

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE.....	Error: Reference source not found
CHAPITRE 1 : Technologie et type des chaudières.....	Error: Reference source not found
1.1. ____ Types de chaudières.....	Error: Reference source not found
1.2. ____ Classification des chaudières.....	Error: Reference source not found
1.2.1. ____ Selon le mode d'emploi.....	Error: Reference source not found
1.2.2. ____ Selon la disposition générale.....	Error: Reference source not found
1.2.3. ____ Selon le mode de construction.....	Error: Reference source not found
1.2.4. ____ Selon le mode chauffage.....	Error: Reference source not found
1.2.5. ____ Selon la nature de la vapeur produite.....	Error: Reference source not found
1.2.6. ____ Selon la vitesse de circulation de l'eau.....	Error: Reference source not found
1.3. ____ Technologie des chaudières.....	Error: Reference source not found
1.3.1. ____ Chaudières en fonte.....	Error: Reference source not found
1.3.2. ____ Chaudières en acier.....	Error: Reference source not found
1.4. ____ Constitution globale des chaudières.....	Error: Reference source not found
1.4.1. ____ Le foyer d'une chaudière.....	Error: Reference source not found
1.4.2. ____ Les grilles.....	Error: Reference source not found
1.4.3. ____ Les tubes d'eau.....	Error: Reference source not found
1.4.4. ____ Les tubes de fumées.....	Error: Reference source not found
1.4.5. ____ Les bouilleurs.....	Error: Reference source not found
1.4.6. ____ Les surchauffeurs et resurchauffeurs.....	Error: Reference source not found
1.4.7. ____ Les économiseurs.....	Error: Reference source not found
1.4.8. ____ Les réchauffeurs d'air.....	Error: Reference source not found
1.5. ____ Principaux circuits d'une chaudière et les facteurs influençant leur fonctionnement.....	Error: Reference source not found
1.6. ____ Circulation dans une chaudière.....	Error: Reference source not found
1.6.1. ____ La circulation naturelle.....	Error: Reference source not found
1.6.2. ____ La circulation contrôlée.....	Error: Reference source not found
1.6.3. ____ La circulation forcée.....	Error: Reference source not found

- 1.7. [Les chaudières à eau chaude.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.1. [La chaudière de production d'eau chaude à foyer borgne.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.1.1. [Présentation.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.1.2. [Principe.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.2. [Chaudière de production d'eau chaude à foyer borgne à haut rendement.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.3. [Chaudière à eau chaude à 3 parcours en ligne.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.4. [Chaudière eau chaude 3 parcours à condensation.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.5. [Chaudière eau chaude avec batterie de condensation.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.6. [Chaudière à condensation pour extérieur.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.7. [Chaudière à eau chaude sanitaire et production eau chaude industrielle à condensation.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.7.1. [Les applications.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.7.2. [La conception générale.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.7.3. [Le descriptif technique.....Error: Reference source not found](#)
- 1.7.7.4. [Les avantages.....Error: Reference source not found](#)
- 1.8. [Les chaudières à vapeur.....Error: Reference source not found](#)
- 1.8.1. [Chaudières à tubes de fumées.....Error: Reference source not found](#)
- 1.8.2. [Les chaudières à tubes d'eau.....Error: Reference source not found](#)

INTRODUCTION GENERALE

Les productions de vapeur ou d'eau chaude occupent une place prépondérante dans la majeure partie des activités industrielles (alimentaires ou non), hospitalières voire tertiaires. Ce dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique est la chaudière. L'énergie thermique peut être produite de diverses manières : soit par combustion, soit par effet Joule avec l'électricité, soit par le nucléaire. Mais pour les applications énergétiques courantes, elle est surtout obtenue par combustion solide, liquide ou gazeuse dans de l'oxygène de l'air en général (ou de l'oxygène pur dans des applications particulières).

La transmission de la chaleur de combustion au fluide caloporteur se fait par rayonnement, conduction, convection dans un appareil complexe appelé « chaudière ».

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

L'idée d'utiliser la vapeur comme force motrice remonte au 1^{er} siècle après JC avec l'invention de l'éolipile par Héron d'Alexandrie. La chaudière trouve donc son origine qui remonte à la plus haute antiquité.

En effet, depuis que l'homme a découvert le mode de vie qui consiste à faire bouillir ses aliments, il a ainsi amorcé la mise au point d'une chaudière. Mais il a fallu attendre jusqu'à la fin du 17^{ème} siècle pour voir effectivement apparaître la Marmite de Papin, première application réellement industrielle de la chaudière. Elle sera ensuite très tôt suivie de la première tentative d'application de la force motrice de la vapeur à la navigation. Ainsi, les premières machines à vapeur destinées à l'élévation de l'eau ou encore à la propulsion des voitures ont fait leur apparition vers le milieu du 18^{ème} siècle. Une réalisation remarquable en France fut alors le fardier en 1769 mis au point par l'ingénieur militaire CUGNOT ; le fardier est destiné à la traction des pièces d'artilleries. Des améliorations successives, surtout à partir de 1828, vont conduire à la mise au point de la première chaudière tubulaire en Grande Bretagne. Mais auparavant, James Watt, qui se livrait à des études très sérieuses sur la vapeur d'eau, le développement spectaculaire connu dans le domaine des chaudières va inciter à la

perfection notamment avec la mise au point et l'application d'autres échangeurs de chaleurs que sont : le surchauffeur et l'économiseur.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

Le présent exposé porte sur le thème « ETUDE DES CHAUDIERES A EAU CHAUDE ET A VAPEUR D'EAU : Technologie, Combustibles, et Qualité d'eau d'alimentation ». Il comportera cinq chapitres. Ce premier abordera la technologie, la classification et le principe général des chaudières.

CHAPITRE 1 : TECHNOLOGIE ET TYPES DE CHAUDIERES

Une chaudière est un appareil dans lequel, par apport de chaleur, un fluide caloporteur subit un chauffage et éventuellement un changement d'état (la vaporisation). La chaudière est, en fait, un générateur de vapeur. La vapeur d'eau est obtenue à l'aide de l'eau et de la chaleur dégagée par la combustion des combustibles.

La chaudière est un dispositif permettant de chauffer l'eau et de produire de la vapeur si l'eau est chauffée au-delà de la pression atmosphérique.

Industriellement, on utilise les chaudières pour produire la vapeur nécessaire au fonctionnement des procédés. La source de chaleur peut-être fournie par un combustible (gaz, fioul, charbon...) ou une résistance électrique.

1.1. Types de chaudières

Dans une chaudière, l'eau peut être successivement échauffée (chaudière à eau chaude), simplement vaporisée (chaudière à vapeur saturée) et surchauffée (chaudière à vapeur surchauffée). Ce qui donne une idée globale des types de chaudières en fonction de la vapeur produite.

1.2. Classification des chaudières

Il existe une grande variété de types de chaudières. Une classification peut considérer plusieurs points de vue.

1.2.1. Selon le mode d'emploi

Selon ce mode on distingue :

- Les chaudières fixes
- Les chaudières mobiles avec l'application à la traction motrice

1.2.2. Selon la disposition générale

On distingue dans ce mode :

- Les chaudières horizontales
- Les chaudières verticales

1.2.3. Selon le mode de construction

Il y a dans ce mode, trois types de chaudières :

- Les chaudières à bouilleurs ;
- Les chaudières à tubes fumées
- Les chaudières à tubes d'eau ou à faisceaux tubulaires.

C'est ce mode de classification qui est utilisé en pratique. Cependant, il existe d'autres modes de classification qui sont tout aussi employés que celui-ci.

1.2.4. Selon le mode chauffage

Dans ce mode, on se base sur la disposition du foyer ; ainsi, on distingue :

- Les chaudières à foyer intérieur à l'appareil
- Les chaudières à foyer extérieur.

1.2.5. Selon la nature de la vapeur produite

La nature de la vapeur générée par une chaudière est en étroite relation avec la pression de vapeur établie. On distingue alors :

- Les chaudières à basse pression : $P < 5$ bars
- Les chaudières à moyenne pression : $5 \text{ bars} < P < 45$ bars
- Les chaudières à haute pression : jusqu'à la pression critique qui est $P = 225,5$ bars
- Les chaudières à pression supercritique : $P > 225,5$ bars

1.2.6. Selon la vitesse de circulation de l'eau

Selon ce mode de classification, on distingue quatre classes de chaudières :

- Classe A : ce sont les chaudières dites sans circulation : $V < 1$ m/s
- Classe B : ce sont les chaudières dites à circulation modérée : $1 < V < 5$ m/s
- Classe C : ce sont les chaudières dites à circulation accélérée : $5 < V < 9$ m/s
- Classe D : ce sont enfin les chaudières à circulation forcée : $V \geq 10$ m/s.

Plus techniques sont aussi les modes de reconnaissance et de caractérisation sur le site de la pression installée et de la pression de service. C'est pour cette raison qu'on a défini le « timbre d'une chaudière ».

En effet, selon le décret du 02 Avril 1926, portant réglementation sur les appareils à pression, le « timbre d'une chaudière » est la pression de levée des soupapes de sûreté qui assure la sécurité en cas de dépression accidentelle, lesdites soupapes étant capable d'évacuer à

l'atmosphère plus que le plein débit de la chaudière. Le timbre s'exprime donc en bar effectif et sa valeur correspond à la limite d'utilisation obligatoirement marquée en rouge sur le manomètre réglementaire de la chaudière, la couleur rouge de danger étant choisie pour faciliter le contrôle visuel de non dépassement.

1.3. Technologie des chaudières

La construction des chaudières dépend des facteurs suivants :

- La nature du fluide caloporteur (eau chaude, vapeur d'eau saturée, vapeur surchauffée),
- Les conditions de service (état physique : pression et température) ;
- La nature du combustible (solide, liquide, gazeux) ;
- La mise en œuvre du combustible (manuelle, mécanique, brûleurs,...).

Les constructeurs ont développé de très nombreux types de chaudières. Celles-ci subissent d'ailleurs constamment des modifications à la suite des progrès scientifiques et technologiques ; néanmoins, il est possible de classer les chaudières en quelques catégories essentielles. Nous y reviendront plus en détails mais avant, quelques notions s'imposent.

Les chaudières, au point de vue construction peuvent être en fonte ou en acier.

1.3.1. Chaudières en fonte

Les différents éléments d'une chaudière en fonte sont obtenus par moulage à partir d'un modèle. Les chaudières en fonte se rencontrent dans la gamme des petites et moyennes puissances (puissances inférieures à 2000th/h). Ce sont généralement des chaudières à eau chaude. La législation actuelle interdit l'emploi de la fonte pour la réalisation des chaudières à eau surchauffée à plus de 110°C et à vapeur à la pression de 0,50 bars effectif (soit 1,50 bars absolus). Décret du 08 Septembre 1967 n°-67782. La construction de ces chaudières s'effectue par juxtaposition d'un certain nombre d'éléments semblables moulés et assemblés par boulons ou des tiges filetées.

1.3.2. Chaudières en acier

Les chaudières en acier sont obtenues par soudage à partir de tôles et de tubes. Il est alors possible de réaliser les formes les plus diverses. Ces chaudières sont utilisées pour toutes les gammes de puissances. Ce type de construction est indispensable pour les appareils à forte pression contenant de l'eau (à plus de 110°C) ou de la vapeur (à plus de 0,50 bars).

1.4. Constitution globale des chaudières

Les chaudières se composent de diverses surfaces d'échange appelées surfaces de chauffe et de réservoirs. Les surfaces de chauffe comportent plusieurs parties :

- i. Une partie principale où se produit le chauffage (eau chaude et eau surchauffée) ou la vaporisation ;
- ii. Des parties auxiliaires (pas toujours existantes dans les petites chaudières) dans lesquelles se déroulent divers échanges de chaleur tels que :
 - Le réchauffeur d'air de combustion ;
 - Le réchauffeur d'eau d'alimentation (économiseur) ;
 - Le surchauffeur de vapeur ;
 - Et éventuellement, le surchauffeur de vapeur.

1.4.1. Le foyer d'une chaudière

Le foyer est dit intérieur quand il est placé à l'intérieur d'un des corps cylindriques de la chaudière, l'eau se trouvant autour du foyer.

Le foyer est dit extérieur quand les flammes et les fumées se développent à l'extérieur du ou des corps cylindriques constituant la chaudière. L'ensemble est enfermé dans une enceinte en maçonnerie réfractaire munie de chicanes obligeant les gaz de la combustion à balayer la surface extérieure des corps avant de se rendre à la cheminée.

1.4.2. Les grilles

Dans les chaudières chauffées au charbon, les grilles sur lesquelles brûle le charbon, et qui sont caractérisées par leur surface en m², sont de types fixes ou mobiles.

Les grilles fixes sont constituées par de simples barreaux de fonte juxtaposés et reposant sur des sommiers ; ces barreaux laissent entre eux l'espace nécessaire pour le passage de l'air de combustion.

Les grilles mécaniques sont de types variés. Les plus couramment employés affectent la forme d'une sorte de tapis métallique à claire-voie passant sur des rouleaux à axe horizontale.

1.4.3. Les tubes d'eau

Reliant entre elles et certaines parties du corps de la chaudière, ces tubes, remplis en permanence d'eau, sont disposés dans le passage des gaz chauds au-dessus du foyer. Ces tubes peuvent être verticaux, horizontaux ou inclinés. Dans certains types de chaudières, les tubes d'eau constituent un ensemble très important. Ces faisceaux tubulaires, qui contiennent la majeure partie de l'eau de la chaudière, réalisent la *surface de chauffe*. Quant au nombre de tubes de faisceaux, il est considérable et de l'ordre de plusieurs milliers dans les chaudières importantes (chaudières multitubulaires).

1.4.4. Les tubes de fumées

Ces tubes, dudgeonnés sur le fond des corps, sont en contact avec l'eau par leur surface extérieure, et parcourus intérieurement par les gaz chauds.

1.4.5. Les bouilleurs

Ce sont des corps cylindriques annexes de petites dimensions, exposés directement aux flammes et reliés par leurs deux extrémités au moyen de tuyaux courts et de large section au corps principal situé au-dessus. Une chaudière peut comporter 2, 4 ou même 6 bouilleurs.

1.4.6. Les surchauffeurs et resurchauffeurs

Les surchauffeurs et resurchauffeurs sont constitués d'une série de serpentins tubulaires généralement identiques dont l'une des extrémités est raccordée sur un tube de gros diamètre ou collecteur d'entrée de vapeur et l'autre sur un élément semblable ou collecteur de sortie. Suivant la longueur, chaque serpentín comprend un ou plusieurs tubes soudés bout à bout sur bagues. La liaison des tubes sur chaque collecteur se fait par soudure. Le mandrinage n'est réalisable que si l'épaisseur du tube reste assez faible (5mm maxi). Pour une forte épaisseur de tube, il devient impossible de faire pénétrer le métal dans la gorge ménagée dans l'épaisseur du collecteur en vue d'obtenir un complément de tenue et d'étanchéité. La fixation par soudage devient alors obligatoire.

Les serpentins sont disposés verticalement ou horizontalement. Dans chacun des cas, suivant les nécessités, des supports sont prévus pour éviter la déformation des éléments. Le choix des matériaux employés est lié à la température de surchauffe :

- Pour des températures inférieures à 425 – 450 °C, les tubes et les collecteurs en acier doux sont utilisables. Le surchauffeur est placé entre les faisceaux tubulaires du générateur après les rangées de tubes soumises au rayonnement direct du foyer ;
- A partir de 450 – 500 °C, il faut recourir à des aciers alliés. Les éléments incorporés (molybdène, chrome et parfois silicium) permettent d'améliorer les qualités de ces aciers. Le molybdène est utilisé en raison de sa qualité à favoriser l'amélioration de la résistance à chaud; le chrome et éventuellement le silicium assurent une meilleure tenue à chaud, ceci étant surtout entraîné par une résistance plus élevée à l'oxydation et la rupture. Quand la température croît, on augmente le pourcentage de chrome. Le surchauffeur est placé immédiatement à la sortie de la chambre de combustion.

Lors du fonctionnement de la chaudière, une élévation de la température de surchauffe peut être constatée. Pour protéger les serpentins du surchauffeur, les conduites et les premiers étages du groupe turboalternateur, on utilise un dispositif de régulation de surchauffe. Les resurchauffeurs sont situés après les surchauffeurs. Leurs surfaces d'échange n'est pas aussi

étendues que celle des surchauffeurs. Cela s'explique par le fait qu'ils reçoivent de la vapeur encore surchauffée tandis que les surchauffeurs reçoivent de la vapeur saturée. Mais comme le volume massique de la vapeur resurchauffée est plus élevé, les capacités des resurchauffeurs sont plus importantes. Le plus souvent, la température de resurchauffe a la même valeur que celle de la surchauffe. Elle peut toutefois être inférieure. Lorsque la pression de marche excède la pression critique, il peut y avoir une double surchauffe.

1.4.7. Les économiseurs

Placés sur le circuit des fumées, immédiatement après les derniers faisceaux du générateur dans les chaudières moyennes, à la suite des surchauffeurs et resurchauffeurs dans les installations de grandes puissances, les économiseurs peuvent être en fonte ou en acier. Ils sont constitués de tubes dont le nombre et la longueur varient selon :

- Le volume des fumées ;
- Les températures d'entrée et de sortie des fumées ;
- Les températures d'entrée et de sortie de l'eau d'alimentation ;
- L'espace dont on dispose à l'intérieur de la chaudière ou à l'extérieur.

Les économiseurs entièrement en fonte sont autorisés si le diamètre intérieur des tubes n'excède pas 100mm. Ce sont des tubes avec ailettes lorsqu'ils peuvent être isolés de la chaudière par une vanne, une soupape de sûreté est obligatoire. La limite d'emploi des appareils en fonte est déterminée d'après la résistance de la qualité de fonte utilisée. C'est le constructeur de l'appareil qui le définit. A partir d'une certaine pression, l'emploi exclusif de la fonte n'est plus possible. Un matériau mixte est alors utilisé. Les tubes sont alors en acier entourés de manchons en fonte portant des ailettes à chaud sur la paroi des tubes. L'avantage de la fonte qui consiste dans sa meilleure tenue à l'usure et à l'oxydation est conservé. Les éléments en acier sont raccordés à chaque extrémité, soit par des coudes en acier fixés par des brides boulonnées, soit par soudage suivant la pression de fonctionnement des appareils. Dans certains économiseurs, les tubes sont acier avec des ailettes en acier lorsque les produits de la combustion ne sont pas de nature à provoquer une usure ou une attaque plus ou moins rapide des ailettes. Les tubes peuvent être seulement en acier à paroi lisse. Les économiseurs peuvent être à tubes horizontaux ou verticaux.

1.4.8. Les réchauffeurs d'air

Les réchauffeurs d'air placés après les économiseurs reçoivent les fumées à des températures variant de 350 – 400°C. Ils sont constitués :

- de plaques parallèles (3 à 20mm d'écartement) entre lesquelles circulent alternativement l'air et les gaz ;
- ou des faisceaux dudgeonnés ou soudés dans deux plaques tubulaires et où passent les gaz.

L'air circule autour des tubes par des jeux de chicanes, ou même normalement aux tubes grâce aux tôles de séparation perpendiculaires aux tubes. La circulation est donc dans l'ensemble à contre courant, mais croisée dans chaque section. Le plus souvent, on emploie des tubes nus, mais comme pour les surchauffeurs et économiseurs, il peut être avantageux d'utiliser des ailettes. Dans ce cas, les formes de celle-ci ne doivent pas favoriser l'encrassement. Par contre, elles doivent permettre le nettoyage facile.

On a aussi utilisé des tubes de fonte ou des tubes recouverts de pièces en fonte avec ou sans ailettes surtout dans les parties à basses températures.

Le réchauffeur d'air rotatif Ljungström, réchauffeur d'air régénératif, constitué par un empilement de tôles ondulées de 1 mm d'épaisseur, disposées dans une série de secteur du rotor tournant à 3 – 5tours/min connaît un grand développement. Les secteurs s'insèrent alternativement dans des conduits de gaz chauds et d'air. Chacun se trouve alors successivement traversés par les gaz, puis par l'air. La séparation entre les deux fluides est assurée par les parois des secteurs.

Le mode d'équipement en matière du réchauffage d'air de combustion varie selon le combustible dont la teneur en soufre peut être forte, faible ou nulle. Il est admis que les parois les plus froides des réchauffeurs sont sensiblement égales à la moyenne entre la température de l'air à l'entrée et la température des fumées à la sortie. Pour éviter une forte condensation acide sur leur surface, il faut protéger les réchauffeurs.

1.5. Principaux circuits d'une chaudière et les facteurs influençant leur fonctionnement

Les principaux circuits d'une chaudière sont :

- Le circuit d'eau d'alimentation de la chaudière ;
- Le circuit d'alimentation en combustible ;
- Le circuit d'alimentation en air ;
- Le circuit d'eau chaude ou de vapeur (saturée ou surchauffée) produite,
- Le circuit d'extraction des fumées produites par combustion.

Le fonctionnement d'une chaudière fait essentiellement intervenir trois facteurs :

- La combustion d'un combustible (ou la production de chaleur à partir de sources électrique et nucléaire respectivement pour les chaudières électriques et nucléaires) ;
- Le passage des fumées de combustion dans la chaudière depuis le foyer de combustion jusqu'à la cheminée,
- Et le transfert de chaleur des produits de la combustion au fluide caloporteur (de l'eau essentiellement dans le cadre de cette étude).

Ces trois facteurs auront des influences notables sur le rendement de l'ensemble et sur le fonctionnement correct de l'appareil au cours du temps.

1.6. Circulation dans une chaudière

On entend par circulation dans une chaudière, l'ensemble des courants ascendants des bulles de vapeur et des courants ascendants d'eau.

Une circulation facile est indispensable au fonctionnement de la chaudière. C'est ainsi que dans les chaudières, une bonne circulation de l'eau nécessite une certaine vitesse.

- Des vitesses trop faibles de l'émulsion d'eau et de vapeur peuvent conduire à la formation de poche de vapeur dans les tubes évaporateurs.
- Une bonne circulation, uniformisant la température d'eau, évite d'abord des déformations pouvant entraîner des tensions locales. Enfin, elle évite l'arrivée de grosses bulles dans les collecteurs de vapeur ainsi que l'émulsion tumultueuse qui favorise un phénomène particulier appelé « primage ». le primage est l'entraînement de l'eau dans de la vapeur (mais aussi l'inverse i.e. de la vapeur dans de l'eau).

La circulation dans la chaudière peut normalement être des trois catégories que sont : la circulation naturelle, la circulation contrôlée et la circulation forcée.

1.6.1. La circulation naturelle

La circulation naturelle est basée sur le principe de densité entre l'eau dans les tubes vaporisateurs et les tubes de retour. En effet, lorsqu'on chauffe un fluide, sa masse volumique diminue. La colonne de droite (figure n°1), la première à recevoir de la chaleur du foyer, est plus chaude que la partie de gauche. Il y a alors une circulation du fluide de la colonne froide au collecteur supérieur en passant par la colonne chaude.

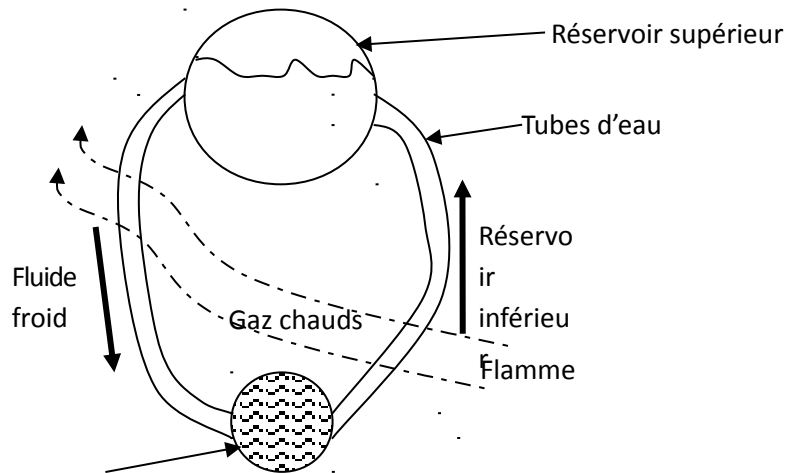


Figure n°1 : Principe de la circulation naturelle (thermosiphon)

Dans les chaudières à vapeur, ce phénomène est encore accéléré par la présence de vapeur dans la colonne montante. L'intensité de la circulation sera d'autant plus forte que le volume occupé par la vapeur sera plus grand dans la colonne ascendante.

Les vitesses obtenues dans la plupart des appareils se situent entre 0,35 et 1 m/s. Les vitesses élevées seront recherchées pour les chaudières de haute pression du fait de l'importance du flux rayonnant au niveau du foyer et de leur hauteur grande en général.

Nous constatons d'ailleurs une augmentation avec la pression du titre de la vapeur produite par les chaudières actuelles. Mais au fur et à mesure que la pression et la température de service augmente, la masse volumique de la vapeur croît et tend à se rapprocher de celle de l'eau.

Les deux valeurs sont égales (masses volumiques à la pression critique, et même avant qu'elle soit atteinte, il faut une intervention mécanique pour assurer le mouvement de l'eau dans la chaudière : ce qui est désigné par la circulation forcée. Comme chaudières à circulation naturelle, nous avons :

- Les chaudières dites sectionnelles
- Les chaudières de type Stirling
- Les chaudières sans faisceaux à rayonnement

Dans les chaudières sectionnelles, chaque nappe verticale de tubes comprise entre un collecteur d'alimentation et un collecteur de vapeur constitue une section. Les retours d'eau ne sont pas chauffés. Ces chaudières offrent de grands avantages de construction :

- Un seul réservoir avec peu de percages

- Des tubes droits
- La possibilité de libre dilatation de chaque section

Les tubes sont inclinés de 15° et mandrinés à leurs extrémités à des collecteurs. Cette construction a été généralisée par les sociétés BABCOCK et WILCOCK.

Le type « marine » avec réservoir transversal s'est substitué au type précédent pour les grandes chaudières des centrales thermiques.

- ⊗ Dans les sectionnelles, la circulation ne se fait pas toujours de façon parfaite. Pour de faibles charges de ces chaudières, la vitesse du mélange eau-vapeur dans les tubes vaporisateurs peut devenir très faible voire s'annuler. Si la condition pour que la circulation ascendante de l'eau puisse s'établir dans les tubes $\Delta P_m > \Delta P_c$ (avec P_m la pression motrice et ΔP_c la pression équivalente aux pertes de charges dans les tubes) n'est pas satisfaite, on assiste alors à un renversement de la circulation. L'eau s'écoule alors vers le collecteur d'alimentation tandis que la vapeur s'accumule dans la partie supérieure des tubes et s'échappe vers le haut. Il y a donc dégagement de vapeur seule. Dans ce cas, les conditions de transfert de chaleur sont par conséquent modifiées. La vapeur refroidissant beaucoup moins les tubes que l'eau. Comme dans cette zone, la température des gaz chauds de combustion peut dépasser 600°C, on a en général un bon risque de surchauffe du métal et en particulier l'attaque de l'acier par de la vapeur d'eau (chimie des classes secondaires). Cela explique les dommages souvent constatés dans cette zone intermédiaire et la corrosion dans la partie des tubes opposés au feu à l'endroit où les poches de vapeur séjournent des parties supérieures des tubes.
- ⊗ Les chaudières Stirling sont des chaudières à plusieurs réservoirs nécessitant des tubes cintrés afin de permettre leur dilatation inégale. Ces chaudières se sont développées à partir du moment où il était devenu possible de fabriquer des tubes soudés. Cela a permis :
 - d'obtenir des tubes plus longs, donc de produire plus de vapeur ;
 - d'avoir aussi des inclinaisons de tubes plus importants améliorant ainsi la circulation naturelle. La pression limite n'excédait pas toutefois 60 bars.
- ⊗ Dans les chaudières sans faisceaux à rayonnement, il n'existe plus qu'un seul réservoir avec des collecteurs d'alimentation (différence avec les chaudières Stirling) des tubes écrans d'eau reliés à ce réservoir par des tubes de retour extérieurs au foyer. Dans ces générateurs, les parois des chambres de combustion sont entièrement recouvertes d'écrans d'eau. Elles ne comportent donc plus de matériaux réfractaires

mais seulement une isolation calorifique. Dans ce cas, la grande surface des parois de la chambre garnie de tubes d'écrans est alors suffisante pour assurer, par rayonnement ; la vaporisation de l'eau sans qu'il y ait besoin de recourir à un faisceau travaillant en convection.

- ✘ La grande puissance de vaporisation (jusqu'à 2000 tonnes de vapeur /heure) nécessite débit de combustible important, ce qui produit un débit de fumées très grand. Il est donc nécessaire de construire des chaudières dont le volume de la chambre de combustion est très grand.
- ✘ La température de la chambre de combustion devant être limitée pour éviter que les parois soient salies par la fusion des cendres ; il faut donner aux parois une grande efficacité de refroidissement.

Ces chaudières peuvent être équipées d'un foyer mécanique mais elles sont, le plus souvent, munies d'une batterie de brûleurs à fuel ou à gaz.

C'est dans cette catégorie de chaudière que l'on classe les chaudières destinées aux grandes centrales thermiques modernes, productrices d'énergie électrique, de forte puissance et à haute pression.

1.6.2. La circulation contrôlée

La circulation contrôlée est un cas de circulation forcée. Les chaudières dont le fonctionnement repose sur le principe de la circulation forcée se ramènent à deux types :

- Les chaudières à circulation en dérivation ou à re-circulation ou à circulation un circuit fermé ou encore à circulation contrôlée;
- Les chaudières à circulation en dérivation en série ou encore à circulation en circuit ouvert.

Comme exemple de la chaudière à circulation contrôlée, nous avons la chaudière La Mont. Celle-ci diffère de la chaudière à circulation naturelle par l'installation de pompe sur les tuyaux de retour d'eau reliant le réservoir R aux collecteurs d'alimentation B des tubes vaporisateurs.

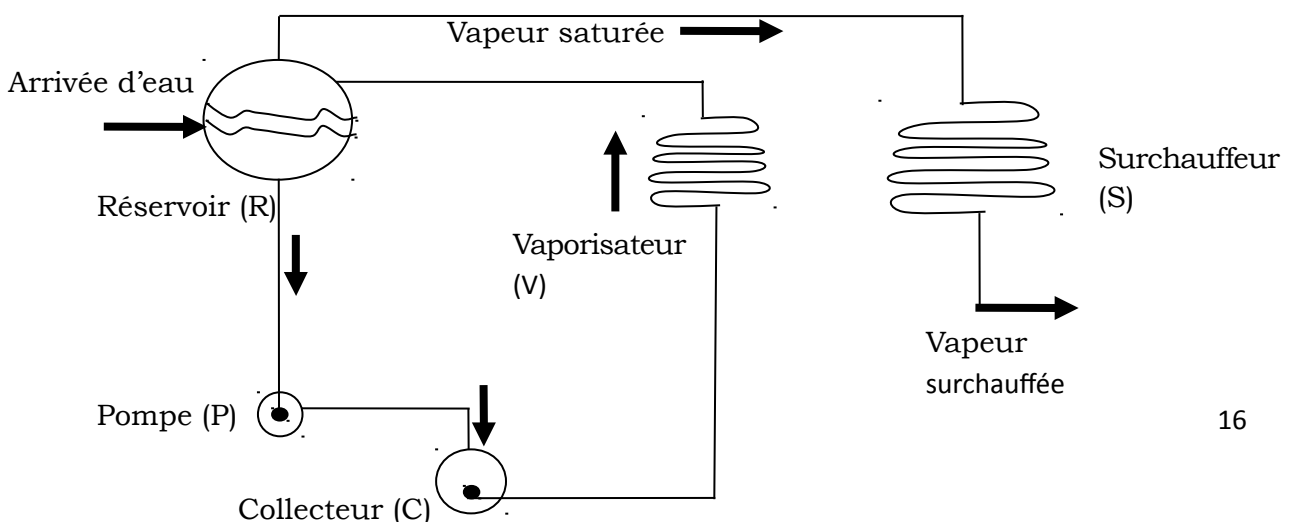


Figure n°-2 : Circulation contrôlée dans une chaudière La Mont

La répartition de l'eau dans les tubes branchés sur le collecteur se réalise au moyen de tuyères calibrées placées à l'entrée de chaque tube. Une crépine permet d'arrêter des particules solides éventuellement présentes dans l'eau d'alimentation. Dans ce type de chaudière, la circulation étant établie avant l'allumage du feu, il n'est pas nécessaire d'attendre à ce que s'établisse la circulation ; elle s'effectue naturellement ce qui réduit le temps de mise en service.

L'intérêt économique des chaudières de type La Mont réside surtout au niveau de l'investissement (tubes moins gros et plus minces, donc moins chers) ; cela a été démontré pour de fortes puissances. On admet généralement qu'il est nécessaire d'atteindre au moins une pression égale à 160 bars.

1.6.3. La circulation forcée

La circulation forcée a l'avantage d'assurer une vitesse convenable de fluide dans les tubes de formes quelconques quelle que soit la pression de la chaudière.

Dans la circulation en série, ou circulation en circuit ouvert, il n'y a pas de réservoir d'accumulation d'eau et de vapeur. La vaporisation s'effectue entre l'échauffement et la surchauffe dans un circuit.

L'eau refoulée par la pompe est vaporisée puis surchauffée et délivrée directement à la sortie des tubes de chauffe. C'est le cas avec les chaudières Benson, Sulzer, Löffler. Ces chaudières peuvent employées aussi bien pour les pressions inférieures à la pression critique que pour des pressions supérieures (chaudières hypercritiques). Néanmoins, d'une manière générale, on n'emploie pas des chaudières à circulation forcée pour des pressions inférieures à 80 bars (en raison du coût).

La circulation forcée permet de faire circuler l'eau dans les tubes et dans les collecteurs dès l'avant mise à feu et pendant les opérations de démarrage. Cela constitue un avantage appréciable car il en résulte une répartition plus uniforme de la température du métal et des dilatations de l'ensemble du générateur.

La circulation forcée ne supprime pas nécessairement tout risque d'assèchement. La zone d'évaporation est suivie d'une zone de surchauffe dont la perte de charge est importante et joue le rôle de stabilisateur. Mais la possibilité de régime instable subsiste. Dans les chaudières à circulation forcée, l'emploi de petits tubes et la nécessité de prévoir des pertes de charges stabilisatrices entraîne une chute importante (élevée) entre l'alimentation en eau et la

sortie de la vapeur d'environ 30 à 40% de la pression d'admission (250bars) contre 20 à 25% pour une chaudière à circulation naturelle.

A présent, nous allons étudier les chaudières à eau chaude et les chaudières à vapeur.

1.7. Les chaudières à eau chaude

Ces chaudières ont été conçues selon les principes de robustesse des chaudières industrielles.

Elles répondent à tous les besoins de chauffage des collectivités, ensemble commerciaux et résidentiels, ensembles scolaires et universitaires, centres sportifs, piscines, hôpitaux, usines, serres de culture,... etc.

1.7.1. La chaudière de production d'eau chaude à foyer borgne

1.7.1.1. Présentation

La chaudière est en acier, monobloc, horizontale et cylindrique. Elle est d'un encombrement réduit facilitant sa mise en place en chaufferie.

Elle peut être équipée indifféremment d'un brûleur fuel, gaz ou mixte, suivant les préconisations des différents constructeurs. Une large porte avant, recevant le brûleur, permet l'accès total au foyer et au faisceau tubulaire. La boîte à fumées arrière, totalement intégrée au corps de la chaudière, est munie d'un fond démontable et d'une ou deux trappes de visite pour nettoyage. Une jaquette en tôle pré laquée, démontable, protégeant une isolation en laine minérale de 80mm d'épaisseur, habille esthétiquement la chaudière.



Fig. 3. Chaudière à eau chaude à foyer borgne

1.7.1.2. Principe

La chaudière possède un foyer borgne pressurisé à inversion de flamme constituant les deux premiers parcours. Ce principe de re-circulation des gaz de combustion dans la flamme permet d'atteindre une combustion optimale à faible excès d'air.

Figure. 4. Vue montrant le foyer de la chaudière à eau chaude à foyer borgne

Tableau 1: Modèles et caractéristiques des chaudières à eau chaude à foyer borgne

Modèle	Code chaudière	Puissance utile		Débit thermique		Rendement		Contrepression mbar	Dimensions (H x L x P en mm)	Poids kg
		kW	kcal/h	kW	kcal/h	100%	30%			
REX 7	83801010	70	60.000	76	65.360	92,11	90,18	0,8	1030 x 750 x 1055	216
REX 8	83801020	80	69.000	87	74.820	91,95	90,23	1,0	1030 x 750 x 1055	216
REX 9	83802010	90	77.000	98	84.280	91,84	90,30	0,8	1030 x 750 x 1195	258
REX 10	83802020	100	86.000	109	93.740	91,74	90,40	1,0	1030 x 750 x 1195	258
REX 12	83802030	120	103.000	131	112.660	91,60	90,45	1,1	1030 x 750 x 1195	258
REX 15	83803010	150	129.000	163	140.180	92,02	91,15	1,2	1080 x 800 x 1440	346
REX 20	83803020	200	172.000	218	187.480	91,74	91,36	1,9	1080 x 800 x 1440	346
REX 25	83804010	250	215.000	272	233.920	91,91	90,40	2,0	1080 x 800 x 1690	431
REX 30	83805010	300	258.000	325	279.500	92,31	90,62	2,0	1180 x 900 x 1690	475
REX 35	83806010	350	301.000	380	326.800	92,11	90,50	2,9	1180 x 900 x 1940	542
REX 40	83807010	400	344.000	433	372.380	92,38	90,81	4,1	1190 x 940 x 1872	584
REX 50	83808010	500	430.000	542	466.120	92,25	90,71	4,2	1380 x 1160 x 1950	853
REX 62	83809010	620	533.000	672	577.920	92,26	90,68	6,4	1380 x 1160 x 2240	963
REX 75	83810010	750	645.000	813	699.180	92,25	90,60	5,2	1510 x 1290 x 2255	1205
REX 85	83810020	850	731.000	921	792.060	92,29	90,73	7,2	1510 x 1290 x 2255	1205
REX 95	83811010	950	817.000	1030	885.800	92,23	90,70	5,2	1510 x 1290 x 2500	1417
REX 100	83812010	1020	877.000	1106	951.160	92,22	90,65	4,0	1660 x 1440 x 2500	1843
REX 120	83812020	1200	1.032.000	1301	1.118.860	92,24	90,67	5,5	1660 x 1440 x 2500	1843
REX 130	83812030	1300	1.118.000	1409	1.211.740	92,26	90,61	6,5	1660 x 1440 x 2500	1843
REX 140	83813010	1400	1.204.000	1517	1.304.620	92,29	90,36	6,0	1746 x 1470 x 2886	2600
REX 160	83813020	1600	1.376.000	1733	1.490.380	92,33	90,41	6,5	1746 x 1470 x 2886	2600
REX 180	83814010	1800	1.548.000	1950	1.677.000	92,31	90,50	7,0	1746 x 1470 x 3096	2750
REX 200	83815010	2000	1.720.000	2167	1.863.620	92,29	90,30	6,0	1876 x 1600 x 3220	3650
REX 240	83816010	2400	2.064.000	2600	2.236.000	92,31	90,60	7,5	1876 x 1600 x 3480	3900
REX 300	83817010	3000	2.580.000	3250	2.795.000	92,31	90,55	8,0	2146 x 1870 x 3480	5200
REX 350	83818010	3500	3.010.000	3792	3.261.120	92,30	90,20	9,0	2146 x 1870 x 3935	5700

Le troisième parcours des gaz s'effectue dans un faisceau horizontal de tubes de fumées judicieusement répartis au dessus du foyer laissant parfaitement libre le fond de la chaudière. Les tubes de fumées, lisses, reçoivent des tubulures en acier à pas variable, conçus pour accroître l'énergie dynamique des gaz de combustion et permettre à l'ensemble d'atteindre des performances élevées. La disposition du retour d'eau à l'arrière et en partie basse ainsi que la libre circulation sous le foyer permettent d'assurer une bonne irrigation de toutes les zones d'échange (*principe de l'irrigation en diagonale*).

à double paroi isolé à lame d'air différenciée, les chaudières de la série GREENOx BT peuvent fonctionner avec de l'eau à basses températures (retour minimum 35°C). Revêtement industriel en aluminium gaufré.

Figure 6. Chaudière à eau chaude à 3 parcours en ligne



Tableau 3 : Modèles et caractéristiques des chaudières à eau chaude à 3 parcours en ligne

Modèle	Code chaudière	Puissance utile		Débit thermique		Rendement		Contrepression mbar	Dimensions (H x L x P en mm)	Poids kg
		kW	kcal/h	kW	kcal/h	100%	30%			
GREENOx BT 70	83080703	700	602.000	761	654.348	91,98	91,68	2,7	1775 x 1380 x 2570	2220
GREENOx BT 90	83080903	900	774.000	978	841.304	92,02	91,72	2,7	1825 x 1490 x 2624	3040
GREENOx BT 100	83081003	1000	860.000	1087	934.783	92,00	91,70	3,5	1825 x 1490 x 2624	3040
GREENOx BT 120	83081203	1200	1.032.000	1304	1.121.739	92,02	91,72	5,1	1825 x 1490 x 2934	3360
GREENOx BT 140	83081403	1400	1.204.000	1522	1.308.696	91,98	91,68	5,4	1965 x 1640 x 2976	4120
GREENOx BT 170	83081703	1700	1.462.000	1848	1.589.130	91,99	91,69	8,0	1965 x 1640 x 3476	4825
GREENOx BT 200	83082003	2000	1.720.000	2174	1.869.640	92,00	91,70	8,5	1965 x 1640 x 3476	4.825

1.7.2. Chaudière eau chaude 3 parcours à condensation

Ce sont des générateurs de chaleur à condensation prédisposés pour une installation individuelle ou modulaire. Dimensions compactes, contenu en eau élevé, elles ont un rendement jusqu'à 107%.

Tableau 4 : Modèles et caractéristiques des chaudières à eau chaude à 3 parcours en condensation

Modèle	Code chaudière	Puissance utile*		Débit thermique		Rendement		Contrepression mbar	Dimensions (H x L x P en mm)	Poids kg
		kW	kcal/h	kW	kcal/h	40°-30°C	80°-60°C			
STELT 75	81026201	75	64.500	70	60.000	107,5	97,0	0,7	1190 x 773 x 1155	170
STELT 90	81026202	90	77.400	84	72.000	107,5	97,0	0,9	1190 x 773 x 1155	170
STELT 120	81026203	120	103.200	112	96.450	107,0	96,5	1,5	1190 x 773 x 1155	170
STELT 160	81026302	160	137.600	150	128.600	107,0	96,5	2,5	1290 x 873 x 1155	205
STELT 220	81026402	220	189.200	205	176.000	107,5	97,0	4,2	1290 x 873 x 1410	220
STELT 270	81026502	270	232.200	251	216.000	107,5	97,0	3,0	1290 x 1003 x 1463	330
STELT 320	81026503	320	275.200	299	257.200	107,0	97,0	4,2	1290 x 1003 x 1463	330

* Sur la base d'une température de l'eau de 50-30 °C

La chaudière STELT est un générateur de chaleur breveté par ICI CALDAIE qui assure une simple et facile application de la condensation même sur la plus grande partie des installations existantes. Les parties intérieures en contact avec les produits de la combustion et la conduite de l'eau sont entièrement réalisées en acier INOX AISI 316 Ti.

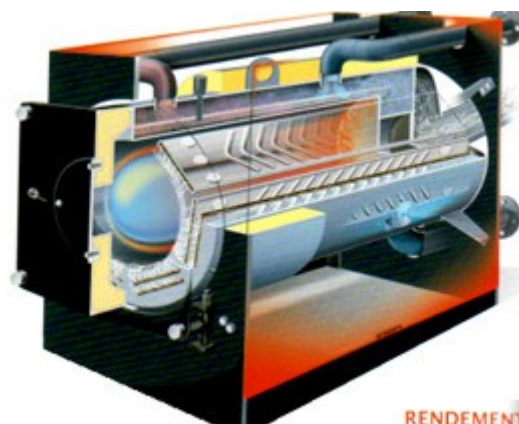


Figure 7. Chaudière eau chaude 3 parcours à condensation

1.7.3. Chaudière eau chaude avec batterie de condensation

Les générateurs de chaleur **GREENOX BT COND** sont des générateurs à flamme passante à triple parcours des gaz de fumée et fond mouillé au fonctionnement complètement automatique. Conçus pour fonctionner aux basses températures avec l'utilisation de la technologie à deux tuyaux qui permet des températures de retour jusqu'à 354° C, ils sont équipés pour un fonctionnement à condensation avec une batterie de condensation de grande superficie construite entièrement en acier INOX 316 Ti.

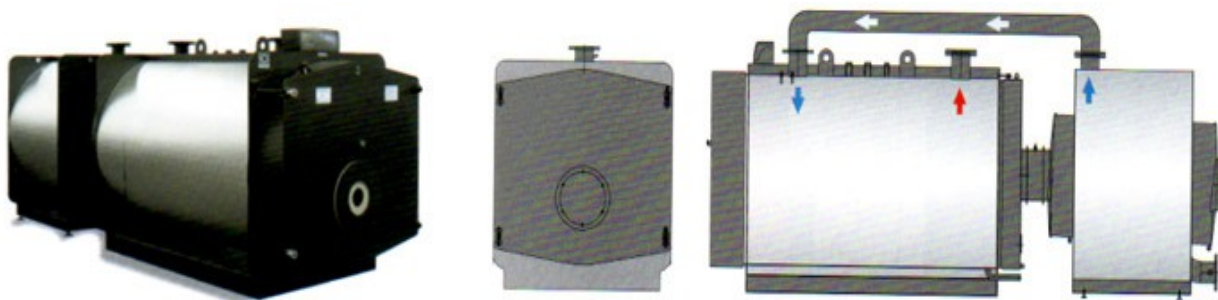


Figure 8. Chaudière à eau chaude avec batterie de condensation

Tableau 5 : Modèles et caractéristiques des chaudières à eau chaude avec batterie de

Modèle	Code chaudière	Puissance utile*		Débit thermique		Rendement		Contrepression mbar	Dimensions (H x L x P en mm)	Poids kg
		kW	kcal/h	kW	kcal/h	40°-30°C	80°-60°C			
GREENOx BT 80 COND	83080850	800	688.000	744	640.000	107,5	97,5	7,3	1930 x 1380 x 4119	2.905
GREENOx BT 100 COND	83081050	1.000	860.000	930	800.000	107,5	97,5	7,3	2019 x 1490 x 4204	3.760
GREENOx BT 110 COND	83081150	1.100	946.000	1.023	880.000	107,5	97,5	9,0	2019 x 1490 x 4204	3.760
GREENOx BT 140 COND	83081450	1.400	1.204.000	1.302	1.120.000	107,5	97,5	11,5	2084 x 1490 x 4514	4.110
GREENOx BT 160 COND	83081650	1.600	1.376.000	1.488	1.280.000	107,5	97,5	11,9	2224 x 1640 x 4555	4.895
GREENOx BT 200 COND	83082050	2.000	1.720.000	1.860	1.600.000	107,5	97,5	14,5	2224 x 1640 x 5049	5.560
GREENOx BT 230 COND	83082350	2.300	1.978.000	2.140	1.840.000	107,5	97,5	15,0	2224 x 1640 x 5049	5.560

* Sur la base d'une température de l'eau de 50-40 °C

condensation

Figure 9. Chaudière à eau chaude à condensation pour extérieur

1.7.6- Chaudière à condensation pour extérieur



Groupe thermique modulaire à condensation à basse charge thermique, prévu pour un fonctionnement avec combustibles gazeux. Les brûleurs de type modulant sont à air pulsé, corps cylindrique à rayonnement et à basses émissions de NOx. Les parties en contact avec les produits de combustion - foyer et plaques de fumées - sont entièrement construites en acier INOX stabilisé à titane AISI 316 Ti. L'habillage externe est en acier INOX AISI 316 L, calorifugé à l'intérieur avec une très épaisse couche de laine de verre à haute densité. Chaque module est doté de quatre commandes avec régulateur de température numérique pour la gestion du brûleur. Le groupe thermique WALL peut être constitué de 1 à un maximum de 4 modules pour une puissance maximum de 600kW utile, et comprenant des collecteurs hydrauliques, des collecteurs de fumées et des dispositifs de sécurité.

Dans le cas de 2 ou plusieurs modules (WALL 300, 450 et 600), un régulateur approprié permet une gestion en cascade des générateurs.

Tableau 6 : Modèles et caractéristiques des chaudières à eau chaude à condensation pour extérieur

Modèle	Code chaudière	Puissance utile*		Puissance foyer	Rendement			Contrepression	Dimensions	Ø C	Poids
		70°C	50-30°C		70°C	50-30°C	30% Pn				
		kW	kW	kW	100% Pn	100% Pn	30% Pn	mbar	(H x L x P en mm)	mm	kg
VERSION À ASSEMBLER SUR SITE											
WALL 125	81029125	113	124	115	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 775 x 1975	130	250
WALL 150	81029150	137	150	140	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 775 x 1975	130	250
WALL 250	81029250	227	248	231	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 1330 x 1975	250	500
WALL 300	81029300	274	300	279	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 1330 x 1975	250	500
WALL 375	81029375	340	372	346	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 1910 x 1975	250	750
WALL 450	81029450	412	450	419	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 1910 x 1975	250	750
WALL 500	81029500	454	496	461	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 2490 x 1975	250	1000
WALL 600	81029600	549	600	558	98,3	107,5	109	3,4	1265 x 2490 x 1975	250	1000
VERSION COMPLÈTEMENT MONTÉE SUR SOCLE											
WALL 250 M	81029251	227	248	231	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 1330 x 1975	250	660
WALL 300 M	81029301	274	300	279	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 1330 x 1975	250	660
WALL 375 M	81029376	340	372	346	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 1910 x 1975	250	985
WALL 450 M	81029451	412	450	419	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 1910 x 1975	250	985
WALL 500 M	81029501	454	496	461	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 2490 x 1975	250	1300
WALL 600 M	81029601	549	600	558	98,3	107,5	109	3,4	1335 x 2490 x 1975	250	1300

1.7.4. Chaudière à eau chaude sanitaire et production eau chaude industrielle à condensation

1.7.4.1. Les applications

La chaudière à condensation répond, dans l'habitat collectif, le moyen et le grand tertiaire ainsi que dans l'industrie aux besoins d'eau chaude sanitaire, de service et de process. Sa

conception technique, depuis plus de 20 ans, a fait la preuve de sa fiabilité dans tous ces domaines d'application. Divers perfectionnement en font un matériel qui demeure sans égal par les **avantages techniques** et **d'exploitation** qu'il apporte. De plus, c'est un produit déjà largement connu dans l'Union Européenne (France, Belgique, Grande Bretagne, Pays-Bas, Allemagne) ainsi qu'en Suisse.

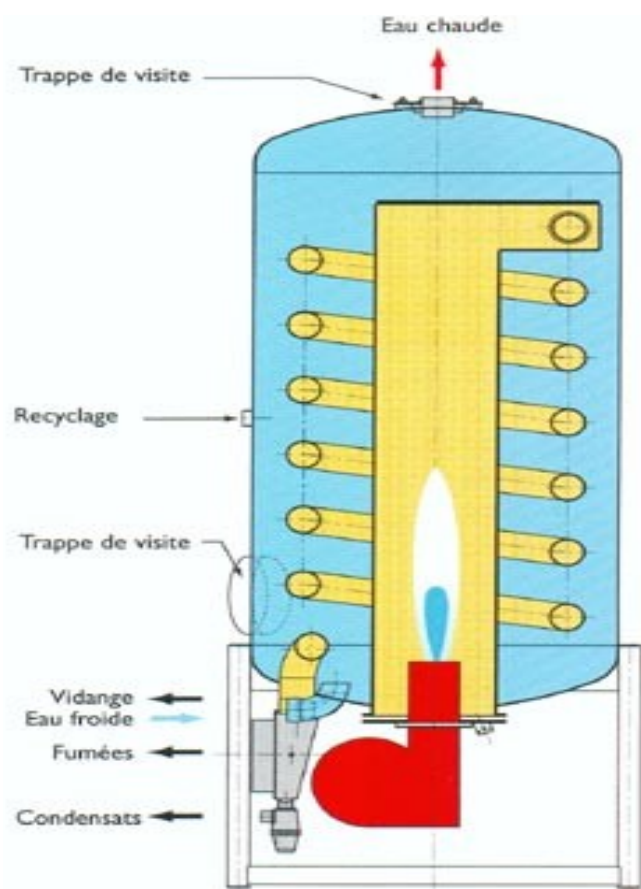
1.7.4.2. La conception générale

Le brûleur gaz à air soufflé est monté sous un **foyer vertical** dans lequel la flamme se développe de bas en haut. A la partie supérieure du foyer, les produits de combustion entrent dans un ou deux **tubes de fumées** constitués de **serpentins, en acier inoxydable austénitique** qui sont enroulés autour du foyer. Les produits de combustion circulent de haut en bas dans ce(s) serpentin(s) et sont collectés dans une **boîte de fumées** sous laquelle est raccordée une tubulure d'évacuation des condensats. L'ensemble du corps de chauffe (foyer et tubes de fumées) baigne dans l'eau à réchauffer. Le départ d'eau chaude est en partie haute pour que l'eau qui se réchauffe circule de bas en haut.

1.7.4.3. Le descriptif technique

La chaudière à condensation comprend :

- un foyer cylindrique vertical
- un (ou deux) tube(s) de fumées formé(s) en serpentin
- une cuve équipée de deux orifices de visite (l'un sur le fond supérieur, l'autre à l'arrière en bas de la virole. Cet ensemble est entièrement **en acier inoxydable austénitique** et prévu pour une pression de marche jusqu'à 7 bars.
- une soupape de sécurité est fournie
- une boîte de fumées, en acier inoxydable



- un brûleur à air soufflé à une allure (2 allures sur le 150 kW - en option - et le 300 kW) Figure 10. Chaudière eau chaude sanitaire
 - allumage par train d'étincelles
 - contrôle de flamme par ionisation
 - débit de gaz contrôlé par multi bloc
- un tableau de bord comprenant :
 - bouton marche/arrêt
 - thermostat de réglage
 - thermostat limiteur pour éviter la montée en température excessive lors d'un puisage discontinu
 - thermostat de sécurité
 - voyant haute température
 - voyant défaut brûleur
- une isolation de la cuve par de la laine de verre protégée par une feuille d'aluminium
- un habillage parallélépipédique en tôle laquée.

1.7.4.4. **Avantages**

- ✓ L'économie d'énergie: Rendement 105% PCI (eau réchauffée à 65°C); ce rendement étant très peu influencé par une augmentation de la température de consigne
- ✓ la qualité de l'eau est parfaitement préservée grâce à l'utilisation exclusive de l'acier inoxydable austénitique.
- ✓ Une longue durée de vie grâce à l'utilisation exclusive de l'acier inoxydable austénitique. L'appareil chaudronné est garanti 5 ans (sous réserve que le taux de chlorure de l'eau soit < 80 mg/L).
- ✓ L'économie d'entretien
- ✓ Les installations possibles
 - à l'intérieur des bâtiments à desservir
 - à l'extérieur des bâtiments à desservir
- ✓ La souplesse de service
- ✓ La préservation de l'environnement: Les émissions de NOx sont inférieures à 100 mg/kWh.

1.8. **Chaudières à vapeur**

Les chaudières à vapeur se classent en deux catégories essentielles selon les parcours des fumées de combustion. Ainsi, les fumées peuvent circuler soit :

- à l'intérieur des tubes et on désigne ces chaudières comme étant à tubes de fumées ;

- à l'extérieur des tubes, tubes à l'intérieur desquels circule l'eau : ce sont des chaudières à tubes d'eau.

1.8.1. Chaudières à tubes de fumées

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée de 1 à 25 tonnes/heure, en basse et moyenne pression. Le combustible utilisé est soit du gaz soit du fioul.

Les chaudières à tubes de fumées sont des chaudières à circulation naturelle. Le volume de l'eau chauffée est assez important. Si ces chaudières sont chauffées au fuel, ou au gaz, elles peuvent alors être conduites de façon automatisée. Elles sont très compactes et peuvent donc être entièrement montées et essayées en atelier avant d'être expédiées sur le site pour la mise en marche. Mais à partir de 20 bars, cette construction devient délicate à cause des épaisseurs à prévoir pour le corps. La puissance de ces chaudières est relativement faible. De nos jours, la production maximale de vapeur est de 30 tonnes/heure pour une pression maximale de 25 bars.

Le principe même de ces chaudières ne se prête guère à l'obtention de vapeur surchauffée. Cependant, la production de vapeur surchauffée est possible. Le surchauffeur est alors placé, soit dans la boîte de retour, soit dans la chambre de réversion. Dans ces types de chaudière c'est le tube foyer, où se déroule la combustion qui risque le plus de détérioration par la surchauffe du métal (rayonnement des flammes). Pour limiter sa température, il est nécessaire de maintenir parfaitement propre la surface extérieure du tube foyer afin d'obtenir un échange thermique optimal. Le tube foyer, qui se trouve dans le ballon même de la chaudière, sous le plan d'eau, collecte les gaz chauds en sortie de brûleur. Les gaz chauds, accumulés dans un premier caisson à l'arrière de la chaudière, sont véhiculés par un groupe de tubes immergés dans l'eau du ballon vers un second caisson à l'avant de la chaudière.

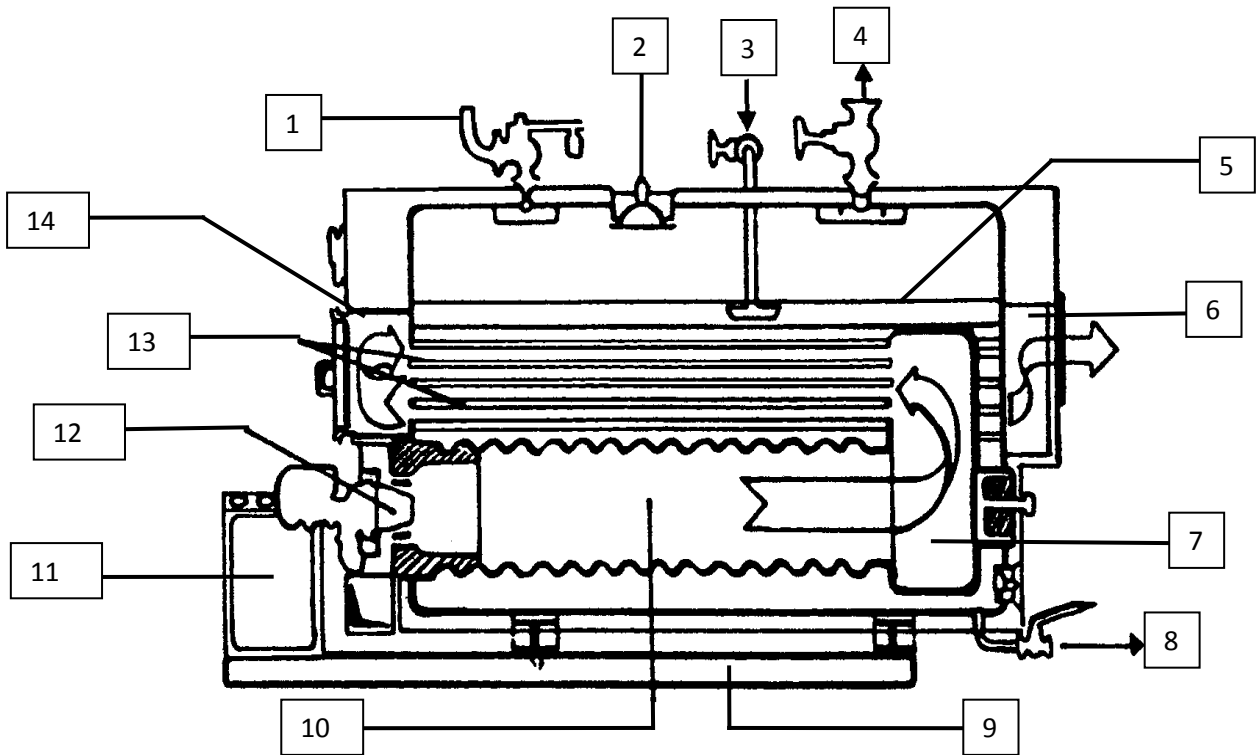


Figure 11. Chaudière à tube de fumée

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Foyer | 2. Tube de fumée 2ème passe |
| 3. Tube de fumée 3ème passe | 4. Boîte arrière à refroidissement par eau |
| 5. Chambre de combustion | 6. Brûleur |
| 7. Ventilateur de combustion | 8. Vanne de régulation |
| 9. Soupape de sécurité | 10. Indicateur de niveau de sécurité d'eau |
| 11. Manomètre | 12. Indicateur de niveau à glace |
| 13. Bloc d'isolement + manomètre | |

Il y a donc circulation des gaz de combustion dans des tubes assurant, par conduction vers l'eau de la cuve, la vaporisation par apport de calories. Un second groupe de tubes immergés emmène les gaz vers un troisième caisson à l'arrière de la chaudière, ce troisième caisson débouche sur la cheminée pour évacuation des fumées vers l'extérieur.

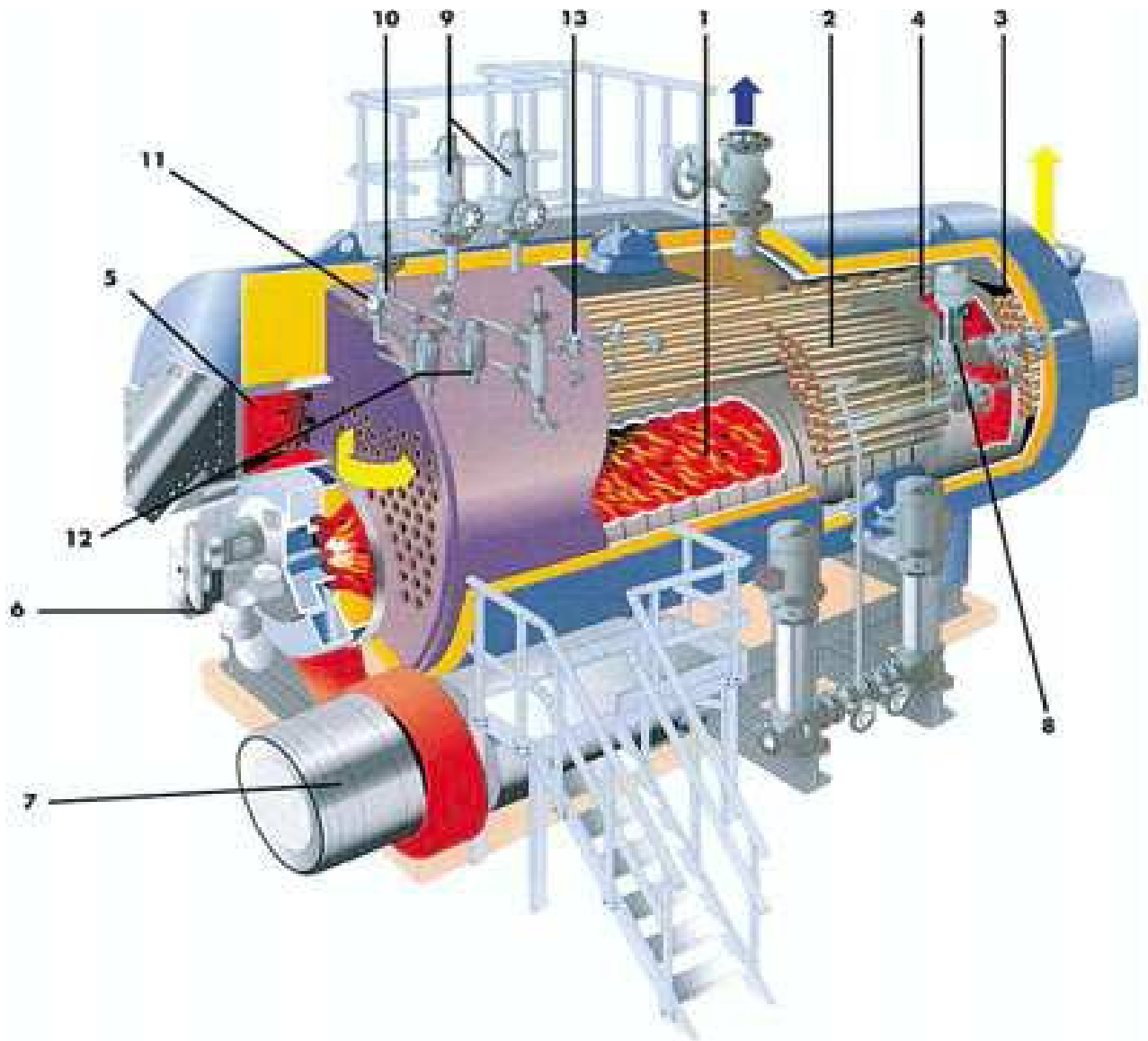


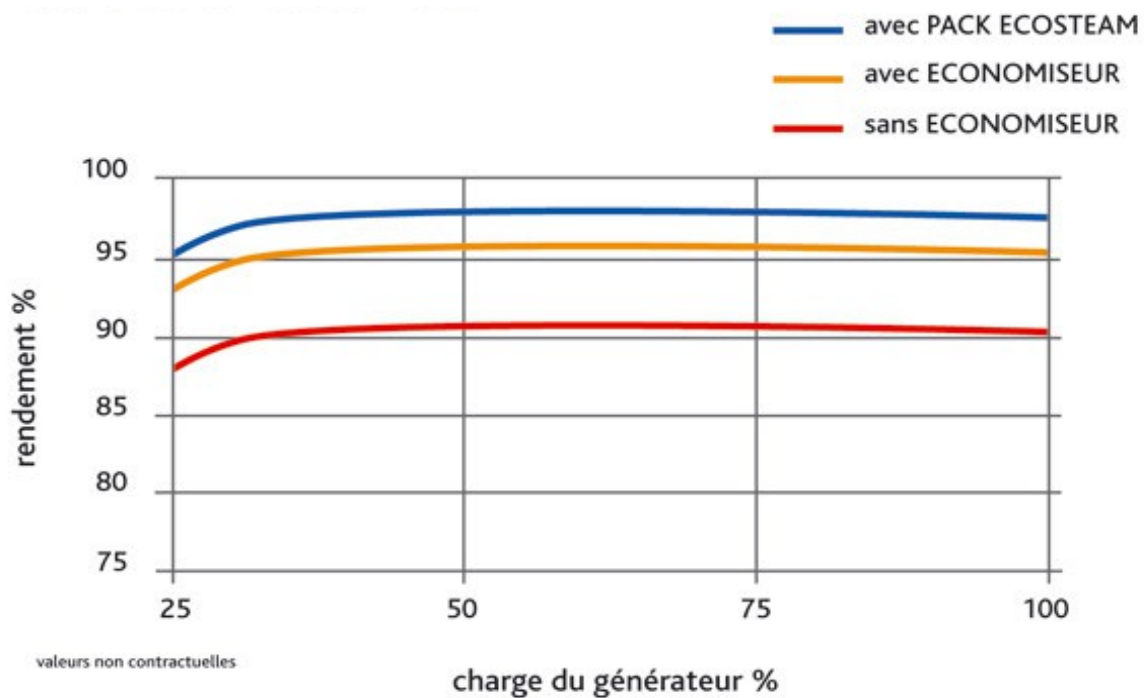
Figure 12. Chaudière à tubes de fumée

Légende :

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1- Soupape de sûreté | 2- Visite |
| 3- Détecteur de manque d'eau | 4- Prise de vapeur |
| 5- Niveau de l'eau | 6- Boîte à fumée |
| 7- Boîte de retour 1050 à 1150°C | 5- Extraction (purge) |
| 9- Support | 10- Tube foyer |
| 11- Ouvreau | 12- Brûleur |
| 13- Tube de fumée | 14- Chambre de réversion 420 à 460°C |

Il est nécessaire de recourir à un surchauffeur (source de chaleur indépendante), en aval de la chaudière à tubes de fumée pour produire de vapeur surchauffée.

Les chaudières à tubes de fumée BABCOCK WANSON se caractérisent par l'adéquation optimale du couple chaudière/brûleur qui optimise le rendement et garantit le respect des normes environnementales. BABCOCK WANSON associe également des services sur

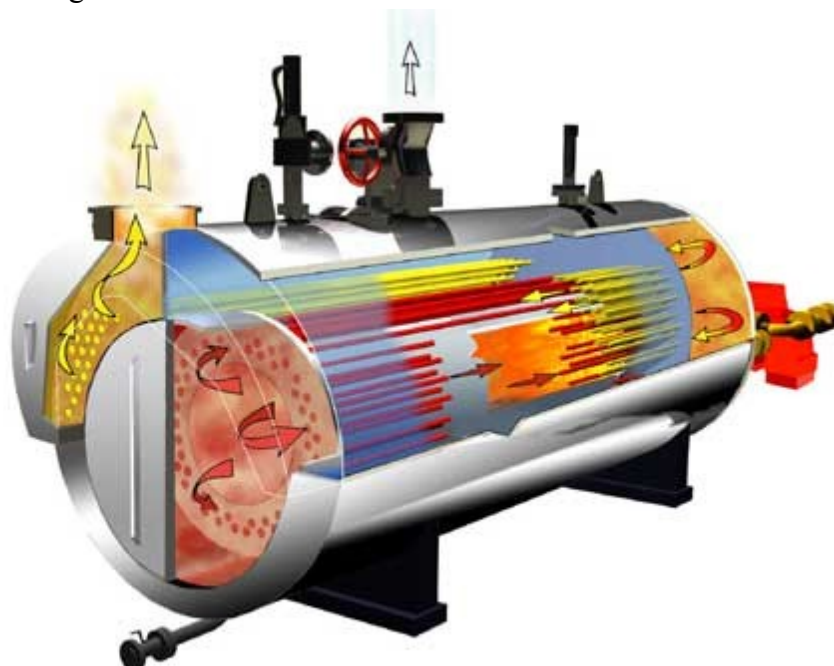


mesure.

Figure 13. Evolution du rendement de la chaudière BABCOCK

La vapeur est générée en chauffant un important volume d'eau, au moyen de fumées produites par combustion de gaz ou fioul et circulant dans des tubes immergés. C'est la technique la plus classique pour la production de vapeur saturée, d'eau ou de vapeur surchauffée pour une gamme de débits de 160 à 50 000 kg/h (112 à 34 000 kW).

Figure 14. Chaudière à tube de fumée BABCOCK



Gamme de chaudières à tubes de fumée BABCOCK WANSON:

Production de vapeur : de 160 kg/h à 50 t/h (112 à 34 000 kW) Séries à 3 parcours de fumée, à boîte noyée ou à boîte aquatubulaire, Pression de service de 10 à 18 bar en standard, plus sur demande pour les applications spécifiques. Production d'eau surchauffée: gamme de 1368 à 15000kW possibilité de production d'eau chaude pour les chaudières > à 5MW, avec environnement particulier.

Série	Débit vapeur maxi (t/h)	Pression (bar)	Rendement (%)
BWB	3	10 à 18	88/90 ₍₁₎
BWD	10	10 à 18	95 ₍₂₎ / 97 ₍₃₎
BWR	30	10 à 18	95 ₍₂₎ / 97 ₍₃₎

(1) Rendement à la puissance nominale

(2) Rendements à la puissance nominale avec économiseur

(3) Rendement avec le pack Ecosteam®

Toutes les chaudières à tubes de fumée BABCOCK WANSON se caractérisent par l'adéquation optimale du couple chaudière/brûleur qui optimise les échanges thermiques par rayonnement et par convection et améliore le rendement et le respect des normes environnementales des gaz de combustion (NO_x, CO...).



Figure 15. Modèle BWB

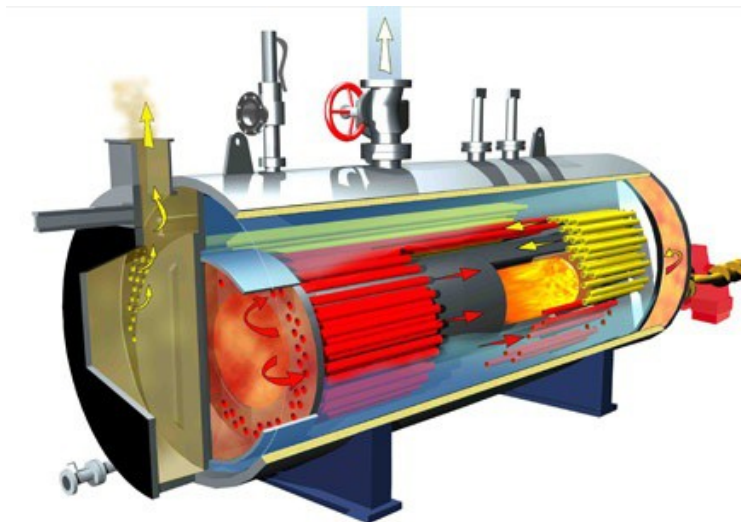


Figure 16. Modèle BWD

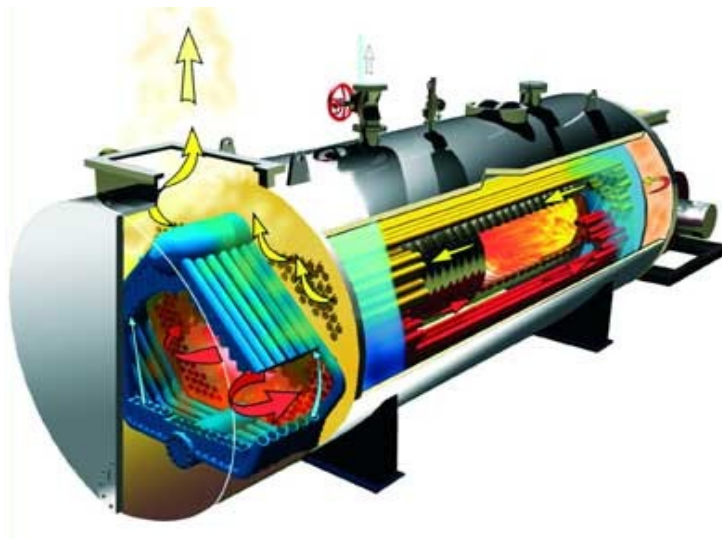


Figure 17. Modèle BWR

1.8.2. Chaudières à tubes d'eau

Ce type de chaudière fournit un débit de vapeur saturée supérieur à 20 tonnes/heure, en moyenne et haute pression. Le combustible utilisé est soit du gaz, du fioul, du charbon ou déchets.

Les chaudières à tubes d'eau sont de loin les plus utilisées. Dans ces chaudières, la circulation de l'eau peut se faire de différentes façons ; elle peut donc être :

- Naturelle (circulation naturelle)
- Contrôlée (circulation à circuit fermé ou à circuit ouvert).

Dans ce type de construction, c'est le fluide caloporteur (l'eau) qui circule à l'intérieur des tubes plongés dans les gaz de combustion.

Comme chaudières à tubes d'eau, nous avons :

- Les chaudières sectionnelles ;
- Les chaudières à faisceaux tubulaires ;
- Les chaudières à rayonnement.

Outre les chaudières à tubes de fumées et celles à tubes d'eau, il existe des chaudières à lames d'eau. Celles-ci sont obtenues à partir d'éléments laminés plats. Elles supportent mal les pressions intérieures élevées. Elles sont réservées aux petites installations domestiques. Leurs puissances sont comprises entre 120 et 150 th/h. La base de classement serait encore la production horaire de vapeur et l'équivalent approximatif en production de chaleur pour les générateurs à eau chaude sous pression. Ce type de chaudière possède deux réservoirs appelés ballon distributeur (en partie inférieure) et ballon collecteur (ou encore ballon de vaporisation, en partie supérieure), reliés par un faisceau de tubes vaporisateurs, dans cet ensemble circule l'eau qui se transforme en vapeur.

Les gaz chauds produits par le brûleur sont directement en contact avec les tubes vaporisateurs, à l'intérieur de ceux-ci se produit la vaporisation. La vapeur ainsi générée est collectée dans le ballon supérieur, l'eau excédentaire est ramenée vers le ballon inférieur par des tubes de chute non soumis à la chaleur.

Dans le domaine des hautes pressions, une pompe peut être installée pour faciliter cette circulation du haut vers le bas. Il y a donc circulation de l'eau dans des tubes placés à l'intérieur d'une enceinte contenant les gaz chauds.

Dans une chaudière à tubes d'eau, la tuyauterie qui prend en charge la vapeur saturée retourne dans le foyer, les gaz chauds apportent à cette vapeur saturée une énergie supplémentaire qui en élève la température sans en modifier la pression.

On obtient ainsi de la vapeur surchauffée à la sortie.

Propriétés	Chaudières à tubes de fumée	Chaudières à tubes d'eau
Mise en route (à puissance équivalente)	Lente (grand volume d'eau à chauffer)	rapide
Adaptation aux changements de régime	médiocre (inertie importante)	bonne
Surface de chauffe	moyenne	élevée
Sécurité	médiocres	bonne
Encombrement	faible	fort
Prix	limité	élevé
Applications usuelles		
<ul style="list-style-type: none"> • Puissance • Débit • Timbre (pression max. d'utilisation) 	<ul style="list-style-type: none"> • moyennement élevée • 1,5 à 25 t/h • 10 à 20 bar 	<ul style="list-style-type: none"> • importante • 4 à 200 t/h • 90 à 100 bar (en circulation naturelle) et jusqu'à 225 bar (circulation forcée)

Tableau 7. Comparaison des performances

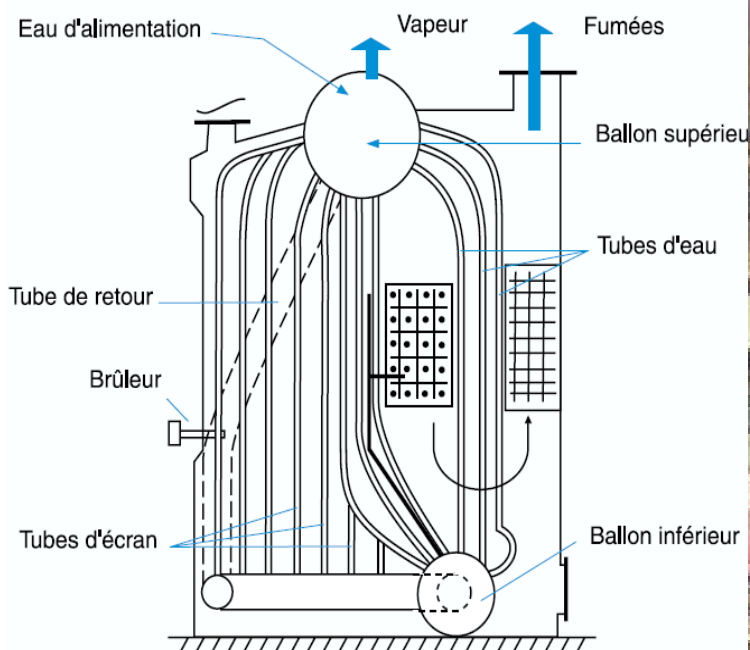


Figure 18. Chaudières à tubes d'eau

La figure suivante est assez révélatrice des dispositions des différentes composantes d'une chaudière à tubes d'eau.

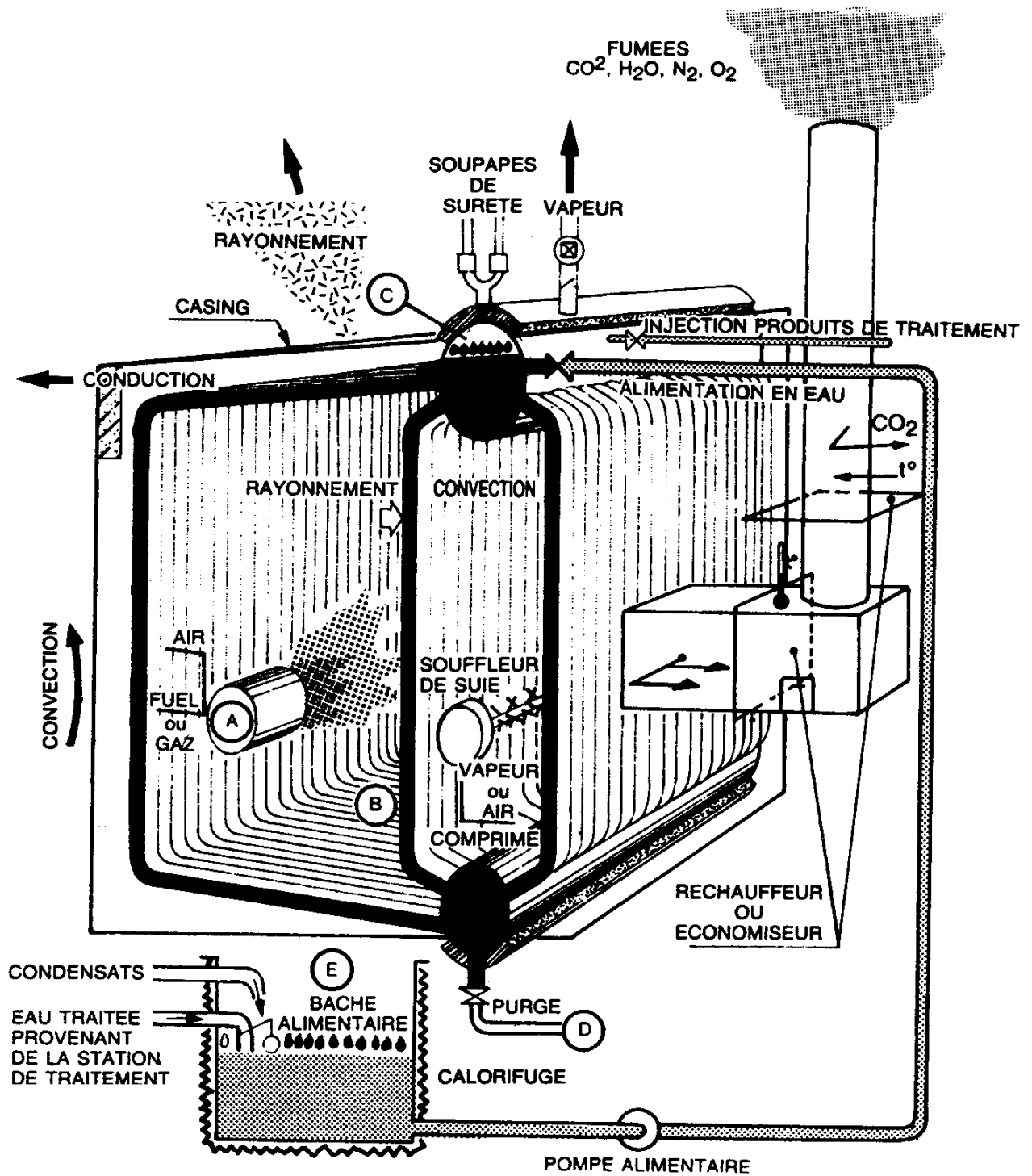


Figure 19. Vue de la structure interne d'une chaudière à tubes d'eau