



# Rapport technique

Dr.-Ing. Eberhard Franz  
Dipl.-Wirtschaftsing. (FH), Dipl.-Informationswirt (FH)  
Markus Tuffner, Bosch Industriekessel GmbH



**BOSCH**

Des technologies pour la vie

## Comparatif chaudières à grand volume d'eau et chaudière à tubes d'eau

L'apparition des chaudières à vapeur industrielles remonte à plus de 200 ans. La première centaine d'années produisit des chaudières un peu comparables à nos chaudières à tube foyer intérieur actuelles. Dans la deuxième moitié, soit environ 106 années après que James Watt ait inventé la première chaudière à vapeur accouplée à la machine correspondante, plusieurs constructeurs conçurent les premières chaudières à tubes d'eau. En particulier, la Société Steinmüller construisit une chaudière à tubes.

Par la suite, le développement des chaudières à tubes d'eau prit l'allure d'une course dramatique vers des pressions et capacités toujours plus élevées. En 1927, Benson construisit une chaudière de 30 t/h à 180 bars et 450 °C de surchauffe. Dans les années 60, des chaudières atteignant les domaines supercritiques furent construites pour des pressions de 350 bars et des surchauffes de 600 °C. En 1970, la capacité limite atteignit 1000 t/h. Cinq ans après, il était envisagé de construire des chaudières de plus de 2000 t/h.

De telles capacités et des caractéristiques de vapeur extrêmes ne peuvent être atteintes avec des chaudières à foyer intérieur à cause de leur principe de construction. Quoiqu'il en soit, les chaudières à foyer intérieur se sont perfectionnées depuis. Pour exemple de cette évolution entreprise initialement par Bosch Industriekessel GmbH, l'introduction de la chaudière 3 parcours avec boîte d'inversion des gaz dès 1953, le développement de la chaudière bi-foyer en 1956, le contrôle de niveau autocontrôlé par sonde en 1977. Ainsi, des puissances de vaporisation supérieures à 55 t/h peuvent être atteintes plus sûrement et plus économiquement

qu'avec des chaudières mono-foyer. Suivant la puissance des pressions de 30 bars et des températures de surchauffe de 300 °C, peuvent être atteintes.

L'ensemble des aspects mentionnés précédemment prouve que les deux principes peuvent se justifier. En général, il n'est pas possible de recourir à l'un ou l'autre principe dans des situations clairement définies. Certains cas particuliers peuvent toutefois transgresser cette règle. L'objet de cette étude est de fournir des critères de choix lorsque les deux principes peuvent s'appliquer : aspect sécurité, aspect utilitaire, caractéristiques techniques et coût.

### Sécurité

Dans certains pays en voie de développement comme l'Asie ou l'Afrique du Sud, les chaudières à foyer intérieur ne sont pas largement diffusées. Les constructeurs locaux construisent suivant des critères de fabrication qui sont loin de ceux pratiqués en Europe. En particulier, en ce qui concerne les équipements d'excès de pression et sécurité de niveau d'eau, leur standard de fabrication est sensiblement plus tolérant. Au vu des conséquences catastrophiques d'une explosion de chaudière, le concept de la chaudière à tubes d'eau est mieux accepté au regard de l'énergie potentielle représentée par le volume d'eau d'une chaudière à tubes de fumée.

Quelquefois aussi, intervient l'attitude conservatrice de certains prescripteurs. Mis à part l'aspect sécurité, un facteur décisif dans les contrées lointaines est la durée de vie réduite des chaudières de construction locale.

En République Fédérale allemande en particulier, et en Europe en général, il n'a pas été enregistré d'accidents importants durant les 20 dernières années dus à l'utilisation des chaudières à foyer intérieur. Cet aspect positif est vraisemblablement atteint grâce au développement du dispositif autocontrôlé du niveau d'eau en 1977, et l'introduction de règles de construction et de sécurité des chaudières à foyer intérieur en 1985 [2]. La sécurité immanente à la construction implique de renoncer à certains matériaux comme par exemple à l'acier 19Mu6, de renoncer à certains principes de construction (par exemple des fonds présoudés, des nervures de renforcement), la possibilité sans restriction de visiter l'intérieur de la chaudière et la prévision de grandes distances entre les composantes de la chaudière de température différente.

Un autre aspect important est l'introduction de l'épreuve hydraulique élevant la pression de contrôle, qui est une méthode simple et fiable de tester la résistance du corps de chauffe [3]. Les règles précédentes concernant les chaudières à foyer intérieur et leur équipement, ont rendu possible en Allemagne, le développement de ce type de générateur sans qu'aucun incident majeur se soit produit durant les deux dernières décennies, ce qui n'a pas toujours été le cas avec des chaudières d'un design différent [4, 5]. Sous réserve que la qualité de fabrication et les règles d'élaboration soient respectées, les chaudières à tubes de fumée offrent une remarquable sécurité et une grande longévité. En conséquence, les ingénieurs et les utilisateurs feront essentiellement confiance à des constructeurs en position d'offrir une large liste d'installations fonctionnant en toute sécurité depuis de nombreuses années.

#### Aspect utilitaire

Cette partie de l'étude porte sur la comparaison des qualités requises pour l'eau d'alimentation, la maintenance et les contrôles périodiques.

La qualité de l'eau d'alimentation et de l'eau en chaudière revêtent la plus grande importance pour les chaudières de tout type. Il est néanmoins important sur un plan économique, de comparer les prescriptions respectives concernant la qualité de l'eau.

Dans le cas des chaudières à tubes d'eau, un adoucissement n'est pas souhaitable pour la plupart des modèles construits [6]. Pour les chaudières à tubes d'eau, la salinité est limitée de façon à ce que la conductivité de l'eau reste inférieure ou égale à  $\leq 2000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Dans certains cas, pour des charges thermiques locales  $> 250 \text{ kW}/\text{m}^2$ , il est prescrit de l'eau déminéralisée afin d'éviter l'entartrage des tubes qui s'oppose au transfert thermique. Ces impératifs ne peuvent être respectés qu'en installant des ensembles de traitement d'eau compliqués et coûteux.

En principe, les chaudières à tubes de fumée peuvent accepter de l'eau adoucie pour des concentrations salines correspondant à une conductivité  $\leq 6000 \mu\text{S}/\text{cm}$ . Les effets indésirables dus à l'entartrage des surfaces d'échange ne sont pas à redouter. Un simple adoucissement de l'eau d'alimentation peut être adopté. Le type final du traitement d'eau restant à définir en fonction des aspects économiques et des caractéristiques de l'eau disponible. Le facteur décisif dans la durée d'amortissement par rapport à un traitement d'eau très élaboré, est directement lié à la diminution des taux de désalinisation.

Une autre différence est la taille de l'installation au regard de la puissance installée. De façon systématique, les chaudières à foyer intérieur requièrent une place moins importante.

Les opérations de maintenance peuvent être rendues plus simples pour des chaudières à foyer intérieur, comparées à celles qui sont imposées par des chaudières à tubes d'eau. Cela est principalement dû aux fatigues moins importantes engendrées par les périodes de démarrage ou d'arrêt aussi bien qu'aux facilités d'accès aux surfaces d'échange.

La même remarque s'applique aux opérations de contrôles périodiques. Pour les chaudières à foyer intérieur répondant aux critères précédents, un procédé clair, simple et économique s'est imposé, c'est-à-dire : inspection visuelle des composants de la chaudière, épreuve hydraulique de contrôle de la sécurité de pression [3]. Tout ceci permet de renoncer aux tests non destructifs du type à ultrason. Pour les chaudières à tubes d'eau, l'épreuve hydraulique de contrôle des sécurités de pression, n'est pas effectuée pour plusieurs raisons que nous n'examinerons pas dans cette étude. D'ailleurs, plusieurs parties d'une chaudière à tubes



Figure 1 : Représente une chaudière moderne à deux foyers, 35 t/h, 16 bar s



Figure 2 : Chaudière eau chaude 100 MW. Chaudière à tubes d'eau en cours de transport.

d'eau classique ne sont pas accessibles pour permettre une inspection visuelle (zones calorifugées), par conséquent, un usage très intensif du test par ultrason s'impose.

### Caractéristiques physiques

Nous allons examiner certains aspects qui découlent directement des conceptions respectives principales des deux types de chaudière : contenance en eau, accumulation calorifique, caractéristiques aux charges intermédiaires.

Au regard de sa puissance thermique, une chaudière à foyer intérieur a une contenance en eau supérieure à celle d'une chaudière à tubes d'eau. Par conséquent, une chaudière à foyer intérieur est plus apte à répondre à des variations de charge ou des démarches qui dépassent temporairement sa puissance thermique.

Mis à part une diminution minimale de la siccité de la vapeur, il ne s'en suit aucun autre effet néfaste et en particulier aucun effet négatif sur le transfert de chaleur n'est discernable. Cette facilité d'utilisation n'est pas possible avec une chaudière à tubes d'eau à cause de son principe, les fluctuations de pression influençant inmanquablement son comportement.

A cause de son faible volume d'eau, une chaudière à tubes d'eau peut être utilisée dans certains cas spécifiques. Une condition essentielle pour la durée de vie d'une chaudière à vapeur réside dans le nombre de démarrages du brûleur. Un atout décisif pour y parvenir, mis à part un réglage approprié du système de régulation réside aussi dans le minimum de charge qui peut être obtenu de la chaudière.

Dans le cas de chaudières à tubes d'eau à vapeur surchauffée appartenant à une certaine catégorie, ce minimum de charge correspond à l'allure minimum du brûleur.

Dans les chaudières à tubes d'eau, le brûleur ne peut être utilisé à son minimum technique au risque d'influencer la circulation interne entraînant un effet négatif au niveau de l'échange thermique, ce qui risque d'entraîner des inversions de circulation dans certains tubes les plus exposés au flux thermique.

### Coûts et délais

Aussi longtemps que certains critères peuvent être couverts par des chaudières à foyer intérieur, le choix d'une telle chaudière s'impose en tant que solution la plus économique, garantissant un niveau de coût de fabrication et de qualité comparables. Par ailleurs, le délai de fabrication, comme celui d'installation, sont très courts.

Habituellement, une chaudière à foyer intérieur offre un niveau de performances supérieur à celui d'une chaudière à tubes d'eau. Sa maintenance est aussi facilitée pendant les périodes d'entretien. De même, durant les périodes d'utilisation, une chaudière à foyer intérieur se caractérise par un très bon taux d'amortissement.

### Sommaire

D'une manière générale, les plages d'utilisation d'une chaudière à tubes de fumée ou d'une chaudière à tubes d'eau sont clairement réparties. Il est impossible d'envisager une chaudière à tubes de fumée pour la génération de 1000 t/h de vapeur à 180 bars et 450 °C de surchauffe. Pour des plages inférieures à 200 t/h, 30 bars et 300 °C de surchauffe, une ou plusieurs chaudières à foyer intérieur peuvent être retenues et conduisent à des investissements inférieurs et à des coûts d'exploitation meilleurs. Le process en industrie moderne et les réglementations imposent un niveau de sécurité et de longévité importants. Ces différents aspects sont examinés brièvement dans le tableau annexé.

Critère	Chaudières à foyer intérieur	Chaudières à tubes d'eau
Qualité de l'eau	Caractéristiques peu contraignantes, on admet un adoucissement simple	Caractéristiques draconiennes déminéralisation partielle ou totale sont requises
Maintenance	Très aisée	Plus coûteuse
Tests périodiques	Simple inspection suivie d'un essai hydraulique  contrôle non destructif du type ultrason utilisé seulement dans des cas extrêmes et sur de faibles surfaces	Contrôle ultrason imposé en plus des essais hydrauliques  durée des contrôles et coûts élevés
Coût à un niveau de coût de main-d'œuvre et qualité comparables	Faible	Plus élevée
Performances	Plus élevées et faciles à maintenir	Plus faibles et difficiles à maintenir en fonctionnement.
Caractéristiques aux allures intermédiaires	Toute la plage de modulation du brûleur peut être utilisée. En cas de charge inférieure au minimum technique, le brûleur peut être coupé sans inconvénient.	Dans certains cas, la plage de modulation doit être tronquée. Le brûleur ne peut être coupé sans précautions
Volume d'eau	Important compte tenu de la conception de la chaudière	Nettement inférieur
Volant thermique	Grâce à l'importance du volume d'eau, assure une couverture des variations de charge sans chute notable de pression	Influencé par les variations de charge du process, ce qui entraîne des variations de pression
Délai de livraison	Court	Long
Encombrement	Faible	Important
Période d'installation avant la première mise en service	Court	Long

#### **Littérature:**

[1] Lehmann H.: Dampferzeugerpraxis, Resch-Media Mail Verlag GmbH, Gräfelting 1994

[2] VdTÜV, FDBR, VGB: Vereinbarung 1985/1 über Richtlinien für die Beurteilung von Großwasserraumkesselkonstruktionen, VdTÜV, Essen 1985

[3] Roßmaier W.: Verbesserte Wasserdruckprüfungen bei Flammrohr-Rauchrohr und Wasserrohrkesseln, Technische Überwachung Bd. 38 (1997), Nr. 6 – Juni

[4] Diwok, H.-J., Mattern, J., Hülmann, G.: Explosion in einem 150 MW-Schmelzkammerkessel, Technische Überwachung Bd. 37 (1996), Nr. 3 – März

[5] N. N.: Vier Arbeiter starben im heißen Dampf, Bonner Generalanzeiger, 20.10.1994

[6] Dolezal, R., Dampferzeugung, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo etc., 1990

[7] N. N., TRD 403: Aufstellung von Dampfkesselanlagen mit Dampfkesseln der Gruppe IV, Ausgabe Juni 1984

[8] Franz, E.: Kaltstart von Grosswasserraumkesselanlagen

Les installations de production:  
**Usine de fabrication 1 Gunzenhausen**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen  
Allemagne

**Usine de fabrication 2 Schlungenhof**  
Bosch Industriekessel GmbH  
Ansbacher Straße 44  
91710 Gunzenhausen  
Allemagne

**Usine de fabrication 3 Bischofshofen**  
Bosch Industriekessel Austria GmbH  
Haldenweg 7  
5500 Bischofshofen  
Autriche

[www.bosch-industrial.com](http://www.bosch-industrial.com)

© Bosch Industriekessel GmbH | Figures uniquement à titre d'exemple | Sous réserve de modifications | 07/2012 | TT/SLI\_fr\_FB-Vergleich\_GWK-WRK\_01