



# Rapport technique

Dipl. Ing. Paul Köberlein, Bosch Industriekessel GmbH



**BOSCH**

Des technologies pour la vie

## Charges évitables au niveau d'installations de chaudières à vapeur à gros volume

Les installations de chaudières sont soumises à toute une série de charges qui occasionnent une sollicitation plus ou moins forte du corps de la chaudière. Outre la qualité insuffisante de l'eau, deux facteurs principaux jouent un rôle prépondérant : les influences dues à la disposition et au réglage ainsi que les influences dues aux utilisateurs. L'article suivant décrit les charges évitables au niveau des installations de chaudières et permet au lecteur d'avoir un aperçu de la planification, de l'exécution et du réglage conforme des installations, sans oublier leur exploitation.

De nos jours, la vapeur saturée est utilisée comme agent caloporteur dans un grand nombre d'entreprises commerciales et industrielles dans toutes les branches possibles et imaginables. Dans le domaine de l'industrie alimentaire et des boissons, elle supporte des processus de chauffe, de cuisson et de nettoyage. La branche textile utilise surtout l'agent caloporteur pour traiter et améliorer des tissus. Des laveries et pressings chauffent ainsi leurs machines à laver ou utilisent la vapeur pour des processus de lissage et de séchage. Les hôpitaux se servent de vapeur pure pour stériliser les instruments chirurgicaux ou encore pour alimenter la cuisine d'une cantine annexe. Il est également possible d'utiliser la vapeur pour l'humidification du climatiseur. L'industrie des matériaux de construction a besoin de vapeur saturée pour un grand nombre de processus divers, en particulier pour les processus de chauffe et de séchage, comme par exemple pour l'autoclavage de grès argilo-calcaire. Mais la vapeur est également un agent caloporteur essentiel dans bien d'autres domaines, comme par exemple l'industrie du papier et du cartonnage, l'industrie chimique, pharmaceutique.

La majeure partie de ces applications de vapeur a besoin de vapeur saturée ou de vapeur légèrement surchauffée avec des performances de jusqu'à 200 t/h, des pressions de jusqu'à 30 bars et des températures de pression de jusqu'à 300 °C. Pour la production de vapeur, on utilise en général une ou plusieurs chaudières à vapeur au gaz ou au fuel à gros volume (illustration 1). Par rapport aux systèmes de chaudières aquatubulaires, ces types de chaudières, caractérisées par la plage de performances ci-dessus, représentent souvent la meilleure alternative car elles sont plus avantageuses au niveau de l'acquisition et de l'exploitation.

L'exploitation d'installations modernes de chaudières à vapeur à gros volume ne pose actuellement aucun problème particulier. Malgré cela, ces chaudières sont souvent soumises à une série de charges inévitables qui ont une influence décisive sur la sécurité et la durée de vie des producteurs d'énergie. A ce propos, il faut notamment citer la qualité insuffisante de l'eau mais aussi deux facteurs principaux : les influences dues à la disposition et au réglage ainsi que les influences dues aux consommateurs.

### Qualité insuffisante de l'eau

La qualité insuffisante de l'eau, avec les risques de corrosion ainsi occasionnés, est la première cause citée dans les statistiques de dommages. Les mécanismes, qui caractérisent ce type de dommages, sont généralement connus. Nous n'y reviendrons donc pas en détail dans ce rapport. Souvent, les motifs pour une « mauvaise » qualité de l'eau sont les suivants :

- ▶ contrôles ou tests insuffisants des paramètres d'eau nécessaires (illustration 2)
- ▶ manque de compétences professionnelles en la matière
- ▶ mauvaise interprétation de valeurs de mesure ou aucune réaction en cas de divergences

Pour éviter des dommages dus à une qualité insuffisante de l'eau, il faut dans un premier temps se conformer strictement aux valeurs d'eau prescrites par le fabricant de la chaudière (conformément à EN 12953, 10<sup>ème</sup> partie). Dans ce domaine, il faut non seulement utiliser des composants de traitement de l'eau adaptés mais aussi disposer de compétences suffisantes dans le domaine de l'analyse de l'eau. Nous conseillons d'installer des appareils d'analyse entièrement automatisés qui saisissent et contrôlent tous les paramètres de l'eau comme la dureté, la conductibilité, la valeur pH et la pureté de condensation (illustration 3) cf. le rapport « Traitement et analyse d'eau modernes ».



Illustration 1 : Chaudière à vapeur à gros volume dans une entreprise industrielle

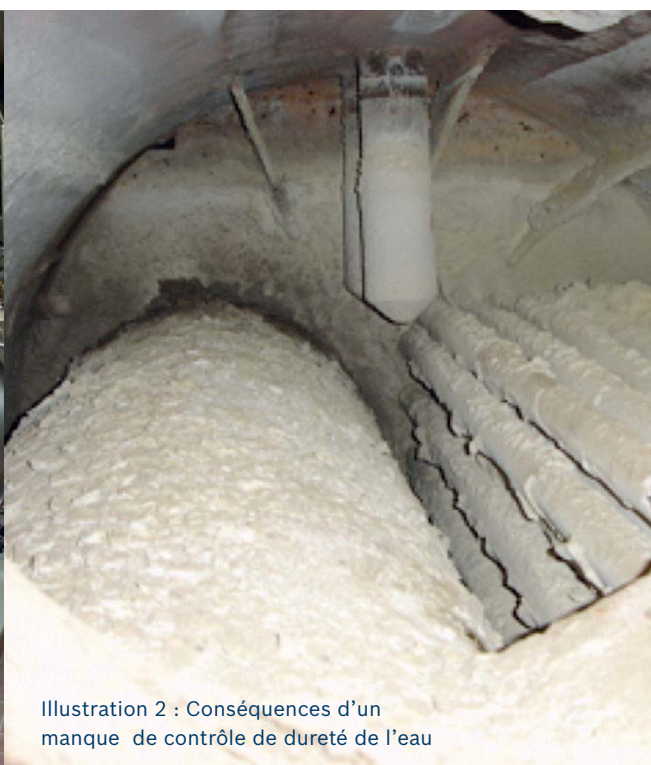


Illustration 2 : Conséquences d'un manque de contrôle de dureté de l'eau

## Influences dues à la disposition et au réglage

### Rendements de chaudières trop élevés par rapport aux besoins effectifs en vapeur

Ce problème se pose souvent pour les anciennes installations dont les besoins en vapeur ont été drastiquement réduits en raison de la diminution du nombre de consommateurs ou de l'utilisation ultérieure de potentiels de récupération de chaleur existants. Mais les nouvelles installations peuvent être concernées elles aussi si les facteurs de simultanéité de consommation ont mal été évalués durant la phase de planification ou qu'ils ont été calculés avec des réserves de puissance trop élevées. La conséquence d'une consommation de vapeur trop peu élevée sur les performances de la chaudière est que le brûleur se met en et hors service fréquemment. Cela occasionne des changements de température qui peuvent être extrêmes, en particulier pour les chaudières à gaz et de longues phases de préventilation.

Dans le foyer, les brûleurs produisent des températures comprises entre 1400 et 1700 °C. Pendant la phase de préventilation du foyer, prescrite avant chaque processus d'allumage, de l'air frais est aspiré depuis la chaufferie. Grâce aux températures peu élevées de l'air, comprises entre 20 et 30 °C, il y a un refroidissement des surfaces qui étaient auparavant chaudes. Ensuite, le brûleur s'allume et reçoit souvent très rapidement le signal de passer au niveau de charge le plus élevé. Durant des phases de charges extrêmement réduites, le brûleur est souvent remis hors service pendant la phase de mise en marche pour, ensuite – souvent peu de temps après – reprendre la phase de préventilation et d'allumage.

Cette charge permanente, due aux changements de température entre la phase de chauffe et de ventilation, occasionne des différences de dilatation entre le foyer et le manteau de la chaudière qui, au fil du temps, peuvent entraîner une usure des matériaux. Outre une disposition accrue à subir des dommages, ce mode de fonctionnement a également une influence négative sur la rentabilité étant donné que chaque phase de préventilation représente une perte de chaleur non négligeable.

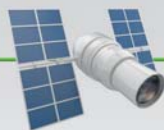
Ainsi, il faut donc viser des cycles d'allumage du brûleur de  $\leq 4$  par heure. Pour obtenir ce résultat, il est recommandé de

- ▶ monter des commandes pour les charges réduites qui retardent le réglage élevé immédiat dès le début de l'allumage
- ▶ d'utiliser des régulateurs de puissance qui permettent de maintenir le brûleur indéfiniment au niveau de charge minimum
- ▶ d'utiliser des brûleurs avec une plage de réglage élevée
- ▶ d'adapter la puissance du brûleur aux exigences effectives (ce qui signifie en clair des modifications du brûleur ou le montage d'un brûleur avec une plage de puissance moins élevée)

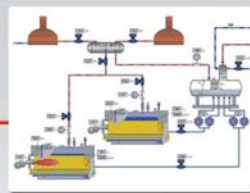
Illustration 3 : Installation de chauffage moderne avec analyse et contrôle entièrement automatisé de l'eau

Téléservice

Supervision



Système de  
gestion  
d'installation  
SCO





#### **Différence de pression insuffisante entre la mise en et hors service du brûleur**

Le réglage de la puissance de la chaudière à vapeur s'effectue via la pression de vapeur mesurée dans la chaudière. Lorsqu'on passe en-dessous de la vapeur de pression réglée  $P_{\text{brûleur marche}}$ , le brûleur se met en service – en dépassant  $P_{\text{brûleur arrêt}}$ , le brûleur se met hors service.

Un écart trop réduit entre  $P_{\text{brûleur marche}}$  et  $P_{\text{brûleur arrêt}}$  a les conséquences suivantes :

- ▶ une mise en et hors service fréquente avec dépassement de la pression et des charges dues aux changements de température décrites et les conséquences négatives que cela peut entraîner
- ▶ des paramètres de réglage réglés sur « forts » dans le régulateur de puissance pour conserver la valeur de consigne dans la plage de réglage prescrite. Le résultat : une usure élevée des composants de réglage dans le brûleur et une usure prématurée des matériaux composant les parois chauffées

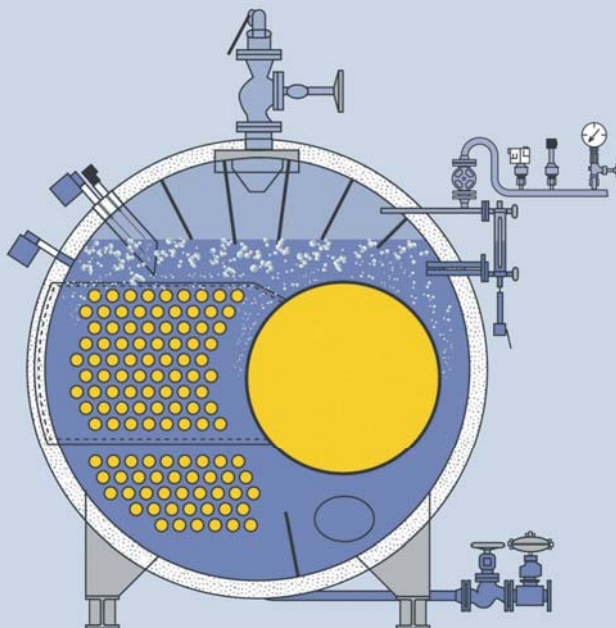
L'expérience a prouvé que ces problèmes peuvent être évités de façon fiable grâce à un écart réglé de 10 à 15% entre  $P_{\text{Brenner.ein}}$  et  $P_{\text{brûleur arrêt}}$  (en fonction du réglage du brûleur et de la pression de service de la chaudière) en se basant sur la pression de protection de la chaudière.

#### **Régulateur de puissance réglé trop « rapidement »**

Moderne Les systèmes modernes de management d'allumage ont la possibilité de régler la durée de réglage du brûleur, c.a.d. la durée entre la charge réduite et la charge élevée du brûleur de façon variable. Simultanément, il est possible d'influer sur la vitesse de réaction du brûleur aux divergences en matière de valeurs de consigne via les paramètres de réglage du régulateur de puissance. Les chaudières à vapeur à gros volume, avec leurs pourcentages élevés en matériaux et une teneur élevée en eau, sont des systèmes à réaction relativement inerte. Des régulateurs de puissance réglés trop « rapidement », éventuellement liés à des durées de réglage du brûleur très courtes, occasionnent une amenée de chaleur rapide dans le tube-foyer. Ce sont surtout les bulles de vapeur ascendantes, qui se forment dans l'espace à vapeur qui, du côté de l'eau, sont chargées de l'évacuation de cette amenée de chaleur (illustration 4). Mais cette formation de bulles de vapeur a lieu avec un léger retard. Il s'ensuit de brèves surchauffes locales et des charges supplémentaires dues aux changements de température qui, à long terme, accélèrent l'usure des matériaux.

Il est conseillé de faire procéder à une mise en service avec un réglage des allumages et des comportements de réglage par du personnel spécialisé.

Illustration 4 : Représentation schématique de l'évacuation de la chaleur au niveau des surfaces de chauffe très chaudes grâce à la formation de bulles de vapeur



### Pas de concept de commande en amont pour les installations à plusieurs chaudières

Si les installations à plusieurs chaudières ne sont pas équipées d'une commande automatique en amont, l'équipe des opérateurs joue un rôle très important. Elle doit mettre des chaudières hors service lorsque la diminution de la consommation ne justifie plus le fonctionnement de plusieurs chaudières. Si tel n'est pas le cas, les conséquences sont représentées dans le diagramme. L'illustration montre que pendant la totalité de la période en question, les besoins en vapeur (bleu) peuvent être couverts uniquement par la chaudière 1 (rouge, avec une puissance de 10 t/h). Les fréquentes mises en service de la chaudière 2 (verte), avec les charges dues aux changements de température, sont donc absolument inutiles.

En outre, on peut voir l'influence réciproque des deux chaudières l'une sur l'autre. Pendant que la chaudière 1 (rouge) réduit sa puissance, la chaudière 2 (verte) augmente la production de vapeur et vice-versa, ce qui signifie que les chaudières travaillent « l'une contre l'autre » et se gênent mutuellement. La libre évacuation de la chaleur des surfaces chauffantes ne peut plus être garantie.

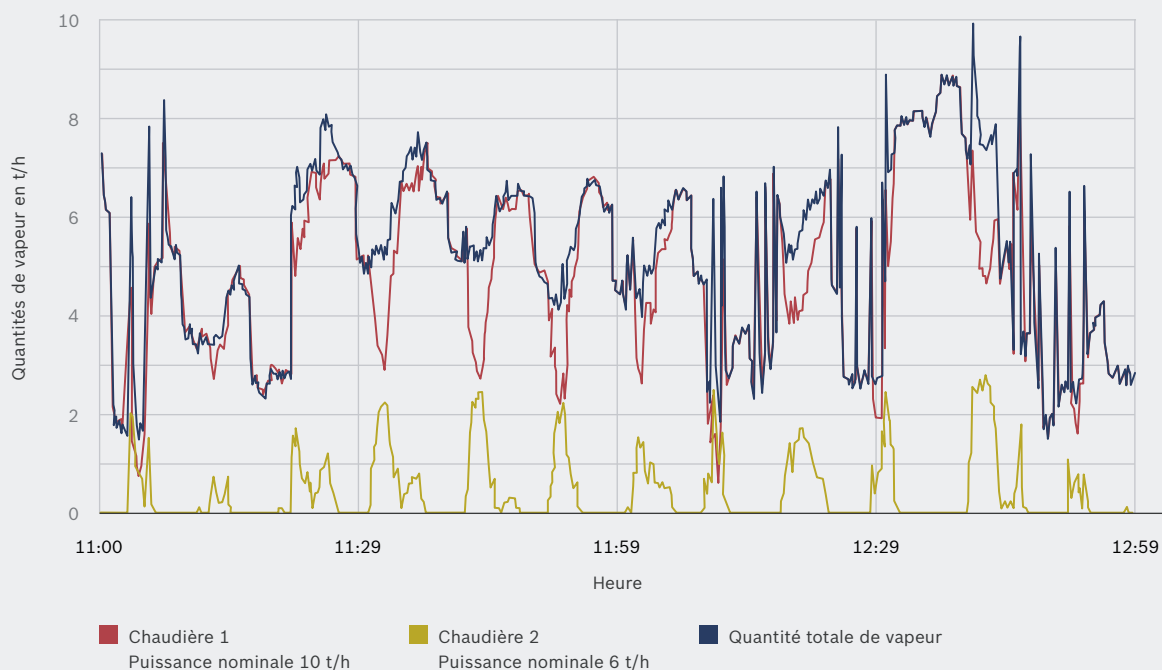
Un concept de commande en amont est donc conseillé dès des installations de chaudières avec deux générateurs de vapeur et il est absolument nécessaire pour trois ou davantage de chaudières dans une chaufferie.

Le type de commande en amont mis en place (mise en et hors service des chaudières en fonction des quantités de vapeur et de la pression) dépend d'une part du nombre de chaudières et d'autre part des fluctuations de pression acceptables par les consommateurs. Avec des commandes en amont en fonction des quantités de vapeur, il est possible de réduire très nettement les plages de fluctuation de pression réalisables.

Il faut également tenir compte de ce qui suit :

- ▶ les générateurs de vapeur dans des installations à plusieurs chaudières doivent être séparés les uns des autres hydrauliquement afin d'empêcher que lesdits générateurs de vapeur s'influencent mutuellement (par exemple via des ferrures de renversement)
- ▶ dès la phase de planification, il faut tenir compte du fait que les chaudières en aval doivent être équipées d'un serpentín réchauffeur au sol pour éviter la formation de différentes couches de température de l'eau de la chaudière pendant la phase de maintien de la température.

**Diagramme : Enregistrement de la puissance de vapeur dans une installation de chaudière à 2 générateurs de vapeur sans concept de commande en aval**



## Influences dues aux consommateurs

### Mises en service à froid fréquentes

La mise en service à froid représente la plus grande charge mécanique pour le corps de la chaudière. (Cf. « Mise en service à froid de chaudières à vapeur à gros volume »). Cela est dû à la différence de température plus levée entre le tube-foyer et le manteau de la chaudière lors de la mise en service à froid par rapport au fonctionnement normal à la température de service. Pendant la phase de mise en service, la poussée du tube-foyer (la différence entre le changement de longueur du manteau de la chaudière et le tube-foyer) est plus élevée et entraîne ainsi des tensions supplémentaires importantes, que le corps de la chaudière doit supporter. Cette charge est encore renforcée si, pendant le processus de mise en service, il ne peut pas y avoir de formation de bulles de vapeur ou seulement une formation réduite de bulles de vapeur, ce qui peut par exemple être le cas lorsque la ferrure d'évacuation de la vapeur est fermée. La circulation naturelle encore existante dans la chaudière (illustration 5) ne démarre pas. Il s'ensuit la formation de différentes couches de température dans la chaudière (froid en bas, chaud en haut), avec des tensions calorifiques supplémentaires. Lors de mises en service fréquentes, ces charges dues à des changements de température extrêmes peuvent occasionner des fissures superficielles au niveau des matériaux, respectivement, dans le pire des cas, un dysfonctionnement complet de l'installation.

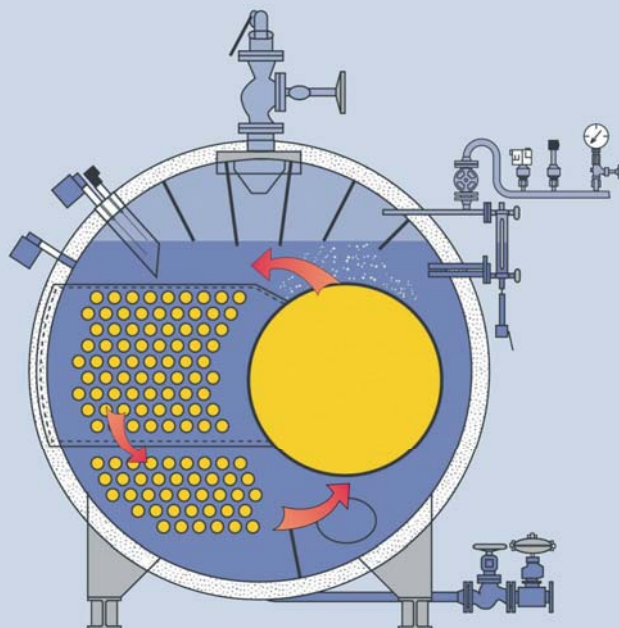
Pour réduire la charge lors de la mise en service, il faut tenir compte de ce qui suit :

- ▶ mise en service à froid jusqu'à la température de service avec une charge de brûleur aussi faible que possible
- ▶ pendant la procédure de mise en service, une quantité réduite de vapeur devrait pouvoir s'échapper pour démarrer la circulation naturelle via la poussée des bulles de vapeur
- ▶ l'idéal serait un équipement avec une commande de mise en service automatique qui règle le service du brûleur et la réception de la charge en fonction de la température de l'eau et de la pression de sorte que les charges soient réduites à un faible niveau

### De longues périodes en stand-by

Pendant le service de maintien de température ou de stand-by (par exemple lors du service avec plusieurs chaudières, lorsque la chaudière en aval n'est pas nécessaire), tout dégagement de vapeur est impossible pour cette chaudière. En fonction du concept de commande, on ferme à cet effet la ferrure de prise de vapeur ou alors la chaudière en aval est réglée sur une pression inférieure à la pression en vigueur dans le réseau. Dans ce mode de service, les allumages ne se mettent en service que pour compenser des pertes dues à la conduction et au rayonnement thermique. Si cet état est maintenu sur une période plus longue (> 3 jours), on assiste à la formation de différentes couches de température dans la chaudière. Lorsque des chaudières, dont on a ainsi maintenu la température, sont remises en service normal, la pression de service élevée (zone chaude ou supérieure) simule une chaudière immédiatement disponible. Si nécessaire, la commande de la chaudière passe très rapidement à une charge de brûleur élevée. En raison de la présence de différentes couches de température dans la chaudière, on assiste alors, à des charges extrêmes dues aux tensions calorifiques.

Illustration 5 : Représentation schématique de la circulation naturelle qui se forme au sein de la chaudière



On peut y remédier grâce au montage de serpentins réchauffeurs, destinés à maintenir les températures (illustration 6) et installés dans le fond de la chaudière. Le chauffage de ce serpentin par la vapeur s'effectue par le bas, ce qui évite de façon fiable la formation nocive de différentes couches de température dans la chaudière. Pour pouvoir utiliser cette variante, il faut cependant disposer d'une installation de plusieurs chaudières, respectivement d'une alimentation sûre en vapeur assurée par des tiers.

#### Fluctuations de pression dues à des fluctuations importantes de la consommation

En cas de fortes fluctuations de charges, c.a.d. des vitesses élevées de changements de charge et les fluctuations de pression élevées qui s'ensuivent, il peut y avoir des flux peu favorables dans la chaudière. La formation de bulles de vapeur, nécessaire à l'évacuation de la chaleur des surfaces de chauffe, peut stagner, respectivement, avec un grand nombre de petites bulles, entraîner la formation bulles de vapeur plus grandes qui ne se détachent pas immédiatement des surfaces de chauffe, favorisant ainsi des surchauffes locales. C'est pourquoi, pour les installations de chaudières qui alimentent des consommateurs avec une consommation de charge extrêmement fluctuante, il faut prendre des mesures spéciales pour limiter les fluctuations de température au sein de la chaudière, indépendamment des consommateurs. Cela peut être obtenu par exemple comme suit :

- ▶ protection accrue de la chaudière contre la pression et insertion d'une station de réduction entre la chaudière et les consommateurs
- ▶ insertion d'un réservoir à vapeur pour les charges de pointe
- ▶ un dispositif de maintien de la pression en aval de la chaudière avec une soupape commandée d'évacuation de la vapeur pour protéger la chaudière d'une chute de pression trop importante

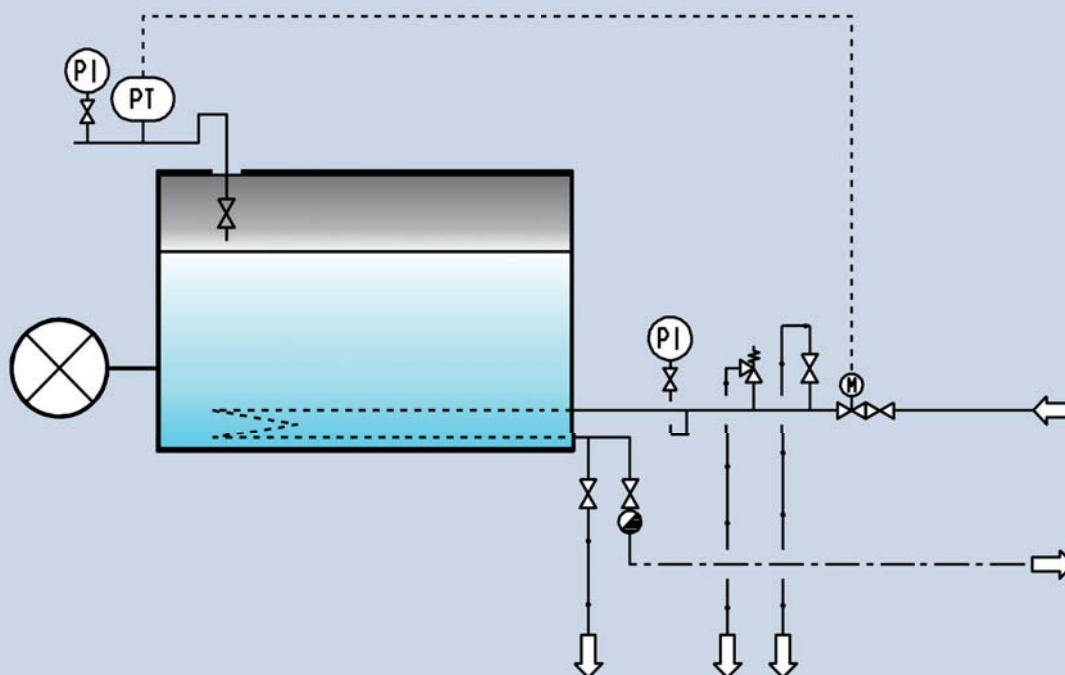
## Résumé

Les causes évitables de charges de chaudières prouvent qu'il s'agit ici d'un ensemble de thèmes très complexes. Ces thèmes englobent à la fois la planification, l'exécution et le réglage, sans oublier le mode de fonctionnement des installations. Il n'est pas possible ici de se pencher en détail sur tous les problèmes entrant en ligne de compte.

En raison de la complexité des installations de chaudières à vapeur, il faut absolument tenir compte des points suivants :

- ▶ la planification d'installations de chaudières à vapeur ne devrait être effectuée que par des sociétés spécialisées et expérimentées car une quantité de sources d'erreurs peut être évitée en amont
- ▶ la qualité des chaudières, brûleurs et composants de chaudières utilisés joue un rôle décisif pour un fonctionnement sans heurt et sans dysfonctionnement de l'installation
- ▶ la mise en place correcte de l'installation requiert la présence d'un constructeur d'installations compétent, disposant de connaissances en matière d'interaction des différents composants de la chaufferie
- ▶ le mode de fonctionnement et le suivi par les opérateurs jouent un rôle primordial et ont une influence décisive sur la durée de vie de l'installation de la chaudière à vapeur
- ▶ il est toujours très avantageux de conclure un contrat de maintenance et de téléservice avec le fabricant de la chaudière

Illustration 6 : Représentation schématique d'un serpentin réchauffeur commandé au sol



Les installations de production:

**Usine de fabrication 1 Gunzenhausen**

Bosch Industriekessel GmbH  
Nürnberger Straße 73  
91710 Gunzenhausen  
Allemagne

**Usine de fabrication 2 Schlunghof**

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-Vermeidbare-DK\_01