographie

- http://books.google.sn/books?id=A4OYw9amauQC&pg=PA235&lpg=PA235&dq=rayonnement+dans+foyer+de+chaudiere&source=bl&ots=tmwrfdPryg&sig=ja8P3W0YvfC6uawB8u2n_aA5aXY&hl=fr&sa=X&ei=F6vtUcL-Jci47Qaix4GgDA&ved=0CEoQ6AEwBg#v=onepage&q=rayonnement%20dans%20foyer%20de%20chaudiere&f=false .Consulté le 12 février 2013.
- <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> . Consulté le 06 avril 2013.
- <http://herve.silve.pagesperso-orange.fr/index.htm> .Consulté le 22 février 2013.
- <http://jc.castaing.free.fr/> . Consulté le 05 janvier 2013.
- <http://www.thermexcel.com/french/index.htm> . Consulté le 2 juillet 2013.

Annexe

A1

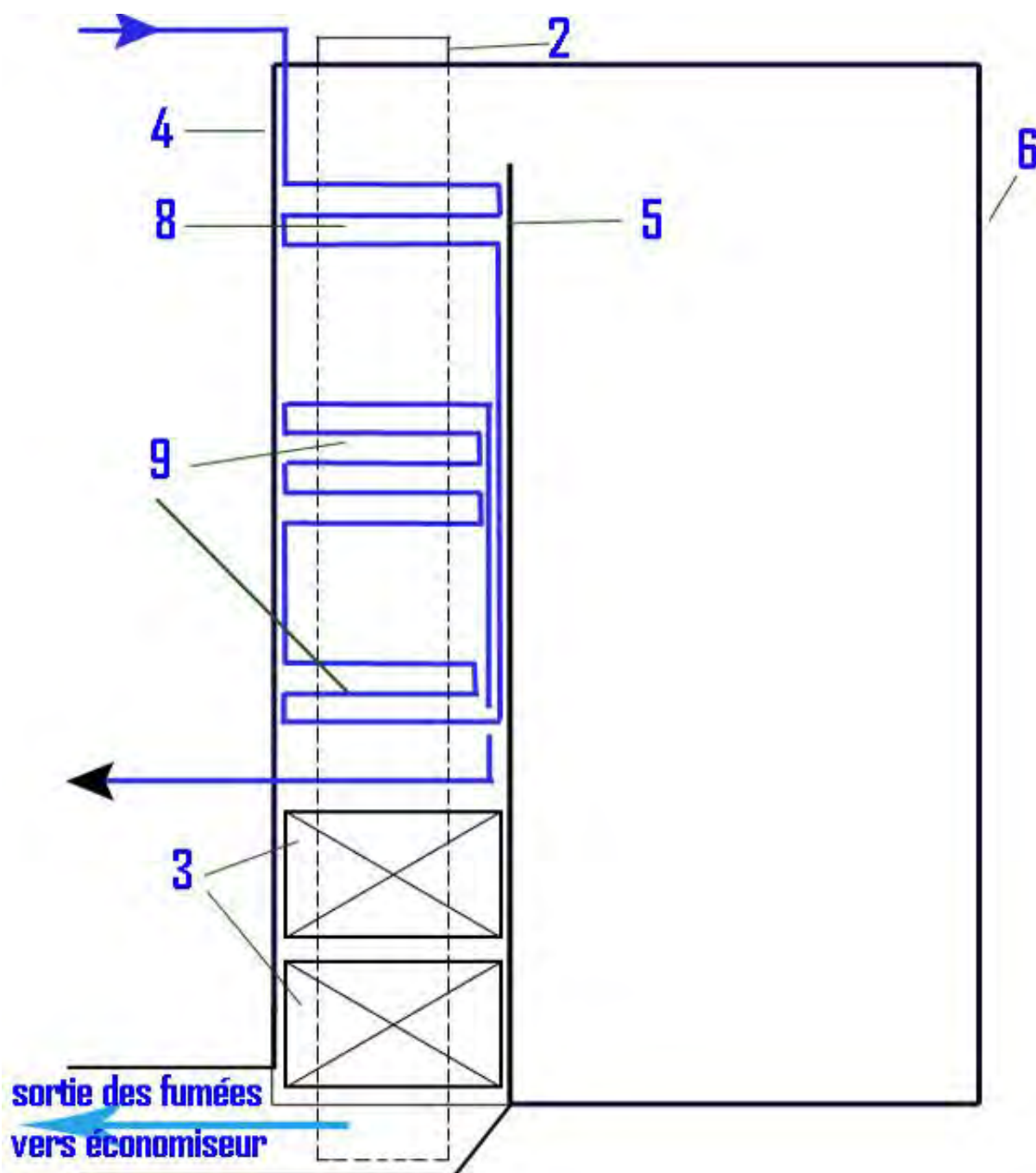


Fig. 10 : Coupe horizontale (compartiments de la chaudière). D'après BABCOCK

A2 :

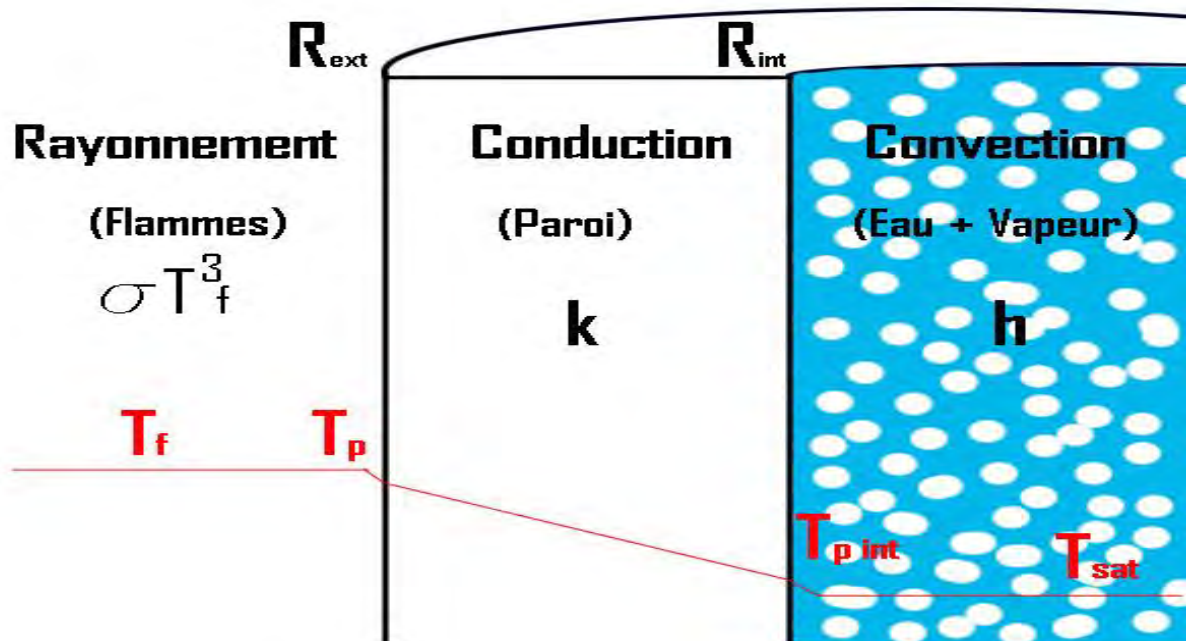


Fig. 11 : Variation de la température pour un tube vaporisateur de la chambre de rayonnement au liquide caloporteur. D'après J.SARR et E. ROULAND

A3 :

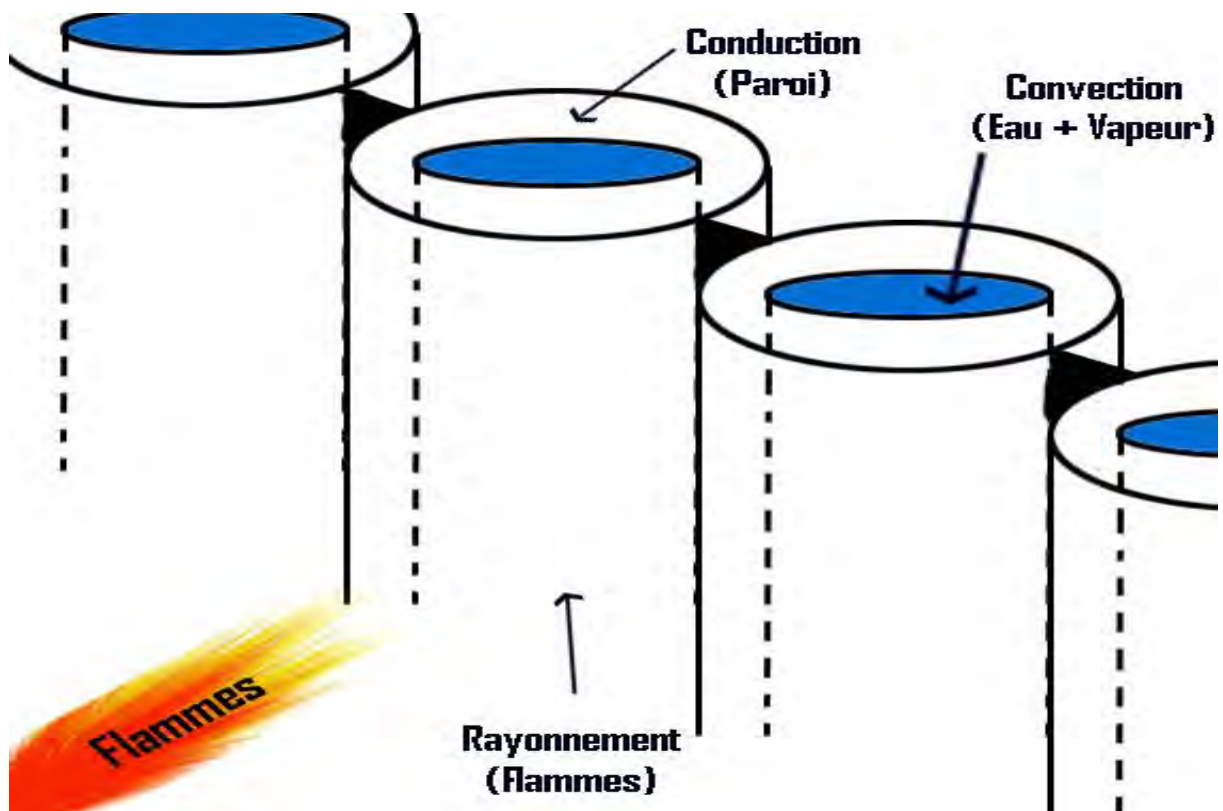


Fig. 12 : Représentation simplifiée des flammes et de tubes jointifs

Sujet de Mémoire : Centrale thermique vapeur CIII du CAP DES BICHES

Etude des échangeurs Thermiques : Application à la chaudière

Mémoire présenté par M. Abdou Khary DIOP pour obtenir le diplôme de Master 2 en Mécanique des Fluides et Applications. Option : **Thermique**

Soutenu publiquement le 31 Aout 2013 à l'université Cheikh Anta DIOP devant le jury :

Président : M. Bassirou BA Professeur Titulaire FST/UCAD

Membres : M. Cheikh MBOW Maitre-Assistant FST/UCAD

 M. Joseph SARR Professeur Titulaire FST/UCAD

 M. Amadou KANE Docteur FST/UCAD

Résumé :

Le but de ce rapport de mémoire est d'étudier des échangeurs thermiques au niveau de la centrale thermique vapeur C III du CAP DES BICHES. Particulièrement une application sur les Transferts thermiques et thermodynamiques dans une des chaudières.

Pour ce faire, nous avons d'abord présenté la centrale et décrit ses différents circuits de fonctionnement tels que : le circuit mono hydrique, le circuit eau de refroidissement (eau de mer), le circuit fuel et le circuit comburant- gaz de combustion.

Ensuite nous avons décrit la chaudière, expliqué les différentes étapes de la production de vapeur vive et donné deux méthodes de calcul du rendement de la chaudière.

Enfin nous avons dégagé des perspectives pour pousser l'étude.

Du point de vu physique, cette étude nous a poussés à essayer de modéliser le profil de la température au niveau de la paroi de chaque tube vaporisateur et de déterminer la résistance thermique de l'ensemble des tubes.

Au niveau de la C III, on se préoccupe que des températures des flammes et du mélange d'eau et de vapeur. D'où un point de plus pour comprendre le profil des températures du rayonnement à la convection en passant par la conduction.

Mots clés :

Échangeurs thermiques, centrale thermique vapeur, Transferts thermiques et thermodynamiques, chaudières, circuit mono hydrique, circuit eau de refroidissement, circuit fuel, circuit comburant, gaz de combustion, eau de mer, vapeur vive, rendement de la chaudière, profil de la température, paroi, tube vaporisateur, résistance thermique, flammes, mélange d'eau et de vapeur, rayonnement, convection, conduction.