



BOSCH

Des technologies pour la vie

Guide de planification pour
systèmes de chaudières à vapeur

Chauffage industriel Bosch

**Planifier professionnellement
et concevoir efficacement**

 **BOSCH**

BOSCH



Préface

Boissons, aliments, pneus de voiture, papier, chauffage urbain ou médicaments - presque tous les produits que nous utilisons dans la vie quotidienne moderne sont fabriqués à l'aide de chaleur industrielle. Dans de nombreux cas, cette chaleur est fournie sous forme de vapeur par les chaudières Bosch - Des technologies pour la vie. La grande fiabilité et la longévité de nos systèmes de chaudières sont au cœur de notre philosophie de production et sont obtenues grâce à nos normes de qualité très élevées.

À l'heure du réchauffement climatique et de la pénurie croissante de ressources, il est de notre devoir de produire des systèmes de chauffage de processus très performants en collaboration avec nos précieux partenaires - avec les planificateurs, les ingénieurs d'usine et les entreprises d'installation. Ensemble, en utilisant des composants de système pour la récupération de chaleur, l'automatisation et l'intégration d'énergies renouvelables, nous protégeons l'environnement et les ressources précieuses. Grâce aux économies d'énergie qui en résultent, les composants supplémentaires s'amortissent en très peu de temps et la réduction des coûts réalisée à partir de ce moment-là motive aussi bien les exploitants que les investisseurs.

Étude et conception exacte des systèmes de plus en plus complexes est un défi et doit être parfaitement adaptée aux processus, courbes de charge et consommateurs de vapeur connectés. Ce guide d'étude et conception communique les principes fondamentaux d'étude et conception des systèmes de chaudières à vapeur. Mais il va encore plus loin en agissant comme un outil d'étude et conception interactif qui peut faciliter l'étude et conception et aider à éviter les erreurs d'étude et conception. Le document fournit également des informations aux opérateurs sur la manière de garantir un fonctionnement sûr et efficace et d'assurer une longue durée de vie.

Nous remercions tout particulièrement Tobias Lüpfer et Sebastian Weeger pour l'élaboration technique et Lutz Ehemann et Kristin Heiningen pour la mise en œuvre.



Dipl.-Ing. (FH) Daniel Gosse MBA
Chef du Marketing et de l'Académie

Bosch Thermotechnologie

Chaleur et électricité commerciales et industrielles

Table des matières complète

Préface	3	
Introduction	7	
Étude et conception	11	
1	Processus d'étude des données et questions de base	17
2	Pression	27
3	Débit de vapeur	35
4	Combustible	53
5	Installation	59
6	Législation	63
Prévention des pannes	71	
1	Étude et conception	73
2	Pendant l'installation	77
3	Pendant l'exploitation	85
Technologie	98	
1	Vapeur	103
2	Chaudière	115
3	Composants	133
4	Chaufferie	175
5	Périphériques	211
6	Production	233
Efficacité	241	
1	Principes de base	243
2	Augmenter l'efficacité de la combustion	261
3	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	277
4	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	287
5	Combinaison de processus	303

Produits	306
1 Aperçu des produits de chaudière à vapeur	309
2 Chaudières à vapeur	311
3 Chaudières à récupération de chaleur et récupération de la chaleur perdue	333
4 Modules pour chaudières à vapeur	343
5 Modules d'alimentation de chaudières	363
6 Contrôles de système	369
Outils	379
1 Symboles	381
2 Conversion	389
3 Carburants	393
4 Principes de base de la vapeur d'eau	399
5 Systèmes à vapeur	407
6 Autres	423



Navigation	Informations générales	Aide aux calculs	Aide à la conception	Tableaux et valeurs	Exonération de la responsabilité
-------------------	------------------------	------------------	----------------------	---------------------	----------------------------------

Introduction

Navigation

Pour faciliter et accélérer la navigation dans les chapitres et sous-chapitres principaux par un simple clic de souris, des boutons sont prévus sur chaque page. Lorsque l'on clique sur le chapitre principal, les sous-chapitres apparaissent.

En se référant à la table des matières claire en début de page, les utilisateurs de la version imprimée peuvent rapidement consulter les chapitres qui sont précédés dans chaque cas d'un aperçu détaillé des sous-chapitres correspondants.

Introduction	Planning	Failure prevention	Technology	Efficiency	Products	Tools
Navigation	Background information	Support with calculations	Support with design	Tables and values	Exclusion from liability	

Fig. 1 Chapitre principal et sous-chapitre

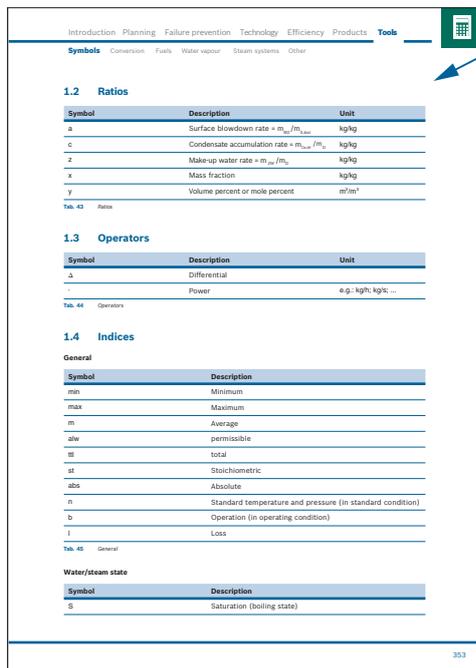
Introduction	Planning	Failure prevention	Technology	Efficiency	Products	Tools
Navigation	Background information	Support with calculations	Support with design	Tables and values	Exclusion from liability	

Fig. 2 Navigation dans le chapitre principal et les sous-chapitres

Informations générales

Les références à des informations complémentaires ou des explications des termes utilisés sont fournies dans la marge latérale tout au long du document. L'information est accessible dans la version numérique en cliquant dessus - les utilisateurs de la version imprimée peuvent trouver le numéro de page dans la référence.

→ Rapports, page 383



Symbol	Description	Unit
a	Surface blowdown rate = m_{sw}/m_{saw}	kg/kg
c	Condensate accumulation rate = m_{ca}/m_s	kg/kg
z	Make-up water rate = m_{uw}/m_s	kg/kg
x	Mass fraction	kg/kg
y	Volume percent or mole percent	m ³ /m ³

Tab. 43 Ratios

Symbol	Description	Unit
Δ	Differential	
·	Power	e.g.: kWh; kg/s; ...

Tab. 44 Operators

Symbol	Description
min	Minimum
max	Maximum
m	Average
allow	permissible
total	total
st	Stoichiometric
abs	Absolute
n	Standard temperature and pressure (in standard condition)
b	Operation (in operating condition)
l	Loss

Tab. 45 General

Symbol	Description
S	Saturation (boiling state)

Water/steam state

353

Fig. 3 Boîte de référence

Les références aux rapports techniques sont fournies à plusieurs endroits - vous pouvez les trouver en ligne sur le site :

www.bosch-industrial.com/technicalreports

Vous pouvez trouver les informations techniques pertinentes en ligne à l'adresse suivante :

www.bosch-industrial.com/technicalguides

Aide aux calculs

Les formules requises pour la conception dans la version numérique sont interactives. Lorsque vous saisissez les valeurs de votre système, le résultat est calculé et affiché immédiatement. Vous n'avez donc pas besoin de les écrire, un processus qui prend du temps et qui est également source d'erreurs.

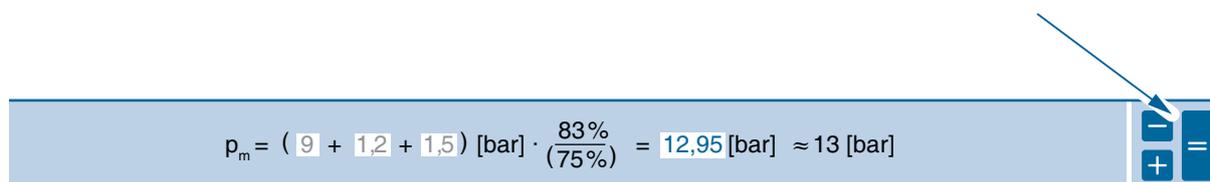

$$p_m = (9 + 1,2 + 1,5) \text{ [bar]} \cdot \frac{83\%}{(75\%)} = 12,95 \text{ [bar]} \approx 13 \text{ [bar]}$$

Fig. 4 Formule interactive

Aide à la conception par les experts de Bosch

Des formulaires sont fournis au début du chapitre Étude et conception - l'un pour les demandes rapides utilisant des données de base et l'autre pour les demandes d'experts avancées, pour lesquelles des informations techniques et financières détaillées peuvent être facilement fournies. En cliquant sur le bouton correspondant, vous pouvez envoyer les formulaires par courrier électronique, les imprimer ou les enregistrer au format PDF. Après réception du formulaire, vous recevrez rapidement une offre ferme ou les informations techniques nécessaires de la part de nos experts en chaudières.

→ Étude et conception – Chapitre 1 : Processus d'étude des données et questions de base, page 17

Tableaux et valeurs

Le chapitre Outils du guide d'étude et conception contient de nombreux tableaux et diagrammes utiles comprenant des valeurs qui sont fréquemment requises lors de l'étude et conception. Pour plus de commodité, ils sont reliés entre eux dans le chapitre ou la formule concernés.

→ Outils, page 379

Exonération de responsabilité

Un grand soin a été apporté à l'exactitude des informations techniques fournies dans ce document. Toutefois, si vous remarquez une erreur ou si vous avez des commentaires sur le contenu, nous vous invitons à nous en faire part. Bosch ne peut être tenu responsable de l'exactitude du contenu du document et des dommages résultant de son utilisation. En cas de doute, consultez toujours le mode d'emploi du fabricant de la chaudière, car il fait foi. Si vous n'avez plus le mode d'emploi de votre système de chaudière Bosch/Loos, nous pouvons vous fournir un remplacement à partir de nos archives :

info@bosch-industrial.com



Étude et conception

1	Processus d'étude des données et questions de base	17
1.1	Questions lors de l'étude	17
1.2	Enregistrement des données de base pour le système de chaudière à vapeur	20
1.3	Enregistrement de données supplémentaires pour le système de chaudière à vapeur	22
2	Pression	27
2.1	Pression de service moyenne	27
2.2	Pression de service admissible maximale	31
3	Débit de vapeur	35
3.1	Calcul de consommation	36
3.2	Analyse de la consommation	47
3.3	Définition de la puissance de la chaudière	49
4	Combustible	53
4.1	Le fioul	54
4.2	Le gaz naturel	55
4.3	Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel	56
4.4	Autres combustibles	57
5	Installation	59
5.1	Salle d'installation	59
5.2	Conditions d'installation	62
6	Législation	63
6.1	Fabrication	65
6.2	Émissions et immissions	66
6.3	Systèmes de combustion	68
6.4	Approbation	69
6.5	Opération	69

Étude et conception

La condition préalable la plus importante pour la conception et le dimensionnement d'un système de chaudière à vapeur est que les valeurs maximales et minimales de tous les paramètres pertinents aient été enregistrées, documentées et évaluées. En plus de l'enregistrement et de l'évaluation des données existantes du système, l'étude et conception des prévisions est tout aussi importante. Cette tâche orientée vers l'avenir, qui doit être réalisée conjointement avec l'opérateur du système, le planificateur, l'ingénieur de l'usine et le fabricant de chaudières, est la base d'une exploitation réussie à long terme des systèmes de chaudières à vapeur. Les différents composants de la chaufferie choisis à ce stade doivent refléter un équilibre approprié entre les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation ultérieurs d'un système de chaudière à vapeur.

Dans ce cas, il est particulièrement important de s'assurer que les changements opérationnels à venir peuvent également être couverts par les composants d'une chaufferie disponibles à ce moment-là et que les nouveaux composants peuvent être intégrés aussi facilement que possible dans les parties existantes du système.

Ce chapitre explique les paramètres généraux les plus importants pour un système de chaudière à vapeur en relation avec la pression de vapeur, la puissance de vapeur, le combustible et les conditions cadres légales.

Outre ces conditions cadres techniques, l'exploitation économique et écologique du système de chaudière est bien entendu le critère décisif pour le choix et l'installation. Les composants de chaudière et de système disponibles pour améliorer le rendement sont traités dans le chapitre Efficacité.





Facteurs influençant l'étude et conception

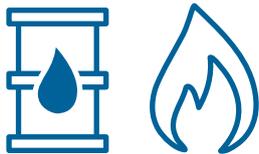
- Eau
- Condensat
- Combustible
- Consommateurs
- Opérateur
- Environment
- Installation
- Réglementations légales

Facteurs environnementaux

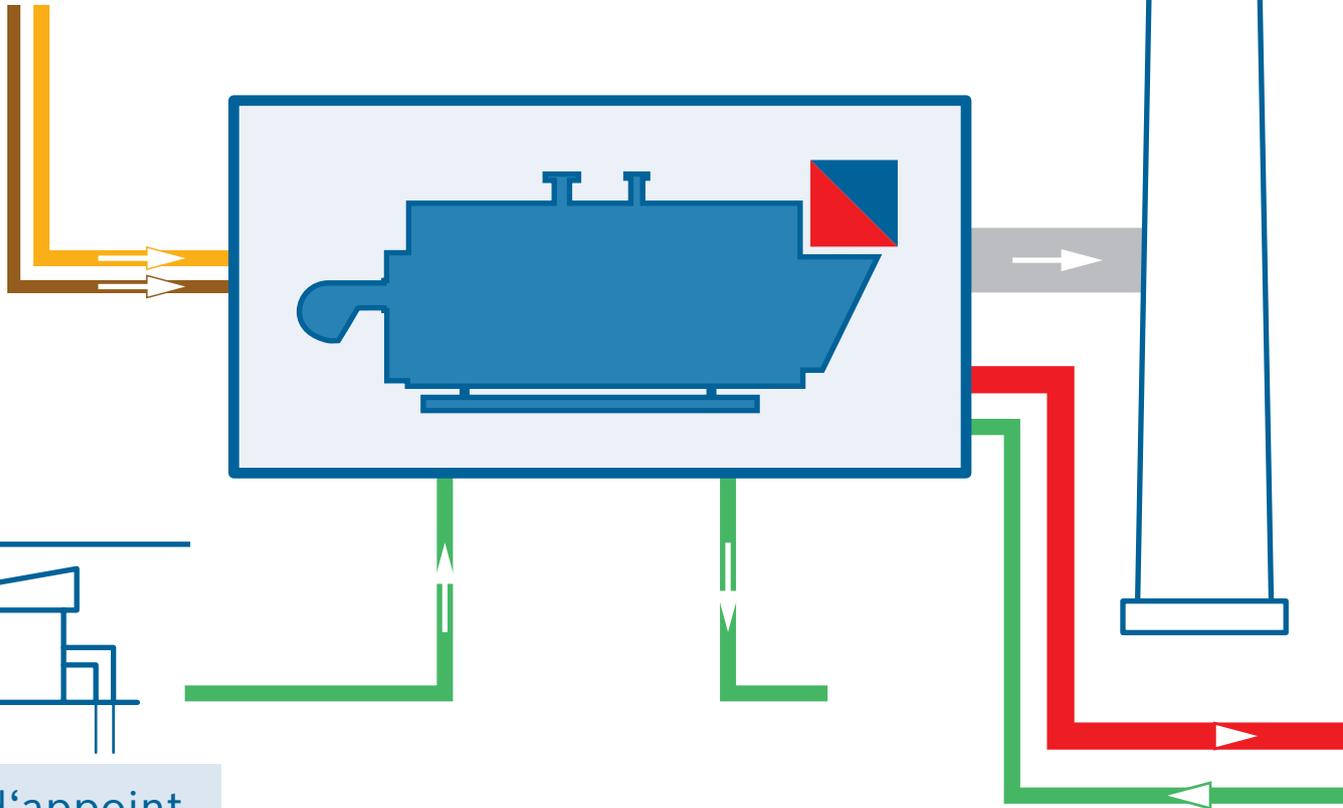
- Température extérieure
- Humidité
- Pression de l'air



Combustible



- Disponibilité
- Propriétés et état
- Sécurité d'approvisionnement



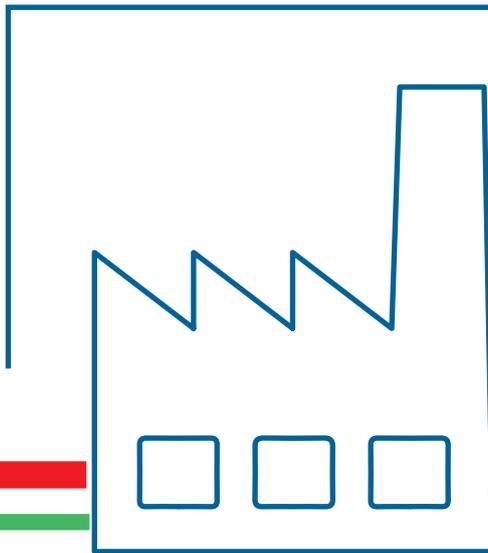
Eau d'appoint

- Dureté
- Teneur en sel



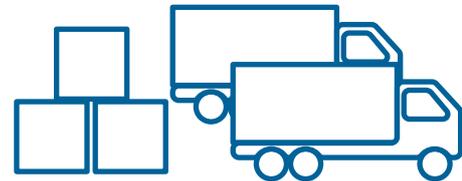
Réglementations légales

- Pays d'installation
- Approbation
- Opération
- Émissions
 - Oxyde d'azote
 - Son



Consommateur

- Pression de service
- Débit de vapeur
 - Charge minimale
 - Charge normale
 - Charge de pointe
 - Changement de charge
- Quantité de vapeur
 - Humidité résiduelle
 - Surchauffe



Condensat

- Quantité
- Température
- Pression
- Valeur de pH
- Contamination



Client/Opérateur

- Sécurité d'approvisionnement
- Extensibilité
- Efficacité énergétique
- Exigences en matière d'émissions
- Facilité de maintenance
- Contrôle du processus
 - Interfaçage avec le système d'automatisation
 - Télégestion
 - Acquisition de valeurs mesurées
 - Vérification du système





1 Processus d'étude des données et questions de base

1.1 Questions lors de l'étude

L'aperçu des questions ci-dessous est conçu pour aider au dimensionnement et à la conception de la production de vapeur. Il sert d'orientation au début du processus de l'étude et de base de réflexion avant la conclusion. Bien que la liste ne soit en aucun cas exhaustive, des erreurs récurrentes peuvent être évitées en répondant aux questions de manière cohérente et systématique.

Si, à la fin de l'étude, une ou plusieurs questions portant sur des thèmes connexes n'ont pas été clarifiées, des références à des chapitres contenant des informations pertinentes sont insérées après les questions pour vous aider.

1.1.1 Pression de vapeur

- Des marges de sécurité inutilement élevées ont-elles été utilisées pour définir la pression moyenne de fonctionnement ? Des marges de sécurité plus importantes ne doivent être utilisées que pour définir la pression de fonctionnement maximale autorisée.

→ Étude et conception – Chapitre 2 : Pression, page 27

1.1.2 Demande de vapeur

- Tous les consommateurs (consommateurs existants et consommateurs prévus à moyen terme, consommation interne du système de chaudière) ont-ils été pris en considération et les pertes de chaleur (tuyauterie, vannes, récipients) estimées ou calculées ?
- Les marges de sécurité prévues pour la production de vapeur sont-elles transparentes ? Il faut éviter de multiplier les marges de sécurité à différents endroits !
- Une analyse de la consommation a-t-elle été effectuée ? La simultanéité de la consommation de vapeur est-elle connue ? Quelle est la puissance maximale réelle de vapeur requise simultanément par les consommateurs ?
- L'analyse de la consommation montre-t-elle clairement comment et pourquoi la répartition entre les unités du générateur a lieu ?
- Le système de chaudière configuré dispose-t-il d'une plage de régulation suffisamment large pour répondre à toutes les conditions de charge fréquentes, sans avoir à faire fonctionner le système de combustion ?
- Quel est le profil de charge ou la consommation annuelle de vapeur (afin de calculer précisément l'amortissement des mesures supplémentaires de récupération de chaleur) ?

→ Étude et conception – Chapitre 3 : Débit de vapeur, page 35

1.1.3 Qualité de vapeur

- La vapeur doit-elle répondre à des exigences spécifiques (par exemple, teneur en humidité résiduelle, contact avec les aliments, vapeur surchauffée) ?

→ Efficacité – Chapitre 4.1 : Isolation, page 287

1.1.4 Eau et condensat

- Une analyse de l'eau est-elle disponible ? Les fluctuations saisonnières de la qualité de l'eau doivent-elles être prises en compte, par exemple ?
- Une analyse a-t-elle été effectuée pour déterminer quel traitement de l'eau est le plus rationnel ? En termes de rentabilité, un adoucisseur d'eau a-t-il été comparé à un traitement de l'eau par osmose ? Est-il intéressant d'utiliser un analyseur d'eau automatique ?
- Un système de désaération partielle ou totale est-il plus approprié ?
- Quelle quantité de condensat peut être renvoyée, et dans quelles conditions par rapport à la pression/température ?
- Le condensat risque-t-il d'être contaminé par des graisses/huiles ou d'autres substances nocives pour le système de chaudière (par exemple, en raison d'une fuite de l'échangeur thermique) ? Si la réponse est oui, un système de contrôle des condensats est nécessaire.

→ Technologie – Chapitre 4 : Chaufferie, page 175

1.1.5 Combustible

- Quels carburants peuvent être utilisés sur site ?
- La qualité du carburant et sa plage de fluctuation sont-elles connues ?
- La pression du flux de gaz a-t-elle été vérifiée ? Si la pression d'écoulement du gaz chute lorsque la consommation de gaz est élevée, cela peut poser des problèmes. Des écarts par rapport à la valeur de conception et à la pression d'écoulement du gaz réelle peuvent entraîner des coûts conséquents.
- Faut-il utiliser du fioul lourd, d'autres combustibles très visqueux ou sulfureux ? Un équipement spécial peut être nécessaire pour cela (par exemple, un préchauffeur du fioul ou un économiseur fourni en version Stand-alone avec dérivation des gaz d'échappement).

→ Étude et conception – Chapitre 4 : Combustible, page 53

1.1.6 Efficacité

- Quelle est l'importance de l'efficacité énergétique et quelle est la durée maximale d'amortissement pour laquelle des mesures d'économie d'énergie sont envisageables ?
- Des mesures d'efficacité sont-elles prévues et la récupération de la chaleur résiduelle a-t-elle été intégrée de manière rationnelle ? Leur efficacité et les économies de ressources ont-elles été vérifiées ?

→ Efficacité – Chapitre 1 : Principes de base, page 243



1.1.7 Opérateur

- Quelle est la rigueur des exigences en matière de sécurité d'approvisionnement ? Une configuration de chaudière partiellement ou totalement redondante est-elle requise ? Doit-il être possible de brûler un combustible de substitution via un système de combustion multicom bustible ?
- Est-il probable que la source de vapeur soit étendue dans les années à venir ? Si la réponse est oui, la capacité de l'alimentation en eau doit, par exemple, être conçue en fonction des besoins futurs et un espace suffisant doit être prévu dans la chaufferie.
- Quel est le degré de disponibilité et le niveau de qualification du personnel d'exploitation ? Quelles applications d'automatisation seraient utiles ?
- Faut-il prévoir une connexion à un système d'automatisation centralisé ?

→ Étude et conception – Chapitre 3 : Débit de vapeur, page 35

1.1.8 Lieu d'installation

- Le lieu d'installation se trouve-t-il dans une région côtière ?
- La chaudière est-elle installée dans une zone sismologique et doit-elle être spécialement ancrée/sécurisée ?
- Existe-t-il des exigences particulières concernant le bruit ou les émissions polluantes (par exemple, en raison de la proximité d'une zone résidentielle ou de l'implantation dans une zone de protection de l'air ou de l'eau) ?

→ Étude et conception – Chapitre 5 : Installation, page 59

1.1.9 Chaufferie

- Les ouvertures disponibles sont-elles suffisamment grandes pour permettre le transport vers l'intérieur ?
- La capacité portante des fondations est-elle suffisante pour le système rempli d'eau ?
- Y a-t-il un nombre suffisant d'ouvertures d'alimentation et d'extraction d'air à des endroits appropriés ?
- Les boutons d'arrêt d'urgence requis ont-ils été prévus à l'intérieur et à l'extérieur de la chaufferie ?
- L'espace disponible est-il suffisant ? Pour l'accès aux ouvertures d'inspection (côté eau et côté fumées), l'accès à la chaudière, le démontage de composants (brûleur), par exemple ?

→ Étude et conception – Chapitre 4 : Combustible, page 53

1.1.10 Tuyauterie

- La capacité portante des murs et des plafonds est-elle suffisante pour absorber la pression de la tuyauterie ?
- Toutes les tuyauteries ont-elles été planifiées avec des dimensions suffisantes ? Cela s'applique en particulier aux tuyaux de purge des soupapes de sécurité, aux conduites de ventilation, aux conduites de vapeur d'échappement et aux conduites de condensat.
- Les combinaisons interdites sont-elles évitées ?
- Les conduites de vapeur sont-elles posées avec une pente et drainées correctement ?
- L'utilisation d'éléments d'isolation acoustique est-elle envisageable ?

→ Technologie – Chapitre 5 : Périphériques, page 211

1.1.11 Législation

- Les règles et réglementations pertinentes ont-elles été pleinement prises en compte lors de l'étude et conception ?
 - En ce qui concerne les lois sur les émissions et la protection de l'environnement, en particulier les fumées et l'eau.
 - En ce qui concerne les règlements d'approbation ou le permis d'exploitation. L'autorité d'homologation est-elle consultée à un stade précoce et la demande d'homologation est-elle soumise dans les délais ? Les autorités compétentes sont-elles informées ?
 - En ce qui concerne les obligations des exploitants, en particulier la santé et la sécurité au travail et la sécurité opérationnelle. Une évaluation des risques pour le système de chaudière a-t-elle été réalisée ?
 - En ce qui concerne la participation en temps voulu des organismes notifiés approuvés.

→ Étude et conception – Chapitre 6 : Législation, page 63

1.2 Enregistrement des données de base pour le système de chaudière à vapeur

Lors de l'étude pratique d'un système, il est souvent nécessaire d'obtenir rapidement une indication approximative des coûts ou des modèles 3D avant d'élaborer une solution détaillée. Nous mettons à votre disposition un formulaire que vous pouvez utiliser pour soumettre une demande à nos ingénieurs commerciaux dans le cadre d'un processus rapide et simple.

Il suffit de remplir le formulaire et de nous l'envoyer :

- par e-mail à sales@bosch-industrial.com ou
- par fax à **+49 9831 56 929 57**.



Étude et conception basique du système de chaudière

Les paramètres les plus importants en un coup d'œil

Débit de vapeur : indique combien de kilogrammes ou de tonnes de vapeur sont nécessaires par heure. Attention : Lors du calcul de la vapeur nécessaire, il faut tenir compte de la consommation interne de vapeur.

Débit de vapeur = Puissance de la chaudière – usage propre

Débit de vapeur requis : kg/heure

L'utilisation propre par le traitement de l'eau d'alimentation se situe généralement entre 5 et 20%.

Elle peut être considérablement réduite par la récupération de la chaleur résiduelle.

Les charges de pointe ne se produisent-elles qu'occasionnellement ou le système fonctionne-t-il à pleine charge pendant de longues périodes ?

Si nécessaire, la taille de la chaudière peut être réduite par un accumulateur de vapeur (économie de coût).

- Charge de pointe rare
- Temps de charge complète plus long

Pression : le critère le plus important est la pression moyenne de service.

La pression de sécurité de la chaudière est toujours supérieure à la pression de service.

Pression moyenne de service : bar

Combustible : En fonction du combustible et des conditions limites, différentes combinaisons brûleur/chambre de combustion sont possibles.

Les brûleurs multicom bustibles sont un avantage lorsque les exigences de disponibilité de l'installation sont élevées ou lorsque, par exemple, du biogaz est disponible.

Combustible principal :

- Gaz naturel Fioul léger Éthanol
- H L Fioul lourd Graisses animales
- Biogaz Diesel

Sources externes de chaleur résiduelle :

- oui non



Envoyer la demande



Imprimer

1.3 Enregistrement de données supplémentaires pour le système de chaudière à vapeur

Avec une description plus détaillée du système requis, il est possible de déterminer avec précision le prix et l'étendue technique. Nous avons donc fourni une version plus complète du formulaire pour les experts, en plus de la version simplifiée. Grâce aux informations fournies dans ce formulaire, nous pouvons fournir une documentation étendue et des données 3D directement avec l'offre.

Il suffit de remplir le formulaire et de nous l'envoyer :

- par e-mail à sales@bosch-industrial.com ou
- par fax à **+49 9831 5692957**.



Étude et conception avancée du système de chaudière I

La périphérie du générateur de vapeur a une influence décisive sur les coûts de l'énergie, de l'eau douce, du système, des produits chimiques et de la maintenance.

Quantité de vapeur : la quantité de vapeur requise par la chaudière pour le chauffage et le dégazage de l'eau d'alimentation doit être prise en compte lors du dimensionnement de la chaudière à vapeur, afin de fournir suffisamment de vapeur au(x) système(s). Cependant, dans la plupart des cas, les chaudières sont surdimensionnées, ce qui entraîne des coûts inutiles. Dans certains cas, une chaudière nettement plus petite (dont le prix est plus avantageux) suffira lorsqu'on utilise des accumulateurs de vapeur.

Quantité maximale de vapeur requise : kg/heure

Alternative : BTU

En option : quantité de vapeur, y compris kg/heure

L'usage propre :

Les charges de pointe à court terme qu'un accumulateur de vapeur peut compenser ? Oui, Détails :
 Non

Vapeur : il existe de nombreux types de vapeur. Selon l'application, la vapeur doit répondre à certaines exigences chimiques ou avoir une teneur en humidité résiduelle définie.

Caractéristiques de la vapeur :

Pression moyenne de service : bar

Vapeur saturée Taux d'humidité résiduelle : %

Dévésiculeur requis (à partir du taux d'humidité résiduelle < 3%)

Vapeur surchauffée Température : °C

La vapeur entre en contact avec des aliments, par exemple ? Oui, Détails :
 Non

Conditions d'installation et de fonctionnement : les réglementations locales du pays d'installation et les conditions ambiantes lorsque la chaudière est en service influencent la conception de la chaudière et du système de combustion. Connaissez-vous ces détails ?

Pays d'installation : Hauteur au-dessus du niveau de la mer : m

Température min. (hiver) : °C max. (été) : °C

Installation à l'extérieur ? Oui Non Installation en réservoir (isolation étanche à l'eau et aux intempéries requise)

Tension Phases Fréquence Hz

Étude et conception avancée du système de chaudière II

La réduction des coûts d'acquisition, l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité ne sont que quelques-uns des avantages d'une conception détaillée.

Fumées : Valeur NO_x admissible : mg/m³ Valeur inconnue

Combustible :

Gaz naturel

Gaz naturel H Gaz naturel L
 LPG, Gas N° :
 Propane Butane
 Propane-Butane
 Pression du débit de gaz : mbar
 Pouvoir calorifique net : kWh/m³
 Prix du gaz : €/m³

Fioul

Fioul, extra light (EL)
 Fioul, à faible teneur en soufre (SA)
 Fioul moyen/léger
 Teneur en soufre : %
 Pouvoir calorifique net : kWh/kg
 Préchauffage de fioul disponible
 Viscosité du fioul : mm²/s
 À une température : °C
 Prix du fioul : €/kg

Autres

Graisse animale
 Huile de poisson
 Éthanol
 Biogaz
 Gaz d'égout
 Autres

Systèmes de combustion multicom bustibles : combustible supplémentaire en tant que mélange

Biogaz Sulfure d'hydrogène : mg/m³ Méthane : %
 Gaz d'égout
 Autres gaz de combustion Propriétés :
 Autres huiles/grasses/... Description :
 Disponible en continu Quantité : Disponible toute l'année

Utilisation de la chaleur résiduelle : provenant des fumées des modules CHP, des turbines à gaz, de la chaleur résiduelle provenant de sources externes, par exemple des processus industriels, etc.

Fumées des modules CHP Fumées des turbines à gaz Autres fumées
 Débit massique : Kg/h Température : °C
 Perte de pression admissible : mbar

Utilisation du condensat à pleine charge (puissance nominale)

Sans oxygène Oxygéné Condensat à haute pression
 Quantité : Kg/h Quantité : Kg/h Quantité : Kg/h
 Pression : bar Pression : bar Pression : bar
 Température : °C Température : °C Température : °C



Étude et conception avancée du système de chaudière III

Réduction de la consommation interne par la récupération de la chaleur résiduelle

Récupération de la chaleur résiduelle : de grandes quantités de chaleur peuvent être récupérées. Les débits massiques qui dégagent de la chaleur sont normalement les fumées, les eaux usées chaudes et les vapeurs d'échappement. La chaleur est absorbée par l'eau d'alimentation, l'eau d'appoint, l'eau de traitement ou l'air de combustion.

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Economiseur (échangeur de chaleur de fumées) | <input type="checkbox"/> Échangeur de chaleur de purge de surface |
| <input type="checkbox"/> Échangeur de chaleur à condensation | <input type="checkbox"/> Refroidisseur de vapeur d'échappement |
| <input type="checkbox"/> Refroidisseur d'eau d'alimentation (augmente l'efficacité de l'économiseur) | <input type="checkbox"/> Contrôle de combustion O ₂ /CO (réduit les pertes de gaz de combustion.) |
| <input type="checkbox"/> Système de préchauffage de l'air (préchauffe l'air de combustion) | |

Réduire les coûts énergétiques : dans les anciens systèmes, le ventilateur du brûleur et les pompes fonctionnent souvent en continu, à charge partielle et à pleine charge. Les régulateurs de vitesse permettent d'éviter jusqu'à 75 % de la consommation d'énergie.

- | | |
|---|---|
| Vitesse contrôlée | |
| Ventilateur d'air de combustion : | Pompe à vitesse contrôlée : |
| <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |

Propriété et état de l'eau fraîche : la propriété et l'état de l'eau fraîche déterminent le taux de purge de surface d'une chaudière à vapeur. Réduire le taux de purge de surface au minimum technique requis peut contribuer de manière significative à la réduction des coûts énergétiques.

- | | | |
|-----------------------|----------------------|-------|
| Acide silicique : | <input type="text"/> | mg/l |
| Conductivité : | <input type="text"/> | µS/cm |
| Dureté du carbonate : | <input type="text"/> | °dH |



Envoyer la demande



Imprimer



bar

EN 837-1



2 Pression

Surpression et pression absolue

Dans la technologie des chaudières à vapeur, il est courant que toutes les pressions soient indiquées en tant que surpression par rapport à une pression atmosphérique de 1 bar.

L'unité [bar] ou [barg] est utilisée à ces endroits.

La surpression est donc convertie en pression absolue comme suit :

$$p_{\text{absolue}} = p + 1,01325 \text{ bar}$$



F1. Conversion de la surpression en pression absolue

Température et pression normales et température et pression standard

Température et pression normales (selon DIN 1343) :

$$p_n = 101\,325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar} = 1 \text{ atm}$$

$$T_n = 273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

Température et pression standard (STP, IUPAC) :

$$p^\circ = 100\,000 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 273,15 \text{ K} = 0 \text{ °C}$$

Température et pression ambiantes standard (SATP, IUPAC) :

$$p^\circ = 100\,000 \text{ Pa} = 1,0 \text{ bar}$$

$$T^\circ = 298,15 \text{ K} = 25 \text{ °C}$$



F2. Température et pression normales et température et pression standard

2.1 Pression de service moyenne

La pression de service d'un système de chaudière n'est pas une valeur constante, mais fluctue autour de la pression de service moyenne p_{avg} . La raison en est que la pression de fonctionnement dans la chaudière à vapeur est utilisée comme variable d'entrée pour la régulation de sortie du système de chaudière à vapeur et fluctue donc dans une plage d'environ $\pm 10\%$ de la pression de service moyenne utilisée comme valeur de consigne.

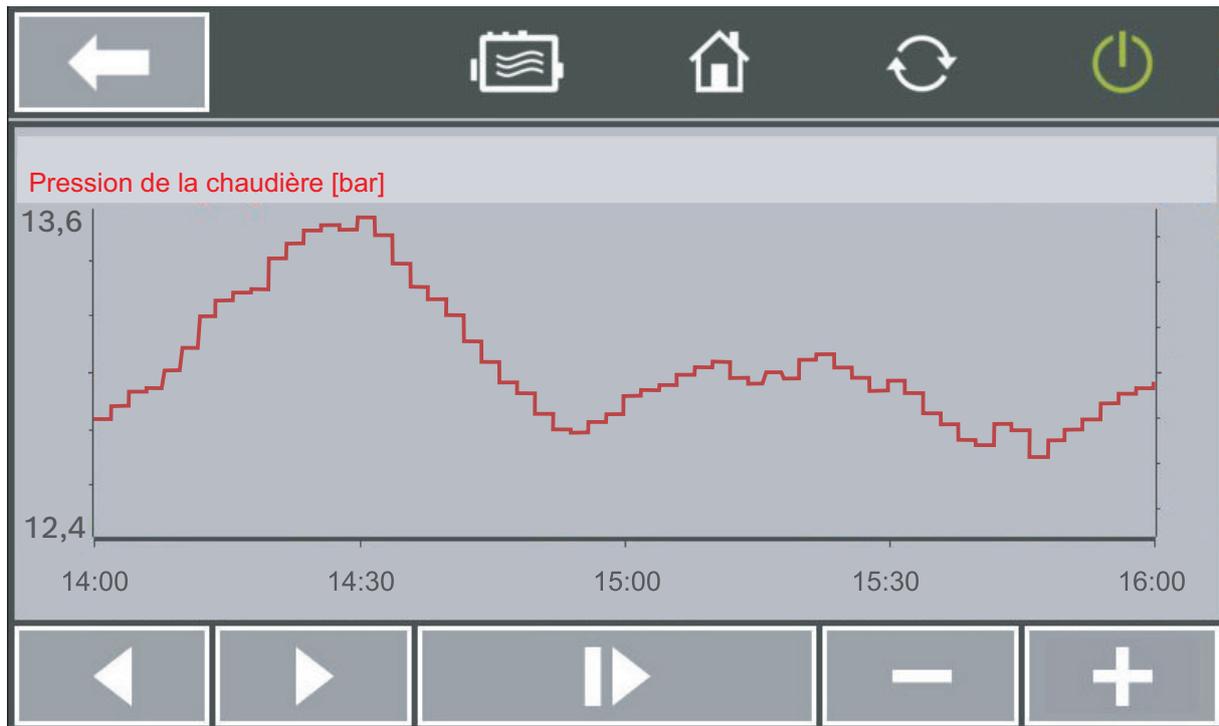


Fig. 5 Illustration de la courbe de pression dans le temps (boiler control BCO)

Conditions préalables à la détermination de la pression moyenne de fonctionnement

Pour déterminer la pression de service moyenne nécessaire p_{avg} , les aspects suivants doivent être pris en compte :

- **Pression requise/niveau de température au niveau des consommateurs de vapeur**

Pour définir la pression de service moyenne p_{avg} , le niveau de pression ou de température requis des consommateurs de vapeur doit être déterminé. Le niveau de pression maximal $p_{max,C}$ des consommateurs doit être utilisé pour concevoir la pression de service moyenne du système de chaudière à vapeur.

Le niveau de pression requis des consommateurs à une température de chauffage connue peut être déterminé à partir du tableau de vapeur en reliant la pression d'ébullition à la température.

→ Fig. 37, page 109

$$p_{max,C} = p_s(T_{max,C})$$



F3. Pression et température maximales requises au niveau du consommateur

- $p_{max,C}$ Pression maximale requise au niveau du consommateur
- $p_s(T_{max,C})$ Pression d'ébullition à la température maximale requise
- $T_{max,C}$ Température maximale requise au niveau du consommateur



- **Pertes de charge**

En outre, les pertes de pression dans la conduite de vapeur entre la chaudière à vapeur et le consommateur, les pertes de pression des vannes dans la conduite de vapeur et les pertes de pression de tout poste de régulation de pression existant doivent être prises en considération.

→ Outils – Chapitre 5.4.4 : Perte de pression – valeurs guides pour le coefficient de perte de pression ζ , page 414

Si les niveaux de pression des consommateurs sont très éloignés les uns des autres (> 3 bar) ou si une pression de vapeur constante est requise avec une plage de fluctuation plus petite que celle qui peut être obtenue par la régulation de la puissance de la chaudière à vapeur, la pression de vapeur aux consommateurs doit être réglée par des postes de réduction de pression entre les chaudières à vapeur et les consommateurs. Les circuits de commande pour le contrôle de la charge de la chaudière à vapeur et la régulation de la pression au niveau du consommateur sont séparés par l'installation de postes de réduction de la pression.

Détermination de la pression moyenne de fonctionnement

La pression de service moyenne p_{avg} de la chaudière à vapeur est déterminée en tenant compte de l'écart maximal de régulation comme suit :

$$p_{avg} = (p_{max,C} + \Delta p_p + \Delta p_{valves}) \cdot \frac{83\%}{(75\%)}$$



F4. Formule pour déterminer la pression moyenne de fonctionnement

p_{avg}	Pression moyenne de service [bar]
$p_{max,C}$	Pression maximale requise au niveau du consommateur [bar]
Δp_p	Pertes de charge dans la tuyauterie [bar]
Δp_{valves}	Pertes de charge des vannes et des postes de réduction [bar]
75% points	Niveau de contrôle inférieur pour la régulation de la puissance en fonction de la pression maximale admissible de la chaudière
83% points	Niveau de contrôle moyen pour la régulation de puissance basé sur le maximum autorisé pression de la chaudière

$$p_{avg} = (9 + 1,2 + 1,5) [bar] \cdot \frac{83\%}{(75\%)} = 12,95 [bar] \approx 13 [bar]$$



B1. Exemple de calcul pour déterminer la pression moyenne de fonctionnement

Réglage et modification de la pression moyenne de service

La pression moyenne de service p_{avg} du système de chaudière à vapeur peut être réglée sur l'unité de commande de l'armoire de commande de la chaudière pendant la mise en service et le fonctionnement du système ou spécifiée par le système d'automatisation.

Marges de sécurité pendant la conception

À ce stade du processus de conception, il est conseillé de travailler sans marges de sécurité afin de refléter les conditions réelles de fonctionnement.

Si les pressions de fonctionnement moyennes spécifiées sont trop élevées, cela peut entraîner, entre autres, un dimensionnement trop petit des vannes et des conduites de vapeur en raison de la densité plus élevée de la vapeur saturée.

Si les marges de sécurité doivent être prises en compte pour la pression dans la conception, cela peut être fait lors de la définition de la pression de fonctionnement maximale admissible

Réduction de la pression de service

Pour des raisons d'efficacité énergétique, la pression de service ne doit pas être réglée plus haut que ce qui est nécessaire. Une application typique pour une pression de fonctionnement réduite peut être effectuée pendant le week-end, cela permet de réduire les pertes par rayonnement de la chaudière.

Cependant, la pression de service ne doit pas être réduite. Si la pression de service est trop réduite, cela peut avoir les effets négatifs suivants :

- Une cavitation peut se produire dans les pompes si l'étranglement est insuffisant.
- Les pompes peuvent fonctionner dans une plage instable de la courbe caractéristique.
- Les pompes peuvent fonctionner avec un rendement inférieur.

Les vitesses élevées de la vapeur résultant d'une densité réduite peuvent également avoir des effets négatifs :

- Érosion au niveau des vannes et des coudes
- Bruits d'écoulement forts
- Augmentation du taux d'entraînement des gouttelettes de la chaudière à vapeur

La pression de service minimale admissible est donc limitée à la moitié de la pression de service configurée par défaut.

La pression de fonctionnement moyenne minimale d'un système de chaudière à vapeur haute pression ne doit pas descendre en dessous de 5 bars, car les vannes d'alimentation en vapeur et les conduites de vapeur doivent être dimensionnées très largement en raison du volume spécifique plus important de la vapeur à une pression inférieure.



2.2 Pression de service admissible maximale

La pression de service maximale admissible d'une chaudière est la surpression résultant de la construction et de la résistance des matériaux utilisés.

Cette information est fournie sur la plaque signalétique du fabricant de la chaudière, dans la documentation fournie et dans les documents de réception. La surpression doit être limitée par une soupape de sécurité sur la chaudière à vapeur. La soupape de sécurité s'ouvre lorsque la pression maximale admissible est atteinte pour empêcher la pression dans l'enveloppe de la chaudière d'augmenter davantage. Une fois que la soupape de sécurité a réagi, elle se referme lorsque la pression dans la chaudière a diminué.

Pour que la soupape de sécurité fonctionne de manière fiable, qu'elle ne réagisse pas et ne commence pas à fuir en cours de fonctionnement, les pressions dans la chaudière à vapeur sont échelonnées comme suit.

Type de pression	Formule	Valeur	Unité
Pression de fonctionnement maximale admissible (pression de sécurité/pression de déclenchement de la soupape de sécurité)	$p_{\max,perm} = p_{sv} \triangleq 100\%$	$\geq 15,7$	[bar]
Limiteur de pression	$p_{PL} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 95\%$	= 14,9	[bar]
Point d'arrêt du système de combustion	$p_{bu,off} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 91\%$	= 14,3	[bar]
Pression moyenne de fonctionnement	$p_{avg} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 86\%$	= 13,8	[bar]
Point d'enclenchement du système de combustion	$p_{bu,on} \triangleq p_{\max,perm} \cdot 75\%$	= 11,8	[bar]
Valeur standard pour le maintien de la chaleur par la bobine de chauffage = pression de service moyenne/2	$p_{HMS} \triangleq p_{avg} \cdot \sim 50\% \cong 42\%$	= 6,6	[bar]

Tab. 1 Classement des pressions de service (en pourcentage de la pression de service maximale admissible)

Il en résulte :

- La pression de service maximale admissible la plus réduite $p_{\max,perm}$ de la chaudière requise sur la base de la pression de service moyenne p_{avg} qui a été dérivée des exigences opérationnelles.

$$p_{\max,perm} = p_{sv} \geq \frac{p_{avg}}{86\%}$$



F5. Formule pour déterminer la plus petite pression de service maximale admissible requise

$$p_{\max,perm} = p_{sv} \geq \frac{13,8 \text{ [bar]}}{86\%} = 16,0 \text{ [bar]}$$



B2. Exemple de calcul pour déterminer la plus petite pression de service maximale admissible requise

- La pression de service moyenne la plus élevée $p_{avg,max}$ de la chaudière basée sur la pression de service maximale admissible $p_{max,perm}$ de la chaudière :

$$p_{avg,max} \leq p_{max,perm} \cdot 86\% = p_{SV} \cdot 86\%$$

F6. Formule pour déterminer la pression moyenne de fonctionnement la plus élevée

$$p_{avg,max} \leq 16,0 \text{ [bar]} \cdot 86\% = 13,8 \text{ [bar]}$$

B3. Exemple de calcul pour déterminer la pression moyenne de service la plus élevée

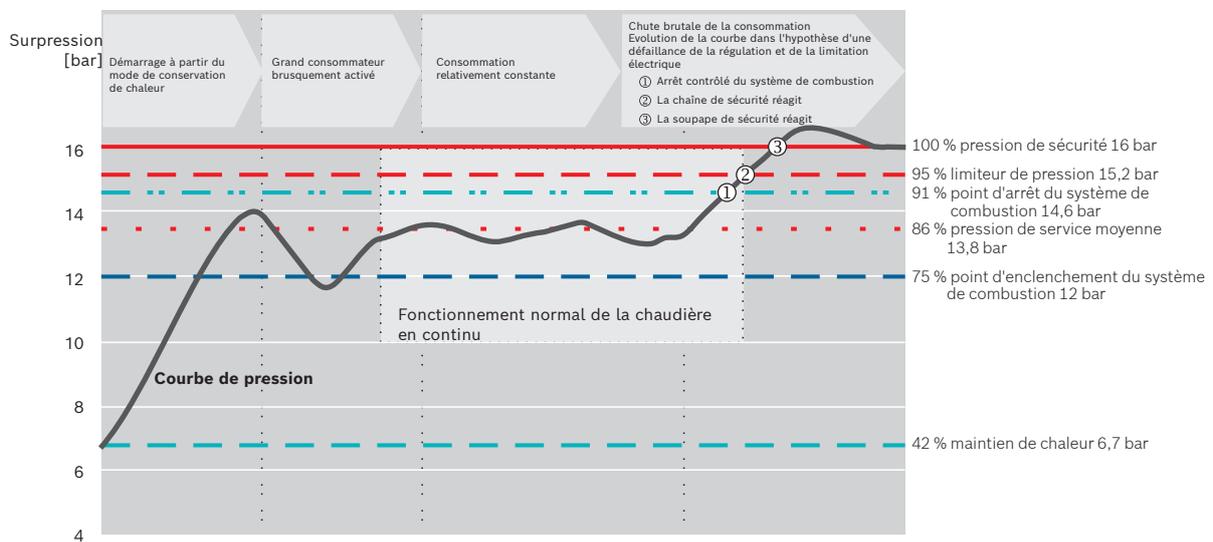


Fig. 6 Diagramme de la courbe de pression avec les points de commutation lors de l'utilisation de chaudières à vapeur avec une pression de service moyenne de 13,3 bars.

D'autres gradations pour la pression moyenne de fonctionnement peuvent également être sélectionnées dans la commande de la chaudière, sous réserve de certaines limites.

Autres composants du système

En plus du corps de la chaudière lui-même, il faut tenir compte de la pression de service maximale admissible et de la température maximale admissible de tous les composants et ensembles directement raccordés à la chaudière (par exemple, vannes, capteurs, tuyauterie, joints, appareils).

→ Courbe pression/température pour bride selon EN 1092-1



Marges de sécurité lors de la conception



En référence à la différence entre la surpression $p_{\max,perm}$ et la surpression maximale admissible de l'étage de pression de chaudière immédiatement supérieur, une marge de sécurité de conception peut effectivement déjà exister. Si une marge de sécurité supplémentaire est nécessaire pour la plage de pression, un étage supérieur de pression de chaudière approprié peut être sélectionné.

Si des consommateurs dont la pression de service admissible est inférieure à celle de la chaudière à vapeur sont raccordés au réseau de vapeur, ils doivent être équipés de leurs propres soupapes de sécurité ou de postes de réduction de pression avec soupapes de sécurité intercalées.





3 Débit de vapeur

Les données les plus importantes sont obtenues à partir des performances des consommateurs de vapeur individuels. Cependant, la consommation interne du système de chaudière à vapeur doit également être prise en compte, notamment pour le chauffage et le dégazage de l'eau d'appoint et des condensats, les purges de surface et les pertes de chaleur dans la tuyauterie.

Pour déterminer le débit de vapeur nécessaire de l'installation de chaudière, il faut également tenir compte de facteurs supplémentaires tels que la simultanéité des puissances maximales des différents consommateurs, le taux de charge maximal et des aspects purement techniques qui ne peuvent souvent être mesurés que difficilement (par exemple, la sécurité d'approvisionnement ou les extensions possibles).

La répartition typique du débit de vapeur est présentée ci-dessous. Le calcul de la consommation précise spécifique au projet est décrit dans le chapitre suivant.

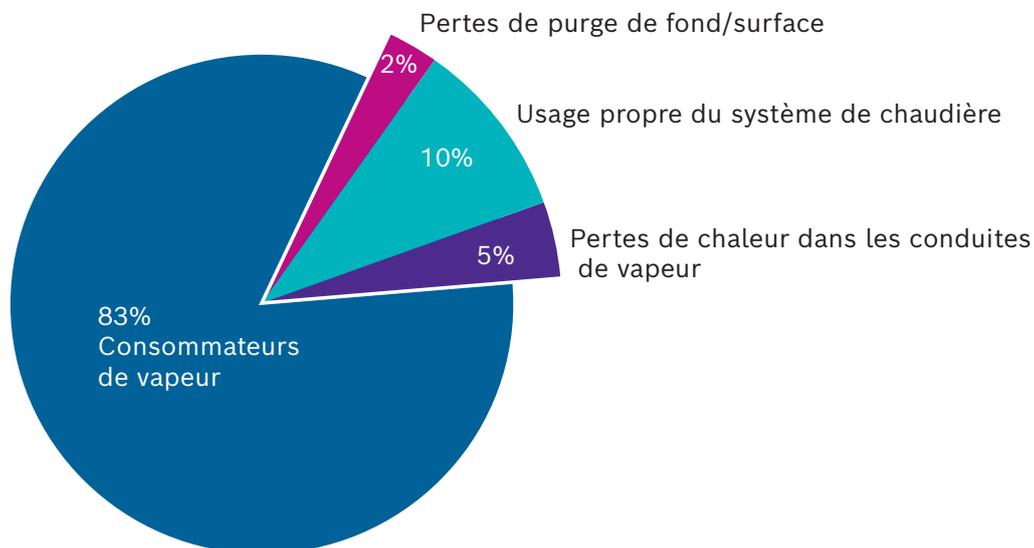


Fig. 7 Illustration de la corrélation entre le débit de vapeur nominal de la chaudière et le débit de vapeur aux consommateurs (les valeurs indiquées sont des exemples)

Liste des symboles

Symbole	Unité	Définition
\dot{m}_S	[kg/h]	Débit de vapeur; quantité de vapeur
$\dot{m}_{S,dC}$	[kg/h]	Quantité de vapeur pour les consommateurs directs
$\dot{m}_{S,iC}$	[kg/h]	Quantité de vapeur pour les consommateurs indirects
$\dot{m}_{S,IP}$	[kg/h]	Quantité de vapeur due à l'expansion de la vapeur
$\dot{m}_{S,OU}$	[kg/h]	Utilisation propre du système de chaudière
$\dot{m}_{S,boi}$	[kg/h]	Débit de vapeur de la chaudière
\dot{Q}	[kW] ; [MW]	Puissance de chauffage
\dot{Q}_{HX}	[kW] ; [MW]	Puissance thermique de l'échangeur de chaleur
r	[kJ/kg]	Enthalpie de l'évaporateur à la pression correspondante
c_p	[kJ/kgK]	Capacité thermique spécifique de l'eau (jusqu'à 250 °C peut être calculée avec une erreur minimale avec la constante $c_p = 4,19$ kJ/kgK)
ΔT	[K]	Différence de température

Tab. 2 Liste des symboles

3.1 Calcul de consommation

Pour déterminer le débit de vapeur nécessaire d'une installation de chaudières à vapeur, il faut idéalement enregistrer tous les consommateurs de vapeur du réseau de vapeur dans un tableau avec leur puissance minimale et maximale, puis additionner la puissance de tous les consommateurs.

Ce faisant, il convient de faire une distinction entre les consommateurs suivants :

- Consommateur direct (par ex. autoclave)
- Consommateur indirect (par ex. échangeur de chaleur)
- Pertes de vapeur de détente (par ex. au niveau du réservoir de condensat non pressurisé)
- Pertes de chaleur dans les conduites de vapeur
- Utilisation propre du système de chaudière (par ex. vapeur d'échauffement pour le réservoir d'eau d'alimentation)

Consommateur direct

\dot{m}_{dC} [kg/h] = quantité de vapeur pour le consommateur direct



Dans le cas des consommateurs de vapeur directe, la vapeur entre en contact direct avec le produit (et non par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur), où elle quitte le système sous forme de condensat. Le condensat produit est éliminé avec le produit (ou reste dans le produit) et n'est plus disponible pour le circuit de vapeur. Cette eau consommée doit être remplacée une nouvelle fois comme eau d'appoint par le système de traitement de l'eau du circuit de vapeur.

→ Technologie – Chapitre 4.1 : Traitement de l'eau, page 177



L'eau d'appoint doit être désaérée en la chauffant dans le réservoir d'eau d'alimentation. Cela augmente la consommation propre requise par le système de chaudière à vapeur.

Les consommateurs directs se trouvent, par exemple, dans les processus de séchage lors de l'humidification, lors du chauffage de bains bouillants ou lors de la stérilisation.

Le débit de vapeur nécessaire aux consommateurs directs de vapeur est indiquée sous la forme nécessaire de débit massique $\dot{m}_{s,dc}$ (quantité de vapeur pour les consommateurs directs) en [kg/h]. Si une puissance thermique est indiquée pour ces consommateurs de vapeur, les mêmes formules utilisées avec les consommateurs indirects pour la conversion de la puissance thermique en débit de vapeur s'appliquent également ici.

Consommateur indirect

Les consommateurs de vapeur indirects sont tous les types d'échangeurs de chaleur, dans lesquels la vapeur se condense tout en libérant de l'énergie thermique (qui chauffe un milieu, par exemple de l'eau). Le point d'ébullition du condensat produit au cours de ce processus correspond initialement à la pression de la vapeur à l'entrée de l'échangeur de chaleur, mais il peut également être refroidi davantage jusqu'à un point inférieur au point d'ébullition, en fonction du niveau de température du milieu chauffé. On parle alors de condensat surfondu. Le condensat est transporté via le dégazeur vers le réservoir d'eau d'alimentation.

La puissance thermique d'un échangeur de chaleur est normalement spécifiée en [kW] ou [MW]. Pour déterminer le débit de vapeur requis en [kg/h] de vapeur saturée, la puissance thermique de l'échangeur de chaleur doit être convertie en débit de vapeur saturée.

Le besoin en vapeur saturée d'un échangeur de chaleur peut être initialement calculé à l'aide de la formule simple suivante :

$$\dot{m}_{s,ic} = \dot{Q}_{HX} \cdot 1.8$$



F7. Formule pour le calcul approximatif des besoins en vapeur saturée des consommateurs indirects

$\dot{m}_{s,ic}$	Quantité de vapeur pour les consommateurs indirects [kg/h]
\dot{Q}_{HX}	Puissance thermique de l'échangeur de chaleur [kW]
1.8	Facteur d'estimation pour la conversion

$$\dot{m}_{s,ic} = 1,000 \text{ [kW]} \cdot 1.8 = 1,800 \text{ [kg/h]}$$



B4. Exemple de calcul pour le calcul approximatif du besoin en vapeur saturée des consommateurs indirects :

Pour une pression de vapeur de 5 – 18 bar, la différence par rapport à la production réelle de vapeur est <5%. Le sur-refroidissement éventuel du condensat n'est pas pris en compte dans ce cas.

Pour déterminer précisément le débit de vapeur basé sur la puissance thermique d'un échangeur de chaleur, l'enthalpie d'évaporation doit être déterminée à partir du tableau de vapeur saturée avec la pression de service réelle de l'échangeur de chaleur.

→ Outils – Chapitre 4.2 : Tableau d'eau vapeur, page 400

La puissance thermique de l'échangeur de chaleur peut ensuite être convertie en sortie de vapeur saturée comme suit :

$$\dot{m}_{S,iC} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3,600}{r}$$



F8. Formule de conversion de la puissance thermique en puissance de vapeur saturée

- $\dot{m}_{S,iC}$ Quantité de vapeur pour les consommateurs indirects [kg/h]
- \dot{Q}_{HX} Puissance thermique de l'échangeur de chaleur [kW]
- r Enthalpie d'évaporation à la pression correspondante [kJ/kg]

$$\dot{m}_{S,iC} = 1,000 \text{ [kW]} \cdot \frac{3,600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1,959 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} = 1,838 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$



B5. Exemple de calcul pour la conversion de la puissance thermique en puissance de vapeur saturée

Si le condensat produit est surfondu, c'est-à-dire en dessous du point d'ébullition, dans toutes les conditions de fonctionnement, le débit de vapeur peut être calculée à l'aide de la formule suivante, en tenant compte de la puissance thermique pour la surfusion du condensat :

$$\dot{m}_{S,iC} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3\,600}{r + c_p \cdot \Delta T} = \dot{Q}_{HX} \cdot \frac{3\,600}{h'' - h_{Co, \text{dehors}}}$$



F9. Formule de calcul de la quantité de vapeur pour les consommateurs indirects, y compris le surfusionnement du condensat

- $\dot{m}_{S,iC}$ Quantité de vapeur pour les consommateurs indirects [kg/h]
- \dot{Q}_{HX} Puissance thermique de l'échangeur de chaleur [kW]
- r Enthalpie d'évaporation à la pression correspondante [kJ/kg]
- c_p Capacité thermique spécifique de l'eau [kJ/kgK] (jusqu'à 250 °C, elle peut être calculée avec une erreur minimale avec une constante $c_p = 4.19$ [kJ/kgK])
- ΔT Surfusion du condensat, différence de température $T_{S - T_{Co, \text{dehors}}}$ [K]
- h'' Enthalpie de la vapeur saturée [kJ/kg]
- $h_{Co, \text{outside}}$ Enthalpie du condensat directement en amont de la sortie de l'échangeur de chaleur



Pertes de la vapeur d'expansion

$\dot{m}_{S,ES}$ [kg/h] = quantité de la vapeur d'expansion



La vapeur d'expansion se produit lorsque le condensat chaud sous pression se dilate à une pression inférieure à la pression d'ébullition. Cela se produit, par exemple, lorsque le condensat s'écoule à travers des purges ou des vannes de condensat ou lorsqu'il s'écoule dans un réservoir de condensat ouvert à la pression atmosphérique. Plus la température du condensat est élevée, plus la production de vapeur de détente est importante

La quantité de vapeur d'expansion produite peut être lue sur le diagramme ou calculée à partir du tableau de la vapeur d'eau.

→ Outils – Chapitre 4.2 : Tableau d'eau vapeur, page 400

Dans ce cas, il faut considérer

que la quantité de vapeur d'expansion peut déjà être réduite en raison de la surfusion du condensat. Si la vapeur de détente est libérée dans l'environnement, la vapeur perdue par le système de chaudière doit être réintroduite comme eau d'appoint, de la même manière que lorsque l'eau est perdue par des consommateurs directs.

La vapeur d'expansion peut également être utilisée par des mesures de récupération de chaleur et réintroduite directement dans le circuit d'eau.

→ Technologie – Chapitre 3.3 : Economiseur, page 148

Pertes de chaleur dans les conduites de vapeurs

$\dot{m}_{S,IP}$ [kg/h] = quantity of steam for equalisation of heat losses in the steam pipes



La perte de chaleur dans la tuyauterie doit également être prise en compte dans la conception du débit de vapeur. Si la tuyauterie est bien isolée, on peut supposer une demande d'énergie thermique d'environ 10 kg de vapeur par heure et dans chaque tuyau (10 kg_s / (h · 100 m)).

Pour calculer les pertes de chaleur avec plus de précision, un calcul séparé doit être effectué pour chaque tronçon de tuyauterie en fonction du diamètre nominal, de la longueur du tuyau et de l'épaisseur de l'isolation.

Les pertes de chaleur au niveau des vannes, des raccords à brides et des réservoirs doivent également être prises en compte en conséquence. Vous trouverez les valeurs indicatives correspondantes dans le chapitre Efficacité.

→ Efficacité – Chapitre 4.1 : Isolation, page 287

Malheureusement, les pertes de chaleur par le biais de canalisations, de réservoirs et de vannes mal ou partiellement isolés sont encore sous-estimées. C'est principalement le cas parce que pendant la durée de vie du système, l'isolation est retirée pour l'inspection ou la maintenance et n'est pas réinstallée par la suite. L'isolation des tuyauteries (aussi bien dans le système de vapeur que dans le système de condensat) représente l'une des mesures d'économie les plus économiques dans les systèmes existants.

Si les pertes de chaleur dans la tuyauterie sont calculées avec précision, la demande de vapeur pour ces pertes doit être déterminée de la même manière que la demande de chaleur pour un consommateur indirect.

$$\dot{m}_{S,IP} = \dot{Q}_{IP} \cdot 1,8 = \dot{Q}_{IP} \cdot \frac{3\,600}{r}$$



F10. Formule de calcul de la quantité de vapeur pour les pertes de chaleur dans les canalisations

$\dot{m}_{S,IP}$	Quantité de vapeur pour les pertes de chaleur dans la tuyauterie [kg/h]
\dot{Q}_{IP}	Puissance thermique des pertes de la tuyauterie [kW]
1.8	Facteur d'estimation pour la conversion
r	Enthalpie d'évaporation à la pression correspondante [kJ/kg]

$$\dot{m}_{S,IP} = 20 \text{ [kW]} \cdot 1,8 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 36 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$

$$\dot{m}_{S,IP} = 20 \text{ [kW]} \cdot \frac{3\,600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]}{1\,959 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]} = 36,8 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right]$$



B6. Exemple de calcul de la quantité de vapeur pour les pertes de chaleur dans les canalisations

→ Outils – Chapitre 4 : Principes de base de la vapeur d'eau, page 399

→ Outils – Chapitre 4.2 : Tableau d'eau vapeur, page 400

Utilisation propre du système de chaudière à vapeur

Pour fonctionner, le système de chaudière à vapeur a également besoin d'une partie de la production de vapeur pour son propre usage. Le débit de vapeur réelle requis pour l'utilisation propre ne peut être déterminé que sur la base d'une connaissance approfondie du mode de fonctionnement de l'ensemble du système de chaudière à vapeur. La quantité de vapeur d'échauffement pour le réservoir d'eau d'alimentation est déterminante pour la consommation de vapeur interne.

→ Technologie – Chapitre 4.1 : Traitement de l'eau, page 177

La vapeur d'échauffement du réservoir d'eau d'alimentation dépend à son tour du retour de condensat des consommateurs de vapeur avec les températures de condensat correspondantes, de la demande d'eau d'appoint et des pertes d'eau de la chaudière pour la purge de surface et la purge de fond.



La quantité de vapeur pour usage propre est nécessaire pour faire fonctionner les consommateurs de chaleur suivants. Pour obtenir une valeur indicative brute afin de concevoir initialement la puissance de vapeur nécessaire, la demande de vapeur pour l'usage propre peut être estimée comme suit :

\dot{m}_{ou} [kg/h] = utilisation propre du système de chaudière :

- Chauffage de l'eau d'appoint (~5 – ~15% de la production de vapeur du système)
- Chauffage du condensat oxygéné (~1 – ~3% de la production de vapeur du système)
- Vapeurs d'échappement pendant le dégazage (~0,5% de la production de vapeur du système)



La chaudière a donc besoin d'environ 6 à 16 % de la production totale de vapeur pour son propre usage.

Pour calculer précisément la vapeur nécessaire à l'usage propre, il faut disposer des données précises concernant la demande en eau d'appoint, le type de traitement de l'eau et le mode de fonctionnement chimique de la chaudière, le retour des condensats avec leurs températures et, si nécessaire, le préchauffage du combustible

La vapeur nécessaire à l'usage propre peut cependant être réduite de manière significative par des mesures de récupération de chaleur telles que des refroidisseurs de vapeur d'échappement, des réservoirs flash, des refroidisseurs de saumure et des refroidisseurs d'eau d'alimentation ou des économiseurs de condensation et un mode de fonctionnement sans sel avec traitement de l'eau par osmose.

→ Technologie – Chapitre 3.3 : Economiseur, page 148

Pour calculer avec précision la quantité de vapeur requise pour l'usage propre, les quantités de vapeur d'échauffement suivantes doivent être calculées. Ensemble, elles représentent la quantité de vapeur d'échauffement pour le réservoir d'eau d'alimentation.

Chauffage de l'eau d'appoint

Afin de compenser les pertes de vapeur dans le circuit de vapeur, dues par exemple aux consommateurs directs, il faut y introduire de l'eau d'appoint traitée.

→ Technologie – Chapitre 4.1 : Traitement de l'eau, page 177

Pendant le dégazage, l'eau d'appoint froide doit être chauffée de 10 °C à 103 °C environ. La puissance thermique requise est obtenue comme consommation interne de vapeur directement à partir du débit de vapeur de la chaudière.

$$\dot{m}_{OU,MW} = \frac{\dot{m}_{MW} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3\,600\text{ s}}{\text{h}}}{r}$$



F11. Formule pour le calcul de la vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer l'eau d'appoint

- $\dot{m}_{OU,MW}$ Vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer l'eau d'appoint [kg/h]
- \dot{m}_{MW} Besoin d'eau d'appoint pour le traitement de l'eau d'alimentation [kg/h]
- r Enthalpie d'évaporation à la pression correspondante [kJ/kg]
- c_p Capacité thermique spécifique de l'eau [kJ/kgK] (jusqu'à 250 °C, elle peut être calculée avec une erreur minimale avec une constante $c_p = 4.19$ [kJ/kgK])
- ΔT Différence de température entre la température de l'eau d'alimentation et la température de l'eau d'appoint $T_{dea} - T_{MW}$ [K]

La demande en eau d'appoint peut donc être calculée à partir du débit de vapeur, de la purge de surface, des vapeurs d'échappement et du flux de retour des condensats

$$\begin{aligned}\dot{m}_{MW} &= \dot{m}_{S,sys} + \dot{m}_{BD} + \dot{m}_{VS} - \dot{m}_{Co,tll} \\ \dot{m}_{MW} &= \dot{m}_{S,sys} \cdot z \\ \dot{m}_{MW} &\approx \dot{m}_{S,sys} \cdot (1 + a + 0,5\% - c)\end{aligned}$$



F12. Formule de calcul de la demande d'eau d'appoint

- \dot{m}_{MW} Demande d'eau d'appoint [kg/h]
- $\dot{m}_{S,sys}$ Production de vapeur du système [kg/h]
- \dot{m}_{BD} Débit massique, purge de surface [kg/h]
- \dot{m}_{VS} Débit massique, vapeurs d'échappement [kg/h]
- $\dot{m}_{Co,tll}$ Débit massique du condensat total [kg/h]
- a Taux de purge de la surface = $\dot{m}_{BD} / \dot{m}_{S,boi}$ [kg/kg]
- c Taux d'accumulation de condensat = $\dot{m}_{Co,tll} / \dot{m}_{S,sys}$ [kg/kg]
- z Taux d'eau d'appoint = $\dot{m}_{MW} / \dot{m}_{S,sys}$ [kg/kg]



Réchauffement du condensat oxygéné

En plus du chauffage de l'eau d'appoint, le condensat oxygéné qui est collecté dans des réservoirs de condensat ouverts et qui est donc plus froid que 103 °C doit également être réchauffé à la température de l'eau d'alimentation. La température du condensat oxygéné est souvent comprise entre 50 - 90 °C.

La puissance thermique requise est obtenue comme consommation propre de vapeur directement à partir de la production de vapeur de la chaudière.

$$\dot{m}_{\text{OU,hCo}} = \frac{\dot{m}_{\text{hCo}} \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot \frac{3\,600\text{ s}}{\text{h}}}{r}$$



F13. Formule pour le calcul de la vapeur nécessaire à l'usage propre pour réchauffer le condensat

$\dot{m}_{\text{OU,hCo}}$	Vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer le condensat [kg/h]
\dot{m}_{hCo}	Quantité de condensats oxygénés [kg/h]
r	Enthalpie d'évaporation à la pression correspondante [kJ/kg]
c_p	Capacité thermique spécifique de l'eau [kJ/kgK] (jusqu'à 250 °C, elle peut être calculée avec une erreur minimale avec une constante $c_p = 4,19$ [kJ/kgK])
ΔT	Différence de température entre la température de l'eau d'alimentation et la température du condensat $T_{\text{dea}} - T_{\text{hCo}}$ [K]

Vapeurs d'échappement pendant le dégazage

Pour que les gaz tels que l'oxygène et le CO₂ dissous dans l'eau d'appoint et le condensat oxygéné puissent également être éliminés du dégazeur, une proportion d'environ 0,5 % du débit massique composé d'eau d'appoint et de condensat oxygéné doit être évacuée sous forme de vapeurs d'échappement dans l'atmosphère. Au cours de ce processus, l'oxygène, l'azote et le dioxyde de carbone expulsés sont transportés dans les vapeurs d'échappement hors de l'eau vers l'atmosphère.

$$\dot{m}_{\text{VS}} \approx (\dot{m}_{\text{hCo}} + \dot{m}_{\text{MW}}) \cdot 0,5\%$$



\dot{m}_{VS}	Taux de flux massique, vapeurs d'échappement [kg/h]
\dot{m}_{hCo}	Quantité de condensats, oxygénés [kg/h]
\dot{m}_{MW}	Demande d'eau d'appoint [kg/h]

Comme mesure de récupération de la chaleur, la chaleur des vapeurs d'échappement peut être condensée dans un refroidisseur de vapeurs d'échappement et l'énergie thermique accumulée utilisée pour chauffer l'eau d'appoint.

→ Efficacité – Chapitre 3.3 : Déminéralisation, page 282

Quantité de vapeur de chauffage pour la cuve d'eau d'alimentation

La quantité de vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer la cuve d'eau d'alimentation peut être résumée par la formule suivante :

$$\dot{m}_{HS} = \dot{m}_{OU} = \dot{m}_{OU,MW} + \dot{m}_{hCo} + \dot{m}_{VS}$$



F14. Formule pour le calcul de la vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer la cuve d'eau d'alimentation

\dot{m}_{HS}	Quantité de vapeur de chauffage [kg/h]
\dot{m}_{OU}	Vapeur requise pour l'usage propre [kg/h]
$\dot{m}_{OU,MW}$	Vapeur nécessaire à l'usage propre pour chauffer l'eau d'appoint [kg/h]
\dot{m}_{hCo}	Quantité de condensats, oxygénés [kg/h]
\dot{m}_{VS}	Débit massique, vapeurs d'échappement [kg/h]

Demande de vapeur nominale du système de chaudière :

Pour déterminer la demande globale de vapeur du système, il faut additionner tous les consommateurs de vapeur

$$\dot{m}_{S,boi} = \dot{m}_{S,sys} + \dot{m}_{OU} = \dot{m}_{S,dC} + \dot{m}_{S,iC} + \dot{m}_{S,IP} + \dot{m}_{OU}$$



F15. Formule pour calculer la demande totale de vapeur du système

$\dot{m}_{S,boi}$	Débit de vapeur de la chaudière [kg/h]
$\dot{m}_{S,sys}$	Débit de vapeur du système [kg/h]
$\dot{m}_{S,dC}$	Quantité de vapeur pour les consommateurs directs [kg/h]
$\dot{m}_{S,iC}$	Quantité de vapeur destinée aux consommateurs indirects [kg/h]
$\dot{m}_{S,IP}$	Quantité de vapeur nécessaire pour compenser les pertes de chaleur dans les canalisations [kg/h]
\dot{m}_{OU}	Utilisation propre du système de chaudière [kg/h]

**Exemple de calcul des bilans de masse et d'énergie**

L'exemple simple ci-dessous illustre les bilans massique et énergétique d'un système de chaudière à vapeur comportant un petit nombre de composants.

Pour des raisons de clarté, la comparaison se limite à la modification de la quantité de condensat recyclé et du type de traitement de l'eau. Le rendement thermique dans les trois cas est d'environ 95%.

Exemple B1	Exemple B2	Exemple B3
<p>Système à vapeur composé principalement de consommateurs indirects (c = 90%) et d'un petit nombre de consommateurs directs (10%).</p> <p>L'eau d'appoint est réalimentée par une unité de traitement de l'eau par osmose et la chaudière a un mode de fonctionnement à faible teneur en sel.</p>	<p>Système de vapeur composé principalement de consommateurs directs (90%) et d'un petit nombre de consommateurs indirects (c = 10%) de sorte qu'il n'y a pratiquement aucun retour de condensat oxygéné. Comme dans l'exemple 1, l'eau d'appoint est réapprovisionnée à partir d'une unité de traitement de l'eau par osmose et la chaudière a donc un mode de fonctionnement à faible teneur en sel.</p>	<p>Système à vapeur avec consommateurs directs (60%) et indirects (c = 40%).</p> <p>L'eau d'appoint est réapprovisionnée par un adoucisseur d'eau et la chaudière a un mode de fonctionnement salin.</p>
<p>Dans les systèmes, par exemple, où la vapeur est utilisée dans des échangeurs de chaleur mais où seule une partie du condensat est renvoyée (en raison, par exemple, de très longues distances jusqu'aux consommateurs).</p>	<p>Dans les systèmes, par exemple, où la vapeur n'est utilisée que pour les consommateurs directs, comme ceux utilisés dans la fabrication d'aliments pour animaux ou dans les autoclaves. Le condensat n'est remis en circulation qu'en cas d'utilisation de systèmes de drainage de la tuyauterie et d'un certain nombre d'unités auxiliaires.</p>	<p>Dans les systèmes, par exemple, où seule une partie du condensat est ou peut être renvoyée, comme ceux avec des consommateurs directs utilisés dans l'industrie des boissons (nettoyage des bouteilles).</p>
<p>Résumé</p> <p>Très peu de vapeur d'échauffement est nécessaire en raison du traitement de l'eau de haute qualité et du taux élevé d'accumulation des condensats. Cela signifie que la quasi-totalité de la vapeur produite par la chaudière peut être utilisée dans les consommateurs. La demande spécifique en combustible est faible.</p>	<p>Grâce au traitement de haute qualité de l'eau, le taux de purge de surface reste très faible malgré la faible quantité de condensat. Cependant, comme la quantité d'eau d'appoint qui doit être chauffée est très importante, la demande spécifique en combustible est nettement plus élevée.</p>	<p>Le taux de purge de surface plus élevé et les pertes de chaleur importantes (sans récupération de la chaleur de purge de surface), ainsi que la quantité importante d'eau d'appoint, entraînent également une demande spécifique de combustible plus élevée.</p>
<p>Énergie combustible requise par kg de vapeur au consommateur :</p>		
0,724 [kWh/kg]	0,793 [kWh/kg] (+ 9,5%)	0,755 [kWh/kg] (+ 4,3%)

Tab. 3 Exemples de calculs de bilans massiques et énergétiques pour divers systèmes à vapeur

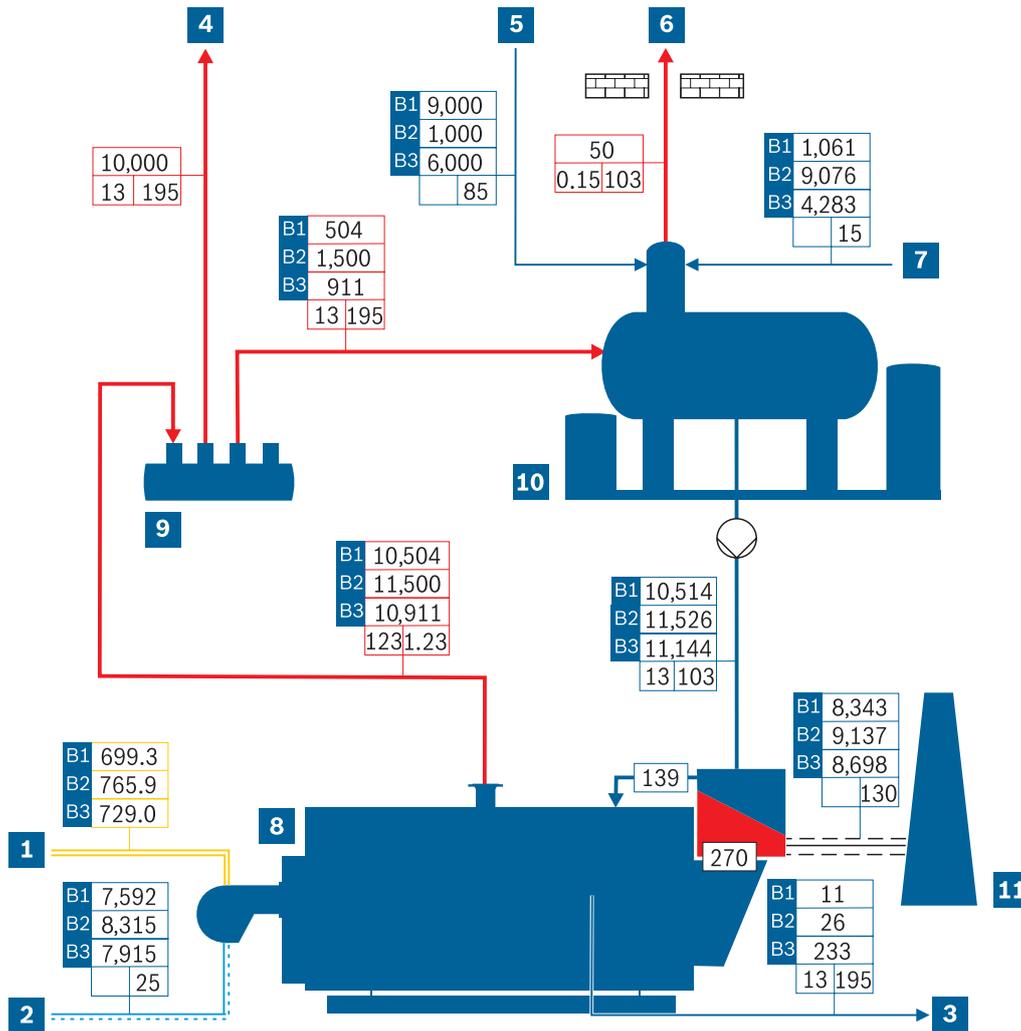


Fig. 8 Illustration du bilan massique et énergétique dans un schéma simplifié (représentation très simplifiée)

- | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| 1 Combustible | 7 Eau d'appoint | — Eau |
| 2 Air | 8 Chaudière à vapeur | — Vapeur |
| 3 Purge de surface | 9 Distributeur de vapeur | — Combustible |
| 4 Vapeur saturée | 10 Module de service d'eau | - - - Air |
| 5 Condensat oxygéné | 11 Cheminée | ≡≡≡ Fumées |
| 6 Vapeur d'échappement | | |

Débit massique	
Pression	Température



3.2 Analyse de la consommation

Si la quantité de vapeur nominale de conception est connue, l'étude et conception doit inclure une étape de définition du débit de vapeur des chaudières individuelles du système. L'objectif est de déterminer la demande maximale de vapeur pendant le fonctionnement, ainsi que la demande minimale de vapeur. Les éventuelles marges de sécurité de conception ou l'expansion du système de chaudières doivent également être prises en compte.

3.2.1 Débit de vapeur maximal

La charge maximale ou charge nominale correspond au nombre total de consommateurs individuels qui pourraient être en fonctionnement en même temps.

Pour s'assurer que la puissance vapeur maximale choisie n'est pas trop élevée, il faut vérifier si tous les consommateurs de chaleur fonctionnent ou doivent fonctionner à leur puissance maximale en même temps. Ce n'est normalement pas le cas, ou cela peut être évité par des procédés internes. La charge maximale requise peut donc être réduite, par exemple, de manière à échelonner les processus de démarrage des composants du système et des échangeurs de chaleur, ce qui élimine complètement ou du moins réduit les problèmes survenant pendant les phases de faible charge en raison du surdimensionnement du système.

Marges de sécurité lors de la conception

Bien sûr, avec la production maximale de vapeur, il est également logique de prévoir une marge de sécurité appropriée.

Pour éviter un surdimensionnement excessif, les aspects suivants doivent être pris en compte lors de la définition des marges de sécurité :

- Collaboration avec l'exploitant du système
- Intégration des futurs développements opérationnels
- Démonstration explicite des marges de sécurité lors de la conception du système :
 - La multiplication des marges de sécurité à différents endroits doit être évitée
 - En règle générale, les marges de sécurité ont déjà été incluses dans les échangeurs de chaleur et les consommateurs de vapeur

Problèmes dus au surdimensionnement

- Augmentation des coûts d'investissement
- Augmentation des coûts d'exploitation, notamment en raison des cycles du brûleur et des pertes de chaleur
- Réduction de la durée de vie de la chaudière et des autres composants du système

Opération de démarrage

Une chaleur supplémentaire est nécessaire pour amener le système à la température de service pendant l'opération de démarrage, en particulier si le réservoir d'eau d'alimentation, la tuyauterie ou l'échangeur de chaleur sont encore froids. Le débit maximal de vapeur n'est disponible pour les consommateurs que lorsque le système est à la température de service.



Surcharge

La surcharge de certains consommateurs ou de l'ensemble du système au-delà de la charge maximale de la chaudière entraîne une consommation de vapeur très élevée de la chaudière. En plus de réduire la pression dans la chaudière, cela entraîne une augmentation de la vapeur chargée d'humidité et la formation de mousse dans l'eau de la chaudière. La surcharge de la chaudière doit donc être évitée, par exemple en utilisant des postes de réduction de pression au niveau des consommateurs ou en protégeant la chaudière avec des vannes d'alimentation en vapeur motorisées (SUCcess).

Le problème de surcharge de la chaudière à vapeur peut également se produire lorsque les échangeurs de chaleur sont correctement configurés. La puissance des échangeurs de chaleur est spécifiée en fonction des conditions de conception et comprend normalement une réserve de 10 à 30 % pour les surfaces chauffantes de l'échangeur de chaleur. Si les échangeurs de chaleur sont neufs, ils atteignent également un rendement plus élevé lorsque la demande de vapeur est plus importante.

Évolution de la consommation de vapeur lors des changements d'exploitation

Il convient d'accorder une attention particulière aux éventuels changements futurs d'une opération. Si des extensions sont déjà prévues ou envisagées, il faut en tenir compte dans la production maximale de vapeur prévue. Dans ce cas, il est normalement possible de concevoir un système global qui offre un certain degré de flexibilité en termes de débit de vapeur afin de s'adapter à une expansion ultérieure et d'éviter de nuire au fonctionnement actuel en raison d'un surdimensionnement excessif.

3.2.2 Production minimale et phases de faible charge

La production minimale se produit normalement lorsque la production s'arrête la nuit ou le week-end. Outre les consommateurs internes, il faut notamment tenir compte des pertes dites d'arrêt. Elles ne dépendent pas de la demande de vapeur actuelle de l'installation et se produisent à tout moment.

Il s'agit essentiellement de :

- Les pertes de chaleur dues à l'émission de chaleur au niveau de la chaudière à vapeur
- Pertes de chaleur dans les canalisations
- Pertes de chaleur au niveau des composants
- Les pertes de vapeur d'échappement au niveau de l'unité de dégazage

Il faut surtout éviter les phases de charge légère pendant lesquelles le débit de vapeur requis est inférieur à la plage de régulation du brûleur.

Dès que le brûleur effectue des cycles fréquents (> 4 démarrages du brûleur/h), le rendement est gravement affecté par les pertes de préventilation qui se produisent.

→ Efficacité – Chapitre 2.2.4 : Pré-ventilation, page 273

En outre, la durée de vie globale du système est altérée par les contraintes thermiques qui se produisent au démarrage du brûleur.

Ces conditions de charge partielle peuvent souvent être évitées ou réduites par des commandes de niveau supérieur et des systèmes internes de gestion de l'énergie, si elles ont déjà été prises en compte lors de l'étude et conception du système.

→ Rapport technique FB027 : contraintes évitables sur les chaudières à vapeur



3.3 Définition de la puissance de la chaudière

Les spécifications suivantes ont été définies à la suite de l'analyse de la consommation :

- Débit maximal de la vapeur
- Débit minimal de la vapeur
- Documentation des marges de sécurité
- Concept pour les changements opérationnels futurs de la demande de production de vapeur
- Possibilité d'une évolution chronologique de la production de vapeur

Les puissances des chaudières individuelles peuvent être définies à partir de ces données.

3.3.1 Systèmes à chaudière unique

Lors de la sélection de la puissance de la chaudière, il faut s'assurer que le système de chaudière fonctionne ensuite dans la plage de 40 à 90% de la puissance maximale de la chaudière à vapeur, car le rendement est particulièrement élevé dans cette plage.

La définition de la puissance minimale et maximale de la vapeur détermine également la plage de régulation nécessaire du système.

$$\text{Plage de contrôle requise} = \frac{\text{Débit de vapeur minimum}}{\text{Sortie de vapeur maximale}}$$



L'utilisation d'une seule chaudière est une solution pratique si la plage de régulation en fonctionnement normal les jours de la semaine est comprise entre les valeurs suivantes :

- Chaudière à tube de foyer unique : 1 à 0,125 (plage de régulation 1:8)
- Chaudière à double tubes de foyer : 1 à 0,061 (plage de régulation 1:16)

Les tailles de sortie suivantes sont disponibles :

- Chaudière à tube de foyer unique : 175 – 28 000 kg/h
- Chaudière à double tube de foyer : 18 000 – 55 000 kg/h

3.3.2 Systèmes multi-chaudières

Il peut être judicieux d'utiliser un système multi-chaudières pour plusieurs raisons. La description suivante vise à couvrir les différentes raisons de la distribution de la puissance nominale de vapeur. Cependant, comme de nombreuses variations de distribution sont possibles, il n'est pas possible de fournir une évaluation complète et exhaustive englobant tous les aspects. La décision d'opter pour un système unique ou de répartir entre plusieurs chaudières doit toujours être prise pour chaque projet individuellement et doit être faite par l'opérateur et le planificateur avec le soutien de l'ingénieur de l'usine et du fabricant de chaudières.

Sécurité d'approvisionnement et redondance

La répartition de la puissance de la chaudière entre plusieurs unités de production est nécessaire si la sécurité de l'approvisionnement doit également être maintenue lorsqu'une unité tombe en panne. Cela est par exemple nécessaire dans les hôpitaux ou dans l'industrie pharmaceutique.

Dans ce cas, l'unité de réserve doit fournir la puissance minimale requise pour assurer la continuité du fonctionnement

En outre, dans les entreprises alimentaires, telles que les laiteries ou les sucreries, et dans les entreprises industrielles, telles que l'industrie du papier et de l'imprimerie, une panne de l'unité du générateur de vapeur serait souvent désastreuse d'un point de vue économique.

Fonctionnement à charge partielle et rapport de régulation du système de chaudière à vapeur

Les raisons de répartir la puissance totale entre plusieurs unités sont les suivantes :

- Différence entre le plus petit et le plus grand consommateur de chaleur
- Demande de vapeur cycliquement fluctuante, par exemple entre le jour et la nuit
- Une demande de vapeur différente les jours ouvrables par rapport aux week-ends

Le plus petit besoin en puissance est normalement bien inférieur à la plus petite charge d'une unité de chaudière individuelle, et il est donc judicieux d'adapter la répartition de la puissance à la faible charge. Cela permet d'éviter une opération de commutation marche/arrêt du système de combustion, coûteuse et polluante pour l'environnement, ainsi qu'une usure prématurée.

Dans les systèmes à grande échelle, la limite de puissance de la source de chaleur détermine le nombre d'unités. La puissance totale devrait idéalement être répartie entre des unités de construction identique. La réduction du nombre de pièces de rechange en stock et la possibilité de remplacer les pièces sont des raisons suffisantes pour le faire. S'il n'est pas possible d'obtenir un fonctionnement efficace avec la plus petite charge en utilisant la plus petite unité déterminée de cette manière, ce n'est que dans ce cas qu'il faut utiliser une unité adaptée à faible charge.

→ Rapport technique FB027 : contraintes évitables sur les chaudières à vapeur

Durée de démarrage du système de démarrage à froid/maintien de la chaleur

La disponibilité rapide du débit de vapeur est de temps à autre une bonne raison d'utiliser un système à plusieurs chaudières. Alors qu'une chaudière froide a besoin d'environ une heure pour atteindre son état de fonctionnement et être prête à fournir sa pleine puissance, une chaudière qui a été maintenue au chaud et qui est en état de veille peut répondre à une telle demande en seulement 5 minutes. Dans ce processus, le maintien de la chaleur est plus efficace et plus doux en utilisant un serpentin chauffé à la vapeur plutôt qu'un système de combustion.

→ Technologie – Chapitre 3.2 : Système de maintien de la chaleur, page 145

Des coûts d'exploitation optimisés

La question de savoir combien de chaudières doivent être installées dans un système et quelles sont leurs puissances respectives doit être étudiée en vue de réduire les coûts d'exploitation (au minimum). En particulier dans les cas où la demande de vapeur fluctue de manière cyclique, par exemple la charge de semaine/week-end ou si la charge de chauffage fluctue en fonction de la saison, il est judicieux de ne pas choisir la même puissance de chaudière pour les unités individuelles.

Utilisation de la régulation séquentielle

Les contraintes exercées sur les chaudières et les coûts d'exploitation peuvent être optimisés en définissant chaque chaudière comme une chaudière à charge de base ou à charge de pointe et en utilisant une commande séquentielle de pointe.

→ Technologie – Chapitre 4.6 : Système de contrôle SCO, page 206



Exigences d'espace - exigences d'installation

La plupart des systèmes de chaudières sont installés dans une chaufferie séparée, ou au moins dans une zone séparée du bâtiment, car des conditions spéciales relatives à l'installation et à l'exploitation doivent être respectées en raison des dangers potentiels liés à leur fonctionnement.

Dans certains pays, comme l'Allemagne, pour les chaudières de petite taille présentant un intérêt moindre en matière de sécurité, il peut y avoir des exigences réduites concernant l'emplacement de la chaudière (veuillez vérifier les exigences de votre pays). Il est possible de les construire dans une chaufferie ou un centre énergétique existant.

Exigence	Valeur maximale
Débit maximal de la vapeur	2 000 kg/h
Pression de service admissible maximale	32 bar
Teneur en eau maximale jusqu'à l'étiage	10 000 l
Produit maximal de la teneur en eau et de la pression de service admissible	20 000 l · bar

Tab. 4 Chaudière à vapeur avec des conditions d'installation facilitées (exemple Allemagne)

Dans certains systèmes, il peut être nécessaire, en raison des conditions d'installation, que la production totale de vapeur soit partagée par plusieurs chaudières qui satisfont aux conditions ci-dessus. Les conditions d'installation facilitées sont fréquemment utilisées dans les hôpitaux, les petites laveries ou les usines de production alimentaire lorsqu'une chaufferie séparée n'est pas disponible et que les chaudières peuvent être installées dans la cave par exemple.

Répartition judicieuse de la puissance de la chaudière

Pour satisfaire aux exigences, un certain nombre d'exigences relatives à la sécurité contre les défaillances et à la plage de régulation requise, ainsi qu'une répartition raisonnable de la puissance de la chaudière entre plusieurs chaudières, sont indiquées à titre d'exemple dans le tableau suivant :

Exigence	Répartition de la puissance de la chaudière
Sécurité en cas de défaillance de 100% de la vapeur	100:100, entre 2 chaudières
Sécurité en cas de défaillance de 80% de la vapeur	80:80, entre 2 chaudières
Sécurité en cas de défaillance de 50% de la vapeur	50:50:50, entre 3 chaudières
Plage de régulation > 1:8	50:50, entre 2 chaudières ou 1 une chaudière à double tubes de foyer
Plage de régulation > 1:20	30:70, entre 2 chaudières
Plage de régulation ≤ 1:20 + taux de défaillance 80%	40:40:40, entre 3 chaudières

Tab. 5 Répartition de la puissance de la chaudière pour satisfaire des exemples de besoins

Des combinaisons supplémentaires permettant de répartir la puissance de la chaudière entre plusieurs chaudières sont possibles. Les coûts d'investissement, d'exploitation et de maintenance doivent être pris en considération lors du choix de la répartition du débit de vapeur.

Lorsque la puissance totale est répartie entre plusieurs chaudières, une commande séquentielle doit être utilisée. Elle applique la logique d'allumage/arrêt et de maintien de la chaleur des différentes chaudières à vapeur.





4 Combustible

Les combustibles suivants sont utilisés dans la majorité des systèmes de chaudières à vapeur :

- Le gaz naturel
- Le fioul

Ces combustibles sont plus ou moins disponibles partout, et dans une large mesure, standardisés et donc de haute qualité.

Cependant, d'autres combustibles peuvent être utilisés pour générer de la vapeur :

- Le fioul moyen ou le fioul lourd
- Autres gaz (par ex. hydrogène, LPG, LNG)
- Biocarburants (par exemple, gaz pauvres, gaz d'égout et biogaz)
- Sous-produits contaminés de l'industrie chimique (par exemple, styrène, toluène)
- Les sous-produits d'autres industries (par exemple, les graisses animales, les huiles de poisson)

Le choix du combustible dépend initialement de sa disponibilité sur le lieu d'installation prévu. Le fioul est livrée par camion-citerne, tandis que pour une station-service, le transfert de gaz depuis le réseau de distribution de gaz doit être disponible.

Si les exigences en matière de sécurité d'approvisionnement sont élevées, il est également possible d'utiliser deux combustibles dans la même chaudière. Le gaz naturel est alors normalement utilisé comme combustible principal et le fioul comme combustible de substitution.

L'économie est un autre facteur important dans le choix du combustible. Il faut s'assurer de la comparabilité exacte des coûts. Lorsqu'on utilise le gaz comme combustible, le prix de comparaison peut être obtenu directement sur la facture de gaz ou demandé au fournisseur de gaz. Les prix du fioul sont publiés sur Internet.

→ Étude et conception – Chapitre 4.3 : Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel, page 56

Outre les coûts du combustible, il faut tenir compte des coûts secondaires liés à l'exploitation, à l'entretien et à l'inspection des systèmes de chaudière, et éventuellement des coûts d'occupation des bâtiments adjacents.

Dans l'ensemble, les chaudières à gaz ont tendance à être plus économiques, c'est pourquoi de nombreux systèmes existants ont été convertis du mazout au gaz ou à des brûleurs bicombustibles au cours de la dernière décennie.

Outre le coût, l'impact sur l'environnement pendant la combustion varie en fonction du combustible utilisé et doit être pris en compte. En particulier, les émissions autorisées sur le lieu d'installation du système de chaudière jouent un rôle important. Lorsqu'il est utilisé comme combustible, le gaz naturel présente une émission polluante plus faible en termes d'émissions de CO₂, NO_x et SO₂.

4.1 Le fioul

Lors de l'utilisation d'huiles minérales comme combustible, il faut tenir compte de diverses exigences supplémentaires découlant des réglementations en matière de pollution de l'eau et de prévention des incendies, notamment en ce qui concerne la livraison, le stockage et la distribution.

Le fioul EL

Le fioul de type EL, extra léger (liquide), est une source fiable et facilement disponible et est normalement livré sur un camion-citerne.

Si l'on prend l'exemple de l'Allemagne, les types de fioul EL disponibles sont les suivants :

- Fioul EL, standard
- Fioul EL, à faible teneur en soufre
- Fioul EL Bio

Le type de fioul le plus populaire est le fioul EL à faible teneur en soufre, dont la teneur maximale en soufre est de 50 mg/kg. En raison du taux d'imposition favorable, il a entre-temps établi une part de marché de près de 100%. Il est également idéal pour la technique de condensation, car il présente une tendance à l'encrassement encore plus faible que le fioul EL.

→ Technologie – Chapitre 3.4 : Échangeur de chaleur à condensation, page 152

Le fioul EL Bio est un fioul à faible teneur en soufre auquel on ajoute jusqu'à 5, 10 ou 15% de combustible liquide issu de matières premières renouvelables. En règle générale, le biodiesel est utilisé à cet effet.

Les exigences minimales et les tests du fioul EL sont définis dans la norme DIN 51603-1.

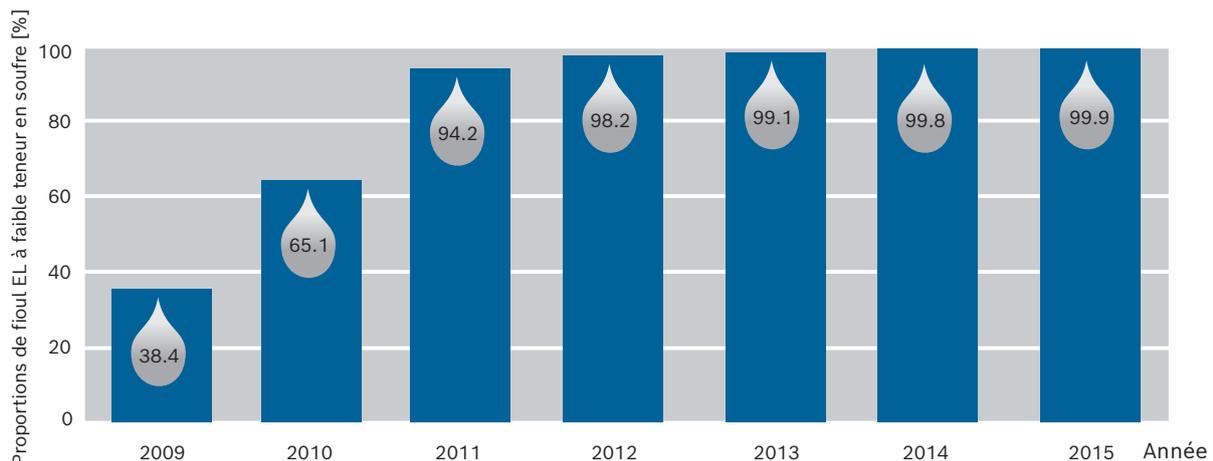


Fig. 9 Part de marché du fioul à faible teneur en soufre en Allemagne ¹⁾

Le fioul lourd (HFO)

Le fioul lourd est utilisé pour les générateurs de vapeur plus ou moins exclusivement dans les grands systèmes industriels. Il est produit lors du raffinage du pétrole brut dans la partie inférieure, appelée carter, des tours de distillation, où les composants du pétrole brut ayant un point d'ébullition élevé sont éliminés. Il contient principalement de grosses molécules relativement lourdes telles que

1) IWO – Institut pour la technologie du chauffage et du fioul



des alcanes et des alcènes à longue chaîne, des cycloalcanes et divers hydrocarbures aromatiques. Il contient également divers composés azotés et soufrés.

Le fioul lourd est visqueux et doit être chauffé à une température supérieure à 60 °C pour pouvoir s'écouler dans les canalisations. La température d'atomisation requise pour la combustion se situe même entre 100 et 160 °C. Les exigences en matière de viscosité d'atomisation sont nettement plus élevées pour les brûleurs à fioul à jet de pression que pour les brûleurs à fioul à coupelle rotative, c'est pourquoi le fioul doit être préchauffé à des températures plus élevées.

Le fioul lourd contient jusqu'à 3,5 % en masse de soufre et a tendance à laisser des dépôts importants dans le parcours des gaz de combustion. Les gaz de combustion ne doivent pas être refroidis en dessous du point de rosée acide, qui se situe entre 120 et 150 °C environ. En outre, des mesures spéciales sont parfois nécessaires (par exemple, l'injection d'urée) afin de respecter les émissions de gaz de combustion.

Elle présente de nombreux inconvénients par rapport à l'utilisation du fioul EL et du gaz naturel qui, en général, ne sont pas compensés par son faible prix.

4.2 Le gaz naturel

L'utilisation du gaz naturel est souvent recommandée si une fourniture de gaz naturel est disponible sur le lieu d'installation prévu de la chaudière. En se raccordant au réseau d'approvisionnement, il n'est pas nécessaire de faire des réserves de combustible et, sur le marché déréglementé du gaz, il est facile de changer de fournisseur. La station de transfert du gaz nécessite beaucoup moins d'espace que le réservoir de stockage du pétrole, y compris les systèmes auxiliaires. En outre, le gaz naturel provenant du réseau public peut être utilisé sans restriction avec la technique de condensation.

→ Technologie – Chapitre 3.4 : Échangeur de chaleur à condensation, page 152

Un autre point en faveur du gaz combustible est que la plage de régulation pour le fonctionnement à charge partielle est nettement plus grande que pour le fioul. Alors que les brûleurs à fioul n'atteignent normalement qu'une plage de charge partielle de 1:5, Les brûleurs à gaz de pointe peuvent couvrir deux fois la plage de charge partielle, c'est-à-dire une plage de régulation allant jusqu'à 1:10.

Le pouvoir calorifique inférieur du gaz, la pression d'écoulement du gaz disponible sur le lieu d'installation de la chaudière et les informations sur les quantités maximales de chaleur disponibles via le raccordement au gaz sont nécessaires pour la conception de l'alimentation en gaz. Ces informations peuvent être obtenues auprès de l'exploitant local du réseau de gaz.

4.3 Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel

Les principaux facteurs influençant le choix du combustible sont résumés dans le tableau suivant :

Critère	Fioul EL	Gaz naturel	Avantage/ désavantage pour le gaz naturel
Réserve du combustible	Oui	Non	+
Raccordement	Non	Oui	-
Disponible partout	Oui	Non	-
Stabilité du prix	Non	Oui limitée (→ Fig. 10)	+
Financement préalable	Oui	Non	+
Coûts du brûleur	Neutre	Hausse	-
Plage de contrôle	jusqu'à 1:5	jusqu'à 1:8	+
Salissure des surfaces chauffantes	Faible	Aucune	+
Utilisation en condensation	Bonne (efficacité ≤ 99%)	Très bonne (efficacité ≤ 104%)	+
Transport du combustible	Nécessaire	Non requis	+
Emission de polluants	Faible	Très faible	+
Génération de CO ₂	~ 266 gCO ₂ /kWh	~ 200 gCO ₂ /kWh	+

Tab. 6 Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel comme combustible ^{II)}

Évolution des prix des combustibles pour les clients industriels (Allemagne)

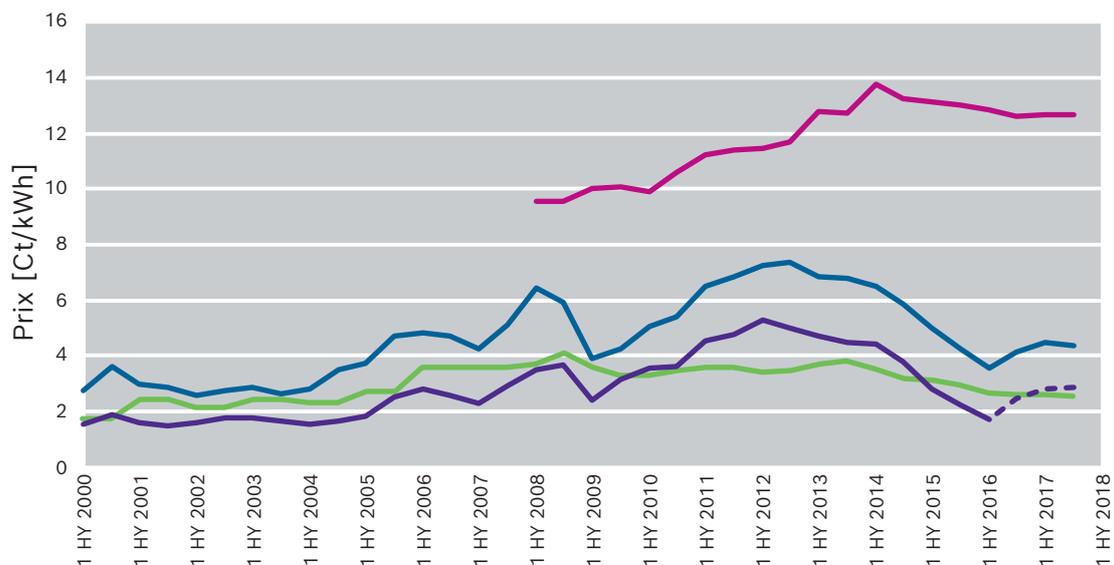


Fig. 10 Évolution des prix de l'énergie pour les clients industriels en Allemagne ^{II)}



II) Office fédéral de la statistique

**Notes ^{III)} :**

- Gaz, électricité : détails pour les clients industriels, les prix incluent la taxe d'achat et excluent la TVA
- Fioul : détails pour le commerce de gros, les prix incluent la taxe sur le pétrole et la taxe de stockage du pétrole et excluent la TVA
- Conversion des prix du fioul EL de densité 0,84 kg/l et de pouvoir calorifique inférieur 11,89 kWh/kg
- Conversion des prix pour le fioul lourd avec 11 kWh/kg
- Fioul lourd : données spécifiques uniquement disponibles jusqu'en décembre 2016, après cette date les données sont extrapolées via les indices de prix

4.4 Autres combustibles

En cas d'utilisation d'autres combustibles que le gaz naturel ou le fioul, une attention particulière doit être portée dans ces cas.

Les combustibles suivants peuvent également être utilisés :

- Autres gaz (par ex. hydrogène, LPG, LNG)
- Biocarburants (par exemple, gaz pauvres, biodiesel, huiles végétales, gaz d'épuration et biogaz)
- Sous-produits contaminés de l'industrie chimique (par ex. styrène, toluène)
- Les produits secondaires provenant d'autres industries (par exemple, les graisses animales, les huiles de poisson).

Les caractéristiques de combustion de ces combustibles doivent être prises en compte lors de la conception du système de combustion, des composants auxiliaires, de la chaudière et lors de l'élaboration de mesures appropriées de récupération de la chaleur des fumées.

Les caractéristiques suivantes doivent notamment être prises en compte dans ce contexte :

- Les combustibles à forte teneur en soufre (par exemple, le biogaz)
- Combustibles contenant du chlore (p. ex. sous-produits de l'industrie chimique)
- Les combustibles qui laissent des dépôts importants sur les surfaces de chauffe (par exemple, les combustibles dits re-raffinés)
- Combustibles ayant un pouvoir calorifique inférieur particulièrement élevé et soumettant donc le tube à flamme à des contraintes thermiques plus importantes (par exemple, l'hydrogène)

III) Office fédéral de la statistique





5 Installation

Lors de l'installation de la chaufferie sur le site d'exploitation, il convient de tenir compte, entre autres, des exigences suivantes :

- Alimentation et stockage du combustible
- Encombrement de la chaufferie et de la conduite de fumée
- Possibilité d'extension du système
- Émissions sonores (notamment pour les voisins)
- Position des installations de production sur le site d'exploitation (chemins les plus courts possibles vers les consommateurs)
- Zones d'incendie
- Aspects architecturaux et de conception

Certaines de ces exigences ne peuvent pas être entièrement satisfaites en une seule fois, surtout dans les entreprises qui ont évolué sur une longue période. L'emplacement ne sera donc pas nécessairement idéal pour toutes les exigences et représente plutôt un compromis entre les exigences opérationnelles et techniques et la rentabilité.

5.1 Salle d'installation

Un certain nombre d'exigences de base pour le local d'installation de la chaudière sont traitées ci-dessous. Ces informations sont fournies uniquement pour aider à l'étude et conception. En outre, toutes les réglementations locales et nationales pertinentes ainsi que les normes applicables doivent être respectées.

→ Information technique T1024 : exigences pour les locaux d'installation des chaudières - notes sur l'installation des chaudières et des composants de la chaufferie

Exigences fondamentales

La salle d'installation doit répondre aux exigences suivantes :

- La salle d'installation de la chaudière doit être maintenue, propre et exempte de poussière et de gouttes d'eau.
- La température de la pièce doit être comprise entre 5 °C et 40 °C.
- L'accès à la salle d'installation de la chaudière est interdit au personnel non autorisé.
- Il faut veiller à ce que les mesures d'isolation acoustique soient conformes aux réglementations locales.
- Les armoires de commande doivent être installées de manière à ne pas être exposées de quelque manière que ce soit aux vibrations ou aux secousses des composants du système.
- Les armoires de commande doivent être installées dans des endroits où elles sont protégées contre les rayonnements thermiques inadmissibles et où l'on peut y accéder en toute sécurité, même dans des conditions potentiellement dangereuses.
- Une alimentation en air comprimé pour la purge de fond et les autres actionneurs pneumatiques, si nécessaire, doit être disponible.
- Des possibilités d'évacuation avec des boutons d'arrêt d'urgence, situés si possible en face les uns des autres, doivent exister.
- Il faut veiller à ce que l'éclairage soit suffisant, notamment dans la zone des vannes et des dispositifs de sécurité.

- Des possibilités de fixation des tuyauteries doivent être disponibles sur les murs et les plafonds.
- Chaque La salle d'installation de chaudière doit avoir une surface de mur ou de plafond extérieur libre, continue ou presque continue, d'au moins 1/10 de la surface au sol (ou selon les réglementations locales), qui cédera beaucoup plus facilement que les autres murs environnants en cas de surpression dans la salle d'installation de chaudière. Les réglementations nationales et locales pertinentes et les normes applicables doivent être respectées lors de la définition de la surface de décharge de pression.

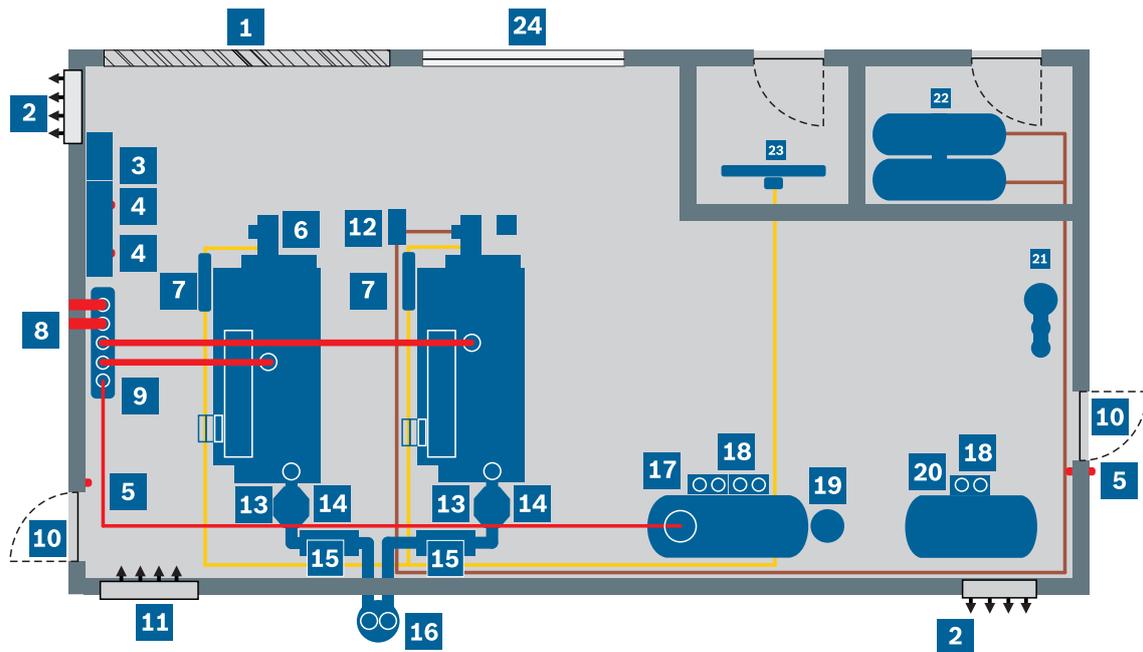


Fig. 11 Exemple d'une chaufferie (représentation simplifiée)

- | | |
|--|---|
| 1 Entrée chaufferie | 13 Économiseur intégré ECO |
| 2 Extraction de l'air (haut) | 14 Échangeur de chaleur à condensation |
| 3 Contrôleur du système SCO | 15 Silencieux |
| 4 Contrôleur de la chaudière BCO | 16 Cheminée |
| 5 Bouton d'arrêt d'urgence | 17 Bâche alimentaire WSM |
| 6 Chaudière | 18 Pompe d'alimentation PM |
| 7 Module de régulation de gaz GRM | 19 Module d'éclatement des purges BEM |
| 8 Conduite de vapeur, consommateur | 20 Module de condensat CSM |
| 9 Distributeur de vapeur SD | 21 Module d'adoucissement de l'eau WTM |
| 10 Passage d'évacuation | 22 Réservoir de fioul |
| 11 Soufflage d'air (bas) | 23 Station de transfert de gaz |
| 12 Module de préparation de fioul OSM | 24 Zone de détente de la pression |
-
- | |
|---|
| — Vapeur |
| — Gaz naturel |
| — Fioul |

Identification de la tuyauterie selon DIN 2403
 → Outils – Tab. 76, page 417



Accessibilité

La chaudière et les composants du système doivent être disposés de manière à ce que les vannes, les capteurs et toutes les ouvertures d'inspection montés soient toujours accessibles. Il est parfois judicieux de placer la chaudière et plusieurs composants du système sur un mur. Il faut prévoir un passage libre d'au moins 1 m de large, notamment du côté de l'utilisation de la chaudière et des composants. Il faut également veiller à ce que les surfaces sur lesquelles on peut marcher soient suffisamment hautes

Fondation et installation

Il faut veiller à ce que les exigences suivantes concernant les fondations et l'installation soient respectées :

- Il faut s'assurer que le sol du lieu d'installation est parfaitement plan (tolérance de planéité en référence à la norme DIN 18202) et présente une capacité de charge suffisante.
- Lors du calcul de la capacité de charge de la fondation, il faut tenir compte du poids maximal de fonctionnement des composants concernés. Lors de la détermination du poids en service, il faut tenir compte des composants supplémentaires (par exemple, l'armoire de commande, le brûleur, le silencieux, les tuyaux d'échappement) et de leur poids cumulé. Le poids en service est le poids des composants lorsqu'ils sont remplis.
- Les caniveaux existants doivent être recouverts et équipés de dispositifs de drainage.
- L'entrée de la salle d'installation de la chaudière doit être conçue en fonction des dimensions des différents composants. Le local d'installation de la chaudière doit être équipé d'un dispositif de levage adéquat pour déplacer les équipements lourds.
- Si le lieu d'installation doit être séparé du système pour réduire le bruit de structure, des bandes d'isolation acoustique doivent être placées en dessous avant d'installer le système.

Ouvertures de soufflage et d'extraction d'air

L'air soufflé doit être exempt de substances étrangères et ne doit pas contenir de poussières ou de composants corrosifs ou explosifs, tels que des solvants ou des réfrigérants. Dans le cas des chaudières à récupération de chaleur en combinaison avec l'unité produisant la chaleur perdue (unité de production combinée de chaleur et d'électricité ou turbine à gaz), il convient de respecter les consignes supplémentaires du fabricant de l'unité produisant le gaz de chaleur perdue.

Si la ventilation de la chaufferie est insuffisante ou si l'air nécessaire au système de combustion est aspiré indépendamment de l'air ambiant (par exemple via des conduits d'air provenant d'autres pièces ou de l'atmosphère), il faut prévoir un ou plusieurs appareils de surveillance du CO dans la chaufferie.

L'ouverture de l'air d'alimentation devrait idéalement être située dans la zone à l'arrière de la chaudière. Si cela n'est pas possible pour des raisons structurelles, installez des déflecteurs ou des canaux en tôle à l'intérieur du local d'installation de la chaudière pour dévier l'air d'entrée. Lors de l'étude et conception des ouvertures d'air d'alimentation, il faut également tenir compte de la disposition des composants du système sensibles au gel (par exemple, le traitement de l'eau) qui ne peuvent pas être installés directement dans le flux d'air d'alimentation.

Des ouvertures d'air extrait doivent également être prévues. Leur but est d'évacuer la chaleur sous le plafond qui s'accumule même lorsque les pertes de chaleur dans la chaufferie sont faibles.

Les ouvertures d'air soufflé doivent être installées à 500 mm au-dessus du sol de la chaufferie ; les ouvertures d'air extrait doivent être installées au point le plus haut du local d'installation. Une ventilation croisée doit également être assurée dans ce cas.

Les ouvertures de soufflage et d'extraction d'air doivent être dimensionnées de manière à obtenir une pression de ± 0 mbar dans la chaufferie. Les formules de calcul ci-dessous doivent être considérées comme une recommandation non contraignante. Il est essentiel que l'installateur du système demande l'accord de l'autorité responsable de l'approbation ou du contrôle des bâtiments.

Les consommateurs supplémentaires d'air d'alimentation (par exemple, les compresseurs) doivent être pris en compte lors du dimensionnement.

Groupe	Limites	Sections d'air de soufflage (formule)
Sz 1	$\dot{Q} \leq 2\,000$ kW	$F_{GR\ 1} = 300 + (\dot{Q} - 50) \cdot 2,5$
Sz 2	$2\,000$ kW $< \dot{Q} \leq 20\,000$ kW	$F_{GR\ 2} = 5\,175 + (\dot{Q} - 2\,000) \cdot 1,75$
Sz 3	$20\,000$ kW $< \dot{Q}$	$F_{GR\ 3} = 36\,675 + (\dot{Q} - 20\,000) \cdot 0,88$

F_{GR} Section transversale de passage libre [cm²]

\dot{Q} Puissance thermique

Le rapport latéral ne doit pas être supérieur à 1:2. Chacune des sections d'air extrait requises correspond à 60% des sections d'air soufflé.

Les sections indiquées doivent être planifiées en tant qu'ouvertures libres (sections nettes). L'ombrage par des grilles ou des persiennes doit également être pris en compte.

Si l'air de combustion est acheminé vers le brûleur par des canaux d'entrée d'air, il faut veiller à ce que le trajet d'écoulement soit optimisé et à ce que le dimensionnement soit adapté à la perte de pression. La perte de pression doit être prise en compte dans la conception de la combustion. Le condensat qui s'accumule dans les conduits d'admission d'air doit être éliminé avant le ventilateur d'air de combustion.

Tuyauterie

Les tuyauteries doivent être conçues conformément aux réglementations nationales et locales et aux normes applicables, en tenant compte des pertes de pression et des vitesses d'écoulement qui en résultent.

Pour des valeurs indicatives sur le dimensionnement, le choix des matériaux et bien d'autres aspects, reportez-vous au chapitre Technologie.

→ Technologie – Chapitre 5.1 : Tuyauterie, page 211

5.2 Conditions d'installation

Les conditions d'installation telles que l'altitude, la situation côtière, les conditions générales de construction et/ou l'alimentation électrique ont un effet important sur la conception du système de chaudière à vapeur.

L'altitude de l'installation, par exemple, a une incidence sur la pression ambiante et l'étanchéité à l'air a une incidence sur la conception du ventilateur d'air de combustion. D'autres aspects tels que le refroidissement réduit du moteur des pompes doivent être pris en compte pour les installations à très haute altitude (> 1 000 m).

L'air salé des régions côtières favorise la corrosion, ce qui affecte les matériaux du brûleur et de la cheminée, par exemple.

L'alimentation électrique (tension et fréquence) doit être prise en compte au niveau de l'armoire de commande et des moteurs (par exemple, les ventilateurs, les pompes et les vannes).



6 Législation

Les systèmes de chaudières à vapeur sont généralement soumis à une surveillance obligatoire et diverses conditions cadres légales doivent être observées et respectées lors de la fabrication des composants, pendant l'étude et conception et la construction et lors de l'exploitation du système. Les exigences suivantes sont stipulées à tous les niveaux de la législation (et de la surveillance) :

- **Directives et ordonnances européennes**, , telles que la directive sur les équipements sous pression, la directive sur les machines, la directive sur la basse tension, la directive sur les appareils à gaz, la directive CEM, la directive sur les substances dangereuses et la directive sur la protection contre les explosions
- **Lois et ordonnances nationales**, telles que le règlement allemand sur la santé et la sécurité au travail, la loi sur le contrôle des émissions et des immissions, la loi sur la santé et la sécurité au travail, l'ordonnance sur les substances dangereuses et la loi sur les ressources en eau
- **Réglementations régionales et locales** telles que les règlements de construction, la conservation de l'eau, la sécurité incendie, les exigences supplémentaires en matière d'émissions

Les lois, directives, ordonnances et normes les plus importantes régissant l'installation et l'exploitation d'un système de chaudière à vapeur sont décrites ci-dessous. Elles sont classées dans les groupes suivants :

- Fabrication de systèmes de chaudières
- Lois sur les émissions et la protection contre les immissions
- Règlement d'homologation/autorisation d'exploitation
- Exploitation des systèmes de chaudières

Dans ce cas, il faut tenir compte du fait que d'autres directives européennes ou lois et règlements nationaux sont applicables.

En prenant l'exemple de l'Allemagne, le schéma suivant montre la procédure de base et est séparé en deux parties : la fabrication, pour laquelle la législation européenne s'applique et l'exploitation, pour laquelle la législation nationale s'applique principalement

Directive des équipements sous pression 2014/68/EC Mise en circulation et fonctionnement des chaudières à vapeur

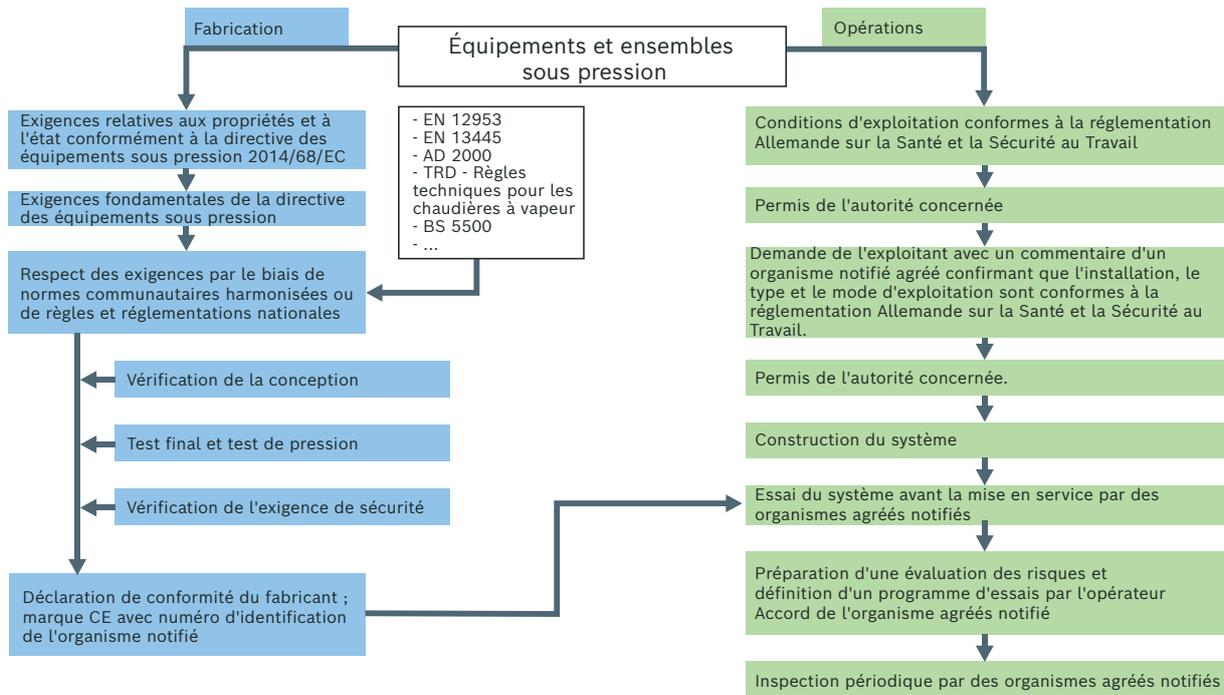


Fig. 12 Procédure de fabrication et d'exploitation basée sur la Directive relative aux Équipements sous Pression 2014/68/EU^(IV)

- Loi européenne
- Loi allemande

- DESP :** Directive des équipements sous pression 2014/68/EU
- BetrSichV :** Ordonnance allemande sur la sécurité et la santé au travail en relation avec l'utilisation d'équipements et de matériaux
- ZÜS :** Organisme notifié agréé

IV) Autorité de contrôle technique de Rhénanie (TÜV Rhénanie)



6.1 Fabrication

La fabrication et la distribution des systèmes de chaudières sont réglementées dans le droit national par la mise en œuvre de la directive sur les équipements sous pression (directive UE 2014/68/UE). Par exemple, en Allemagne, cela se fait dans la 14e ordonnance sur la loi sur la sécurité des équipements et des produits (règlement sur les équipements sous pression). Celle-ci décrit la conception, la fabrication, les matériaux, les essais et la préparation de la déclaration de conformité des équipements sous pression. Celle-ci définit des exigences de qualité valables et uniformes au sein de l'UE, qui permettent la libre circulation et, par conséquent, le libre échange des marchandises et la première mise en service. Les fabricants de systèmes de chaudières doivent faire évaluer la conformité de leurs produits et, en conséquence, délivrer une certification de conformité et apposer un marquage CE.

Une limite importante qui détermine si une chaudière ou un récipient sous pression est réglementé par la directive sur les équipements sous pression est la pression de service maximale admissible de 0,5 bar. Si la pression de service maximale admissible n'est pas plus élevée, comme c'est le cas par exemple pour les chaudières à basse pression, ce que l'on appelle les « bonnes pratiques d'ingénierie » s'appliquent à leur fabrication. Toutes les autres chaudières à vapeur sont classées dans des catégories de la directive sur les équipements sous pression, conformément à l'annexe II, en fonction de l'augmentation du risque potentiel. Le produit de la teneur en eau et de la pression de service admissible est déterminant pour la classification. La plupart des chaudières à vapeur appartiennent à la catégorie IV.

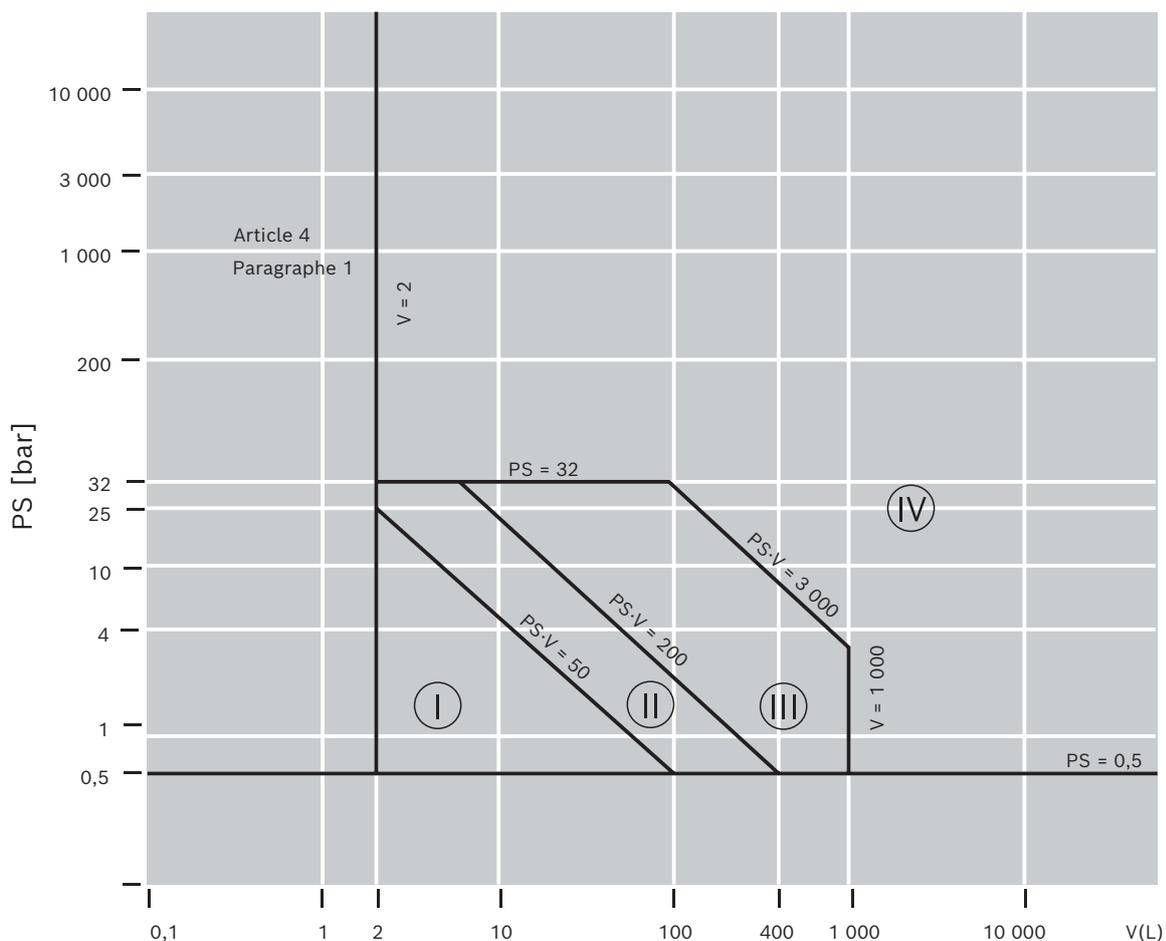


Fig. 13 Classification des chaudières à vapeur en catégories de modules conformément à la directive des équipements sous pression

Les nombreux certificats et homologations de nos produits dans plus de 140 pays du monde entier témoignent de la qualité élevée et des normes de production de Bosch Industriekessel GmbH. Toutes les chaudières, tous les composants de chaudières et de chaufferies Bosch satisfont aux directives européennes applicables en matière de marquage CE, notamment la directive relative aux équipements sous pression ou aux appareils à gaz, sur la base de normes techniques (y compris TRD, AD 2000 et les normes EN telles que EN 12953). La plupart de nos produits et composants sont soumis à des essais de type CE. Les solutions personnalisées reçoivent un permis individuel ex works d'une institution d'essai officielle.

Nous gérons nos produits conformément aux normes nationales en vigueur, par exemple EAC (Union douanière eurasienne), TSG G0001 (Chine), SVGW/VKF (Suisse) et bien d'autres. Notre équipement selon la norme EN 12953 pour les systèmes de chaudières est approuvé pour le fonctionnement sans présence continue (BOSB 72 h).

Les usines de fabrication de Bosch Industriekessel sont équipées des systèmes de gestion de la qualité certifiés nécessaires, par exemple EN ISO 9001, EN ISO 14001, Module D selon la Directive des équipements sous pression, MLSE (Chine). En outre, Bosch Industriekessel est un fabricant certifié au plus haut niveau d'exigence de qualité pour le soudage selon EN ISO 3834 (partie 2). Une qualification de processus selon TRD et la directive des équipements sous pression est disponible pour les tubes ondulés à flamme. Grâce à notre licence d'entreprise de maintenance de systèmes de chaudières et à notre réseau international de services, nous sommes en mesure de fournir des services dans plus de 140 pays dans le monde, dont certains sont disponibles 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7.

6.2 Émissions et immissions

Il existe dans la plupart des pays du monde des réglementations en matière d'émissions et/ou d'immissions pour protéger l'environnement et les personnes. Ces réglementations sont pertinentes pour le fonctionnement d'un système de chaudière à vapeur et doivent être prises en compte dans l'étude et conception.

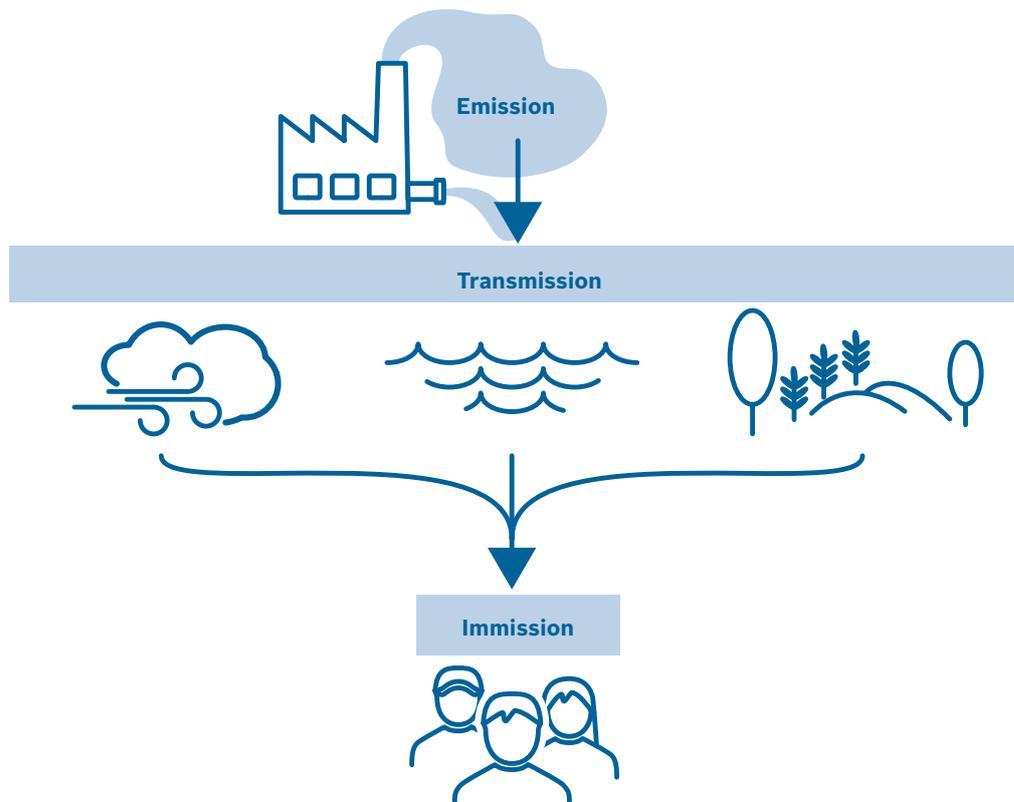


Fig. 14 Différence entre émission, transmission et immission

- **L'émission** est le rejet de polluants dans l'environnement. Elles proviennent, par exemple, des centrales électriques, des installations industrielles et des véhicules à moteur lorsqu'ils sont en fonctionnement.
- **La transmission** fait référence à la distribution des émissions par air, eau ou sol.
- **L'immission** désigne la contamination de l'air, de l'eau ou du sol qui affecte les personnes ou d'autres organismes.

Les émissions suivantes sont normalement contrôlées et pertinentes pour un système de chaudière :

- Émissions dans l'air (gaz de combustion provenant des systèmes de combustion)
 - Oxyde d'azote (NOx)
 - Composés soufrés (SO₂)
 - Monoxyde de carbone (CO)
- Son
- Eaux usées et protection de l'eau
 - Livraison, stockage et distribution de substances polluant l'eau (par exemple, le fioul)
 - Introduction d'eaux usées dont le contenu est soumis à des exigences (par ex, valeur du pH, température)

6.3 Systèmes de combustion

6.3.1 Réglementations et directives européennes

En Europe, les lignes directrices suivantes fournissent le cadre légal et définissent les exigences minimales qui doivent être formulées plus précisément au niveau national ou régional

Validité/Puissance de combustion	Directive
≤ 400 kW	EuP Directive 2005/32/EC Energy-using Products Directive
1 – 50 MW	MCPD EU 2015/2193 Medium Combustion Plant Directive
> 50 MW	IED 2010/75/EU Industrial Emissions Directive

Tab. 7 Validité des directives européennes relatives aux équipements de combustion

Il existe donc un écart entre 400 kW et 1 MW qui doit être couvert par la législation nationale en l'absence d'exigences de l'UE. En outre, le sujet important de l'analyse des émissions n'est pas défini dans les lignes directrices de l'UE et peut donc être traité différemment d'un pays à l'autre.

Les puissances de combustion des systèmes à plusieurs sources de chaleur doivent, le cas échéant, être additionnées, conformément à la directive MCPD et à la directive IED. Cela dépend essentiellement de la question de savoir si les gaz de combustion sont évacués par une cheminée commune ou si, selon l'autorité compétente, ils peuvent être évacués. Cela laisse également une liberté d'interprétation dans la législation nationale et les réglementations régionales, ce qui signifie que les systèmes dans différentes parties de l'Europe peuvent être évalués différemment.



6.4 Approbation

En général, l'installation de systèmes de chaudières à vapeur nécessite une approbation des autorités ou un permis. La nature et la portée de la procédure d'autorisation dépendent de la législation nationale et régionale en vigueur sur le lieu d'installation. La procédure comprend normalement une inspection experte de l'étude et conception du système par une agence d'inspection.

6.5 Opération

L'exploitation d'un système de chaudière à vapeur est soumise à des conditions cadres légales spécifiques à chaque pays. Ces conditions sont imposées par différents domaines de la législation, qui sont généralement les suivants :

- Loi sur les chaudières
- Lois sur la santé et la sécurité au travail
- Lois sur les immissions et l'eau
- Réglementation des substances dangereuses et des produits chimiques
- Sécurité incendie

Les points suivants, entre autres, doivent être respectés à cet égard :

- Préparation et révision régulière d'une évaluation des risques
- Détermination des intervalles d'inspection pour les parties du système et le système global, instruction des organismes notifiés agréés pour confirmer ces intervalles d'inspection.
- Formation du personnel d'exploitation
- Disponibilité des instructions de fonctionnement
- Mise en œuvre des avertissements sur les dangers figurant dans les instructions d'exploitation en tant qu'instructions de travail.
- Préparation de listes de contrôle pour le préposé à la chaudière
- Tenue d'un journal d'exploitation de la chaudière
- Entretien régulier du système de chaudière par le personnel d'exploitation et d'entretien ainsi que par des experts
- Réalisation des contrôles de routine de la chaudière



Prévention des pannes

1	Étude et conception	73
1.1	Débit de vapeur	73
1.2	Alimentation en combustible	74
1.3	Salle d'installation	75
2	Pendant l'installation	77
2.1	Acheminement des conduites	77
2.2	Support	83
3	Pendant l'exploitation	85
3.1	Surveillance de la qualité de l'eau	86
3.2	Cavitation des pompes	89
3.3	Réglage de la combustion	90
3.4	Contamination et résidus dans la tuyauterie	92
3.5	Contournement des équipements de sécurité	96
3.6	Travail dangereux	97

Apprendre des erreurs



Un homme intelligent ne commet pas lui-même toutes les erreurs. Il donne également une chance aux autres. »

Winston Churchill^{V)}

Le but de ce chapitre est d'attirer votre attention sur les erreurs qui peuvent survenir lors de l'étude et conception, de l'installation et de l'exploitation des systèmes de chaudières à vapeur à l'aide d'un certain nombre d'exemples.

À cet égard, vous devez toujours garder à l'esprit les points suivants :

- Bien que le nombre d'erreurs possibles soit infini, une seule solution existe pour le système optimal.
- Toutes les erreurs imaginables sont également commises.

Ce chapitre est structuré en fonction des erreurs courantes qui se produisent

- durant l'étude et conception,
- pendant l'installation (ou de l'étude et conception détaillée) et
- pendant l'exploitation

des systèmes de chaudières à vapeur. Tôt ou tard, ces erreurs entraînent des dommages au système de chaudière, des situations potentiellement dangereuses, une efficacité réduite du système ou d'autres problèmes de fonctionnement. Cette liste ne couvre pas toutes les erreurs possibles et ne tente pas non plus de le faire.

La plus grande erreur qui puisse être commise, cependant, est de ne pas le signaler. Vous êtes également invités à contribuer à éviter d'autres erreurs en fournissant des exemples.

V) Cotation pour les managers : plus de 2 600 adages qui communiquent clairement votre message, 2018



1 Étude et conception

Des erreurs d'étude et de conception se produisent fréquemment en raison d'une connaissance insuffisante des opérations subséquentes ou parce que les exigences essentielles pour le système de chaudière n'ont pas été correctement prises en considération. Dans cet esprit, il est utile de vérifier l'exactitude de toutes les données existantes ainsi que de toutes les personnes impliquées dans l'étude et de conception. Des écarts importants par rapport à l'évaluation de base peuvent survenir à longue durée.

1.1 Débit de vapeur

1.1.1 Sur-dimensionnement

Le sur-dimensionnement en soi même ne représente pas un problème en termes de fonctionnement continu d'un système de chaudière.

Cependant, cela augmente la probabilité d'un mode de fonctionnement non économique d'un système et, en raison du cycle du système de combustion, des contraintes thermiques élevées peuvent survenir au niveau du foyer, ce qui peut réduire la durée de vie.

Le sur-dimensionnement se produit fréquemment si des marges de sécurité sont prévues à plusieurs endroits. L'opérateur planifie dès le départ en gardant à l'esprit l'expansion ultérieure, le planificateur reste du bon côté et les fabricants conçoivent de nombreux composants avec une marge de sécurité intégrée.

- Problèmes :**
- Fonctionnement non économique
 - Contraintes élevées dues au cycle du système de combustion
- Cause :**
- Débit de vapeur installé supérieur à la demande réelle
- Remèdes :**
- Étude et conception correcte du débit de vapeur
 - Concevoir des systèmes pour une capacité de charge partielle la plus faible possible
 - Définir le concept d'opération de charge partiel
 - Installer une sortie de combustion plus petite

→ Étude et conception – Chapitre 3.2.1 : Débit de vapeur maximal, page 43

1.1.2 Sous-dimensionnement

Le sous-dimensionnement pose un problème de fonctionnement important. Les chaudières qui ne sont pas équipées de fonctions de sécurité appropriées tombent en dessous de la pression de fonctionnement standard. Dans ce cas, de plus en plus d'eau est entraînée dans la conduite de vapeur et des pannes se produisent en raison des énormes fluctuations du niveau d'eau.

- Problèmes :**
- La pression de la vapeur chute
 - L'humidité de la vapeur augmente
 - Les rendements thermiques ne peuvent pas être atteints
- Cause :**
- Le débit de vapeur installé est inférieur à la demande réelle
- Remède :**
- Étude et conception correcte du débit de vapeur
 - Observer les grandes étapes de charge
 - Étude et conception de la commande séquentielle de la chaudière

1.2 Alimentation en combustible

Lors de l'alimentation en combustible pour la combustion du gaz, il faut notamment tenir compte de la pression d'écoulement du gaz à pleine charge. Si la pression d'écoulement du gaz est trop faible, des défauts se produiront dans le système de combustion. Parfois, la pression d'écoulement nécessaire au niveau du module de régulation du gaz est transmise directement au fournisseur de gaz sans tenir compte des résistances dans la conduite de gaz entre la station de transfert de gaz et le module de régulation du gaz. Il faut également veiller à ce qu'il y ait une différence suffisante entre la pression d'écoulement du gaz nécessaire au fonctionnement et les valeurs de réglage des équipements de limitation de la pression et de sécurité, afin qu'ils ne se déclenchent pas lors de la fermeture des électrovannes doubles du système de combustion.

- Problèmes :**
- Le débit de vapeur à pleine charge n'est pas atteint
 - Défauts fréquents du brûleur
- Cause :**
- Pression du débit de gaz au module de régulation du gaz trop faible.
 - Fortes fluctuations de la pression du gaz
 - Filtre à gaz sale
- Remèdes :**
- Étude et conception correcte de la conduite de gaz
 - Nettoyage du filtre à gaz
 - Il faut tenir compte de toutes les résistances entre le module de transfert du gaz et le module de régulation du gaz de la chaudière à puissance maximale



1.3 Salle d'installation

Pour garantir une combustion fiable, il est essentiel que les ouvertures d'alimentation en air de la chaufferie soient suffisamment grandes et qu'elles soient complètement ouvertes lorsque le brûleur fonctionne. Si l'air d'alimentation est insuffisant, cela peut entraîner des problèmes allant de la formation de suie à l'allumage difficile, entraînant de graves dommages à la chaudière.

Si des conduites susceptibles de geler, par exemple des conduites d'eau douce, se trouvent à proximité des ouvertures d'air d'alimentation, il faut tenir compte du risque de gel en hiver.

Il faut également prévoir des ouvertures pour l'air extrait afin d'éviter des contraintes thermiques importantes dues à une accumulation de chaleur sous le plafond de la chaufferie. L'isolation des chaudières, des tuyauteries et des vannes est en effet de plus en plus efficace, ce qui réduit la puissance thermique dans la chaufferie. La chaleur résiduelle doit cependant encore être évacuée de la chaufferie. Les équipements de commutation électroniques, en particulier, peuvent tomber en panne en raison des températures ambiantes élevées.

- Problèmes :**
- Air insuffisant lors de la combustion (formation de CO)
 - Pression négative dans la chaufferie
 - Accumulation de chaleur dans la chaufferie
 - Risque de gel au niveau des ouvertures d'air d'alimentation

- Cause :**
- Ouvertures de soufflage d'air trop petites
 - Ouvertures d'extraction d'air

- Remèdes :**
- Étude et conception correcte des ouvertures de soufflage et d'extraction d'air.
 - Éviter le risque de gel



2 Pendant l'installation

Des erreurs d'installation et de montage se produisent de temps à autre car, dans les grands projets, plusieurs entreprises travaillent souvent ensemble pour la première fois. De nombreuses interfaces et de nombreuses instructions de montage de fabricants spécifiques doivent être respectées. La pression du temps, qui est souvent un aspect de tels projets, peut également avoir un effet décisif.

Les différents corps de métier installent leurs tuyauteries sans se coordonner et celui qui arrive le premier sur le chantier installe le premier sans tenir compte des installations suivantes.

Dans ces situations, des défauts problématiques apparaissent, par exemple un volumètre installé dans le mauvais sens d'écoulement ou des raccordements incorrects au niveau d'un échangeur de chaleur ou de soupapes de sécurité, qui sont remarqués lors de la mise en service et doivent alors être rectifiés.

Malheureusement, les systèmes et les tuyauteries sont souvent mal installés. Les problèmes suivants ne sont que partiellement identifiés lors de la mise en service et de la réception du système, ce qui entraîne une détérioration permanente des conditions de fonctionnement.

Les signes de cette situation sont les suivants :

- Des coûts d'investissement trop élevés (trop de coudes, ni de cheminement direct des tuyaux).
- Des coûts d'exploitation correspondants (pertes de pression élevées, pertes de chaleur élevées)
- Mauvaises options d'exploitation et de maintenance



Fig. 15 Introduction d'eaux résiduelles à des températures supérieures à 100 °C dans le réservoir de purge inférieur, sous la ligne d'eau (au niveau du connecteur pour < 100 °C)

2.1 Acheminement des conduites

Pour diverses raisons, la tuyauterie doit être acheminée à travers des changements de hauteur en de nombreux points. Dans ces situations, il convient de suivre deux règles de base simples :

- Drainer la tuyauterie au point le plus bas
- Ventiler la tuyauterie au point le plus haut

2.1.1 Conduites de vapeur

Lors de la mise en service, il est très important de garder à l'esprit que de grandes quantités de condensat s'accumulent dans les conduites de vapeur, non seulement pendant l'opération de chauffage mais aussi en fonctionnement continu en raison des pertes de chaleur dans la tuyauterie. Ce condensat doit être éliminé de la conduite de vapeur, sinon des gouttes d'eau pourraient se former et être entraînées à grande vitesse dans le flux de vapeur, ce qui provoquerait des coups de bélier et endommagerait la conduite, les vannes ou les supports.

Les points suivants doivent être respectés lors de l'acheminement de la conduite de vapeur :

Prévoir des points d'assèchement

- Immédiatement en amont de toutes les vannes de régulation et de tous les réducteurs de pression afin d'éviter l'accumulation de condensat lorsque ces raccords sont fermés
- En amont des vannes manuelles ou motorisées qui restent fermées pendant de longues périodes
- Aux points les plus bas de toutes les sections verticales de la tuyauterie et avant les changements de hauteur
- À l'extrémité de la conduite

Observer les gradients de la tuyauterie

Le condensat qui s'accumule dans une section de la tuyauterie doit pouvoir s'écouler vers le collecteur de condensat le plus proche. Dans le sens de l'écoulement, ceci est favorisé par la vitesse d'écoulement qui prévaut dans la conduite. Un gradient dans le sens de l'écoulement est donc souhaitable. Il doit y avoir un point d'assèchement tous les 25 à 50 mètres.

Le gradient ne devrait pas être inférieure à 1 - 3%, et devrait idéalement augmenter légèrement à mesure que l'on s'éloigne du dernier point de drainage, car une plus grande quantité de condensat doit alors également être transportée.

Il est également possible d'assécher de courtes sections de tuyaux dans le sens inverse du flux en augmentant la pente en conséquence jusqu'à > 5%.

L'important est de veiller à ce que le condensat puisse s'écouler sans entrave et que des poches d'eau ne puissent se former à aucun endroit de la tuyauterie.

Collecteur de condensat

En raison du gradient de pression élevée, seul un petit diamètre de raccordement (DN 15 - 25) est nécessaire à l'extrémité des collecteurs de condensat pour l'assèchement de la tuyauterie. Cependant, si le diamètre de l'extrémité de connexion qui se raccorde directement à la conduite de vapeur est trop petit, une partie du condensat s'écoulant à grande vitesse dans la tuyauterie est chassée au-delà du point d'assèchement, ce qui rend le collecteur de condensat plus ou moins inefficace. Le tuyau collecteur de condensat doit donc toujours être suffisamment dimensionné pour assurer une déshydratation efficace. Il faut également s'assurer qu'un volume suffisant est disponible dans le tuyau collecteur de condensat pour les dépôts de saleté afin de minimiser les défaillances des drains de condensat.

Le tube collecteur sert également de volume de stockage, en particulier lors de la mise en route du système, lorsque des taux d'accumulation de condensat importants se produisent en raison du chauffage de la tuyauterie. Le raccordement de l'évacuation des condensats doit être branché environ 50 à 100 mm au-dessus de la base du tuyau collecteur pour éviter que la saleté et les dépôts ne pénètrent directement dans l'évacuation.

→ Technologie – Chapitre 5.2 : Tuyaux de vapeur, page 219

- Problème :** • Coup de bélier causant des dommages aux canalisations, aux vannes et aux supports.
- Cause :** • En raison d'une déshydratation inefficace, des gouttes d'eau se déplaçant à grande vitesse se forment dans la tuyauterie.
- Remède :** • Choisir la bonne évacuation des condensats et l'installer à un endroit approprié.



2.1.2 Fusion de tuyauteries

La fusion de tuyauteries ayant la même fonction est une procédure standard dans la construction des installations. Il va de soi que les conduites de vapeur de plusieurs systèmes de chaudières sont combinées en une seule conduite d'alimentation de diamètre nominal approprié, par exemple. Toutefois, cela n'est possible que si la fonction n'est pas altérée. Cela peut entraîner de graves problèmes, notamment dans le cas des conduites de purge des soupapes de sécurité.

Les tuyaux de purge des soupapes de sécurité doivent toujours être acheminés séparément vers l'air libre et, si possible, par la voie la plus directe. La fusion des tuyauteries affecte le fonctionnement de la soupape de sécurité et les quantités de purge nécessaires sont réduites. Comme les forces de réaction qui se produisent lorsque la soupape réagit sont élevées, la conduite peut même se rompre.

Problèmes :

- Augmentation inadmissible de la pression dans la chaudière possible.
- La fonction de sécurité n'existe plus
- Infraction à la réglementation
- Rupture possible de la tuyauterie

Cause :

- Résistance à l'écoulement trop élevée dans la tuyauterie.
- Effet rétroactif sur la soupape de sécurité (flottement)

Remède :

- Acheminer toujours les tuyaux de purge des différentes soupapes de sécurité séparément.



Fig. 16 Combinaison inadmissible d'une soupape de sécurité et d'un tuyau de vapeur d'expansion

2.1.3 Réduction du diamètre interne et tuyauterie excessivement longue

Conduites de ventilation

Si les conduites de ventilation, telles que celles utilisées sur le réservoir d'expansion de purge de fond, ne sont pas acheminées avec le même diamètre nominal que celui spécifié, il existe un risque d'accumulation inadmissible de la pression. Cela se produit en raison de la restriction du débit d'air et peut entraîner la destruction du réservoir qui est conçu pour un fonctionnement sans pression ($\leq 0,5$ bar).



Fig. 17 Si le diamètre interne des tuyaux de vapeur d'expansion est réduit, cela peut conduire à une augmentation de la pression et à la rupture du réservoir.

Conduite d'échappement de vapeur

Si le diamètre interne du tuyau de vapeur d'échappement du dégazeur est réduit, cela peut nuire à l'élimination de l'oxygène et du dioxyde de carbone à un point tel que le dégazage complet ne peut plus avoir lieu. Cela entraînerait la corrosion de la chaudière et de la tuyauterie. Si, en outre, la qualité de l'eau n'est pas contrôlée régulièrement comme il se doit, il se peut que des composants importants du système de chaudière doivent être remplacés.

Problèmes :

- Augmentation inadmissible de la pression
- Fonctionnement restreint

Cause :

- Réduction du diamètre nominal du tube et donc augmentation de la résistance à l'écoulement dans la tuyauterie

Remède :

- Acheminer le plus directement possible vers l'extérieur la tuyauterie dont le diamètre nominal et le matériau sont prescrits



Fig. 18 *Dérivation (1) du tuyau de vapeur d'expansion sur le réservoir de purge inférieur. Fusion (2) du conduit de vapeur d'expansion, du conduit de purge de la soupape de sécurité et du conduit de vapeur d'échappement. Le conduit de vapeur d'échappement n'est pas en acier inoxydable(3).*

2.1.4 Sortie sans danger

Toutes les tuyauteries, en particulier les tuyaux de purge des soupapes de sécurité qui dévient la vapeur vers l'air libre, doivent être acheminées de manière à ne pas présenter de danger supplémentaire pour les personnes, les systèmes ou le bâtiment. La vapeur s'écoule normalement à très grande vitesse et à haute température vers l'air libre. La sortie ne doit donc pas croiser de voies ni être dirigée vers des parties du système sensibles à la température.

- Dégâts :**
- Destruction de dômes de toiture dans le bâtiment en raison de la vapeur chaude provenant du tuyau d'évacuation de la soupape de sécurité (image de gauche)
 - Danger pour le personnel d'exploitation et dommages aux composants électroniques (image à droite)
- Cause :**
- Danger potentiel non identifié
 - Sortie du tuyau d'évacuation pointant directement sur le dôme du toit ou à l'intérieur de la chaufferie
- Remède :**
- Terminer la tuyauterie de manière inoffensive à l'air libre



Fig. 19 *Tuyau de purge de la soupape de sécurité*

2.1.5 Vannes mal installées

Les vannes sont souvent mal installées dans le sens du débit. Comme la fonction est altérée, cela est normalement découvert immédiatement. Cela ne peut pas toujours être détecté immédiatement, notamment dans le cas des clapets anti-retour. Dans le cas présent, le clapet anti-retour était mal installé au niveau de la dérivation du module de contrôle de l'eau d'alimentation, ce qui signifie que la quantité minimale requise pour la pompe ne pouvait plus retourner dans le réservoir d'eau d'alimentation. Cela a d'abord entraîné une cavitation dans la première pompe d'eau d'alimentation. La cause n'a pas été examinée plus avant car la pompe d'eau d'alimentation a été remplacée sous garantie. Comme le défaut n'a pas été corrigé, la cavitation s'est produite dans la deuxième et la troisième pompe. Ce n'est qu'à ce moment-là que la cause réelle a été recherchée et rectifiée.

- Dégât :**
- Trois pompes d'alimentation défectueuses en raison de la cavitation
- Cause :**
- Pas de transport de quantité minimale car le clapet anti-retour a été installé dans la conduite de dérivation dans le mauvais sens d'écoulement
- Remèdes :**
- Utiliser des modules préinstallés
 - Vérifier toutes les conditions de fonctionnement lors de la mise en service
 - Vérifier les causes des dommages



2.2 Support

De temps à autre, on constate de graves défauts sur les supports de tuyauterie, tels que :

- Dimensionnement insuffisant des supports
- Distances entre les supports trop importantes
- La dilatation thermique pendant le fonctionnement n'est pas prise en compte
- Mur ou plafond trop faible pour absorber les forces

Les forces libérées lorsque la soupape de sécurité réagit ne peuvent être absorbées ni par la soupape de sécurité ni par le toit métallique. Ici, les tuyaux de décharge s'appuient les uns sur les autres, ce qui n'arrange pas la situation. Heureusement, le défaut a été découvert avant le test initial, car sinon, il y aurait eu un risque de rupture de la tuyauterie.

Problème : • Possibilité de dommages importants au bâtiment et danger pour le personnel d'exploitation.

Cause : • Absence de support pour la tuyauterie

Remède : • Prévoir des supports appropriés pour toutes les forces en présence



Fig. 20 Supports des tubes de purge de la soupape de sécurité manquants



Fig. 21 La dilatation thermique des tubes de purge de la soupape de sécurité n'est pas possible



MEC-Schrank
übergeordnetes
Leitsystem



Inspire-ico
T. Fischborn
BOSCH





3 Pendant l'exploitation

Si l'entretien et la maintenance sont correctement effectués, la chaudière aura une durée de vie de plus de 50 ans. Cependant, dans la pratique, le système de chaudière est affecté par de nombreux facteurs différents qui peuvent réduire considérablement la durée de vie de la chaudière. Dans ce chapitre, nous souhaitons avant tout sensibiliser l'exploitant à ce sujet sur la base d'exemples individuels. En effet, les causes possibles de défauts ne peuvent bien sûr pas être décrites sous tous leurs aspects. Toutefois, la règle générale suivante s'applique : il y aura toujours des causes spécifiques aux défauts qui se produisent. En plus de la réparation correcte du défaut et du rétablissement de la disponibilité opérationnelle de l'installation, il convient de trouver et d'éliminer les causes afin qu'elles ne se reproduisent pas lors d'une exploitation ultérieure.

→ Informations techniques : défauts des chaudières - analyse des défaillances et des causes

La durée de vie des composants électroniques et électriques est généralement nettement inférieure à celle du corps de la chaudière. Ils doivent être remplacés avant la fin de leur durée de vie, surtout s'il s'agit de composants liés à la sécurité. L'une des fonctions de l'assistant numérique d'efficacité MEC Optimize est d'aider l'opérateur à effectuer cette tâche et aussi la maintenance préventive en général.



→ Outils – Chapitre 6.4 : MEC Optimize, page 374

Les défauts peuvent souvent être identifiés à l'avance et leurs causes éliminées. La condition préalable à cela est toutefois un échange ouvert de connaissances entre les opérateurs, les ingénieurs de l'usine et le service clientèle.

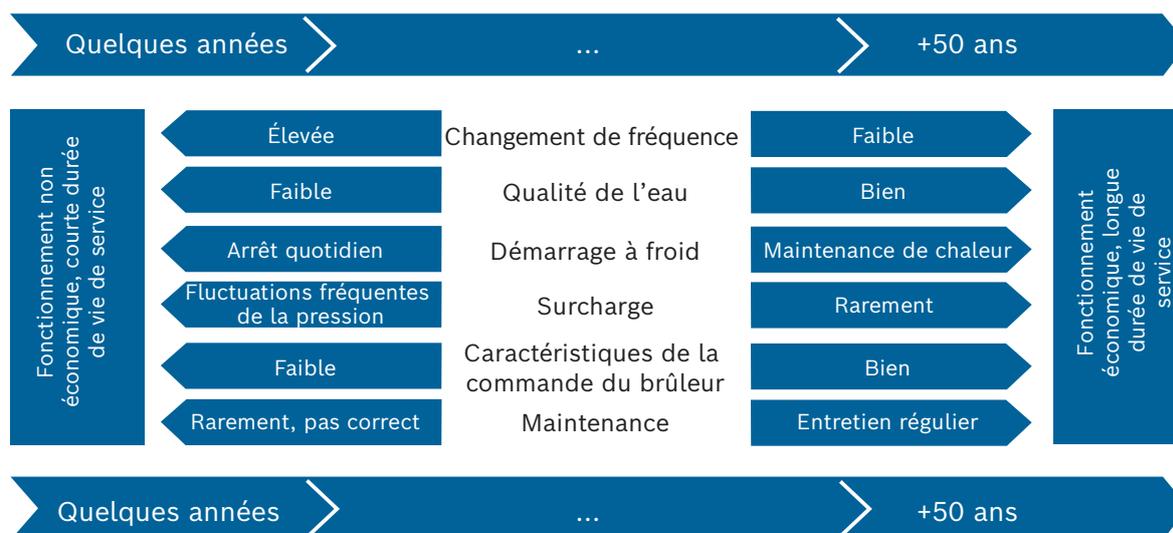


Fig. 22 Influence du mode de fonctionnement de la chaudière sur sa durée de vie

3.1 Surveillance de la qualité de l'eau

3.1.1 Dureté de l'eau/calcaire

Outre d'autres ingrédients nocifs, l'eau fraîche contient également des terres alcalines, souvent appelées « dureté ». Les dépôts dans la bouilloire ou la machine à café nous sont également familiers. Une couche de calcaire de seulement 1 mm peut réduire considérablement le transfert de chaleur du côté de l'eau. Cela peut entraîner des dommages importants, notamment sur les composants soumis à de fortes contraintes thermiques, comme le foyer ou la plaque tubulaire de la chambre d'inversion interne.

Dans ce cas, le système d'adoucissement existant a été constamment surchargé par les consommateurs supplémentaires de l'usine. Il n'y avait pas de surveillance de la dureté et la surcharge n'a donc pas été détectée.

Par conséquent, la dureté résiduelle s'est également retrouvée dans la chaudière dans laquelle des couches se sont formées du côté de l'eau. Ces couches ont réduit le transfert de chaleur, ce qui a provoqué une surchauffe locale et des fissures dans la plaque tubulaire entre les trous.

Le saviez-vous ?

Avec une dureté de l'eau de 10° dH (dureté moyenne), on transporte jusqu'à 70 g de calcaire par m³ d'eau.

Si l'on extrapole cette valeur pour une chaudière d'une puissance de vapeur de 10 t/h fonctionnant en continu pendant 10 jours, on obtient près de 500 kg de calcaire dans la chaudière.



- Dégât :**
- Fissures dans les côtes de la plaque tubulaire du tube de fumée dues à une surchauffe dans cette zone.
- Cause :**
- Invasion de dureté et dépôts dans l'espace d'eau.
- Remèdes :**
- Tenue d'un journal de bord de la chaudière avec des entrées régulières sur la qualité de l'eau et contrôle du respect de la directive sur la qualité de l'eau.
 - Utilisation de la surveillance de la dureté résiduelle.

→ Technologie – Chapitre 4.5 : Surveillance de la qualité de l'eau, page 203

→ Information technique TI012 : exigences relatives à l'exploitation d'installations de chaudières à haute pression sans supervision constante



Fig. 23 Dépôts côté eau sur le panneau et la plaque tubulaire de la chaudière



Fig. 24 Côté fumées avec des fissures dans les côtes de la plaque tubulaire de la chambre d'inversion

3.1.2 Introduction de matières étrangères dans le condensat

Du point de vue de l'énergie et de l'efficacité, il est logique de renvoyer les condensats qui s'accumulent pendant le fonctionnement vers le circuit eau/vapeur. Il peut toutefois être contaminé au cours du processus de production. Dans cet exemple, le condensat a été contaminé par de la graisse en raison d'un échangeur de chaleur de production non étanche. La graisse s'est déposée dans la chaudière sur les surfaces chauffantes et également sur l'indicateur de niveau d'eau bas, ce qui a provoqué une surchauffe des surfaces chauffantes.

- Dégâts :**
- Dommages irréparables sur le corps de la chaudière en raison de la surchauffe
 - Bosses dans le tube de flamme et les tubes de fumée
- Cause :**
- Condensat non contrôlé pour éviter la pénétration de substances étrangères
- Remèdes :**
- Vérifier si le condensat peut être contaminé.
 - Mettre en place une surveillance du condensat

→ Technologie – Chapitre 4.5 : Surveillance de la qualité de l'eau, page 203

→ Information technique TI012 : exigences relatives à l'exploitation d'installations de chaudières à haute pression sans supervision constante

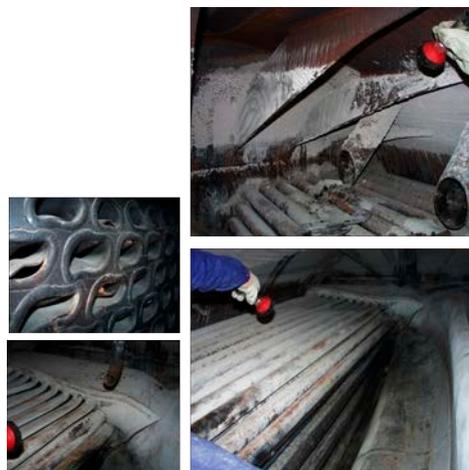


Fig. 25 Couche de graisse et de contamination dans la chaudière entraînant une déformation du tube de flamme et de la chambre d'inversion interne en raison de la surchauffe

3.1.3 Dosage des produits chimiques pour le traitement de l'eau

Dosage des produits chimiques pour le traitement de l'eau

Le dosage doit généralement remplir deux tâches. D'une part, les composants d'oxygène résiduel ou de dureté résiduelle doivent être liés, et d'autre part, la valeur du pH dans l'eau d'alimentation et dans la chaudière doit être maintenue dans les limites autorisées. Les pompes doseuses sont souvent commutées en parallèle avec les pompes d'alimentation de la chaudière ou le système de contrôle de l'eau d'appoint, ce qui signifie que le dosage est effectivement basé sur la quantité. Le débit de dosage est adapté aux valeurs mesurées dans l'eau de la chaudière afin de garantir que la concentration de l'agent de dosage reste dans la plage des valeurs guides. Il est conseillé de régler le débit de la pompe de dosage dans une fourchette de 30 à 100%. Si cela ne suffit pas, la concentration du produit de dosage doit être modifiée.

Le sous-dosage comme le surdosage peuvent perturber le bon fonctionnement de la chaudière ou entraîner de graves dommages.

Les problèmes récurrents de qualité de l'eau ne sont toutefois pas imputables au dosage lui-même, mais plutôt au traitement et à la surveillance de l'eau en amont. Dans ces cas, les fluctuations normales ne peuvent plus être compensées par le dosage.

- Problème :**
- Respect des valeurs limites de l'eau
- Cause :**
- Réglage du dosage
 - Problèmes de traitement de l'eau
- Remèdes :**
- Analyse régulière de l'eau
 - Contrôle des réglages de dosage
 - Contrôle du traitement de l'eau
 - Contrôle de la surveillance des condensats
 - Analyse automatique de l'eau



3.2 Cavitation des pompes

La cavitation fait référence à la formation et à la rupture de bulles de vapeur dans les fluides. Dans ce cas, l'évaporation est provoquée par une réduction de la pression statique, par exemple en raison de l'accélération du fluide à l'entrée de la turbine dans la pompe. Les bulles de vapeur se brisent dans le chemin d'écoulement car l'augmentation de la pression externe provoque l'implosion des bulles (coup de bélier microscopique). Ce phénomène peut causer des dommages importants, voire la destruction complète du fonctionnement interne de la pompe.

Il existe de nombreuses causes possibles de cavitation dans les pompes. Une hauteur d'installation trop faible, des pressions fluctuantes du côté de l'aspiration ou des températures fluctuantes du fluide. Souvent, la pompe d'alimentation n'a pas été correctement étranglée, comme c'est également le cas pour ce problème spécifique. Au début du fonctionnement, il n'y a pas ou très peu de contre-pression dans la chaudière. La pompe débite donc une quantité d'eau nettement supérieure. Cela entraîne une augmentation considérable de l'accélération à l'entrée de la turbine de la pompe et une baisse significative de la pression statique. Si l'eau d'alimentation est déjà chaude, une cavitation peut se produire à ce moment-là. La pompe a été endommagée au-delà de toute réparation après seulement quelques minutes.

Tout le monde peut entendre la cavitation :

Au début de la cavitation, le son est comme la pluie sur un toit métallique et la cavitation complète ressemble à la grêle sur un toit métallique.



- Problème :**
- Cavitation au niveau des pompes
- Cause :**
- Les pompes ne sont pas étranglées
- Remèdes :**
- Etrangler les pompes comme indiqué dans le mode d'emploi
 - Respecter les conditions d'installation



Fig. 26 Dommages de la pompe dus à la cavitation

- | | | | |
|----------|--|----------|--|
| 1 | Déformation de la roue de la pompe | 3 | Endommagement/destruction d'autres composants de la pompe en raison de l'arrachement des engrenages de la roue |
| 2 | Pales de la roue de la pompe soufflées | | |

3.3 Réglage de la combustion

Outre le traitement de l'eau, les réglages du système de combustion sont déterminants pour assurer un fonctionnement économique et une longue durée de vie de la chaudière. Ces réglages doivent donc être contrôlés régulièrement dans le cadre de l'entretien de routine. Il ne s'agit pas seulement de vérifier que la chaudière fonctionne correctement, mais aussi que le fonctionnement réel correspond au fonctionnement prévu.

3.3.1 Cycles du brûleur

Le problème des cycles fréquents du brûleur est souvent rencontré. Il peut avoir de nombreuses causes différentes, telles qu'une conception surdimensionnée, une réduction de la demande, des modifications des conditions de fonctionnement et également des réglages insuffisants de la régulation.

La règle qui s'applique généralement à tous les systèmes est que le cycle du brûleur doit être évité autant que possible. Pendant la pré-ventilation, de l'air froid est acheminé à travers la chaudière. Cela entraîne des contraintes thermiques plus élevées et donc une durée de vie réduite et des pertes de chaleur plus importantes. Le cyclage peut souvent être réduit de manière significative simplement en optimisant les réglages du contrôle de la charge.

Si le brûleur est beaucoup trop gros pour le débit de vapeur requis, il devra être remplacé

→ Efficacité – Chapitre 2.2.3 : Réglage de la puissance, page 272

→ Efficacité – Chapitre 4.4.1 : Maintenance, page 299

→ Rapport technique FB027 : contraintes évitables dans les chaudières à tube de fumée

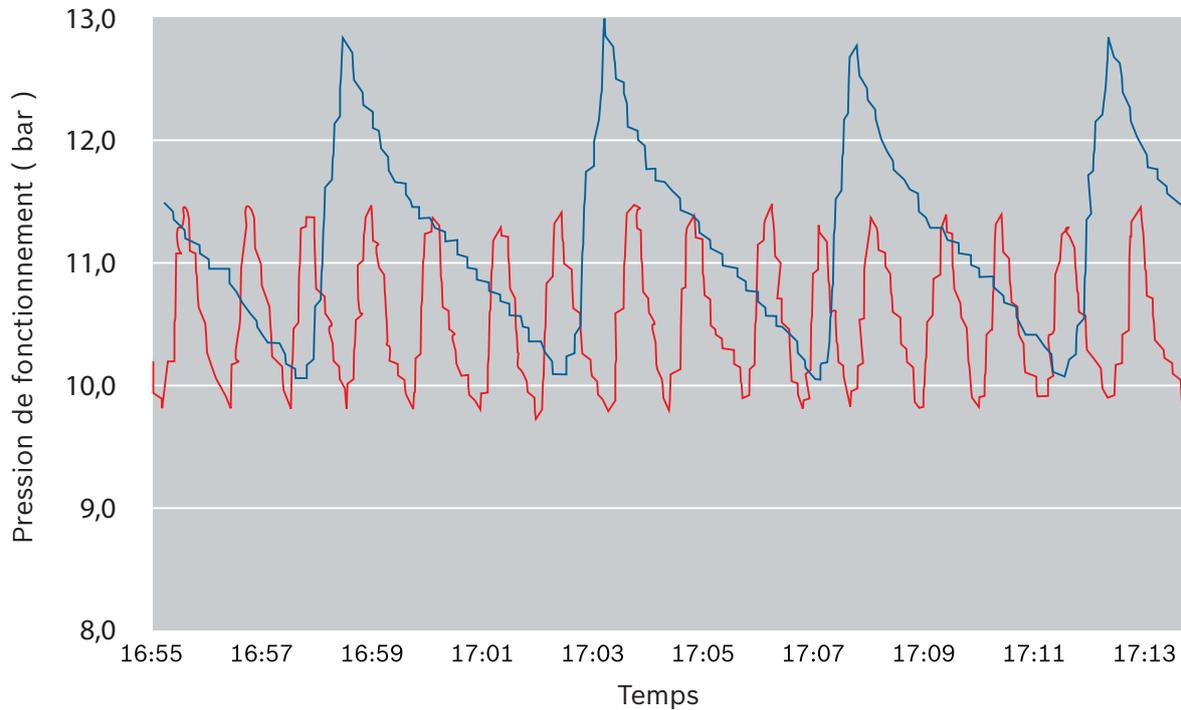


Fig. 27 Réduction du cycle du brûleur grâce à un réglage optimisé

- Cycle du brûleur dans des minutes
- Cycle du brûleur après réajustement de la plage de contrôle

Problème : • Cycle extrêmement fréquent du brûleur entraînant des contraintes thermiques et donc une augmentation de l'usure et des pertes de chaleur pendant la pré-ventilation

Cause : • Configuration du contrôle de la charge
• La plage de contrôle du brûleur est trop petite

Remèdes : • Régler une plage de contrôle de la pression plus grande
• Installation de régulations de charge faible
• Utilisation de brûleurs à plage de régulation élevée ou adaptation de la puissance du brûleur aux besoins réels

3.3.2 Surcharge de la chaudière

La conception des chaudières à vapeur les rend relativement insensibles aux fluctuations de charge des consommateurs. Une augmentation à court terme de l'alimentation en vapeur allant jusqu'à 20% par rapport à la capacité conceptuelle, qui peut survenir en raison d'une chute de pression dans la chaudière, ne pose généralement pas de problème. Si la demande de charge est plus élevée, cela peut entraîner des problèmes importants dans le système et la chaudière et de fortes fluctuations du niveau d'eau dans la chaudière. L'eau transportée de la chaudière dans le système peut conduire à un taux d'humidité de la vapeur extrêmement élevé qui provoque des coups de bélier.

Problème : • De l'eau est entraînée dans la conduite de vapeur, ce qui entraîne un taux d'humidité de la vapeur très élevé et des coups de bélier dans la tuyauterie

Cause : • Surcharge de la chaudière

Remède : • Installation d'un limiteur de débit avec vanne motorisée sur l'alimentation en vapeur

3.4 Contamination et résidus dans la tuyauterie

Souvent, la contamination et les résidus dans les tuyauteries, les conteneurs et les vannes entraînent des dysfonctionnements et des dommages. Cela peut se produire au moment de la mise en service, par exemple, en raison d'un rinçage insuffisant de la tuyauterie, ou peut apparaître plus tard au cours de l'exploitation en raison d'une contamination continue. Bien que, dans ce cas, une contamination progressive soit tout de même détectée, l'impact négatif sur les coûts qui peut se produire est souvent négligé.

3.4.1 Drain de condensat défectueux

Des drains de condensat sont installés dans chaque système de chaudière à vapeur. Selon la taille globale du réseau de vapeur, plus de 100 drains peuvent être installés. Si un seul d'entre eux présente une fuite, la vapeur peut déborder directement dans le réseau de condensat sans utiliser son enthalpie. Cela entraîne une perte économique. En outre, dans ce scénario, les composants en aval peuvent également être affectés négativement en conséquence.

Un drain de condensat défectueux dans le système de drainage de la conduite de vapeur a entraîné un réchauffement continu de la cuve d'eau d'alimentation en raison du débordement de la vapeur dans le système de condensat. Cela a entraîné une augmentation de la pression dans la cuve d'eau d'alimentation jusqu'à ce que la soupape de sécurité commence à réagir de manière cyclique et devienne elle-même défectueuse.

- Dégât :** • Soupape de sécurité défectueuse et fonctionnement non rentable
Cause : • Purgeur de condensat défectueux
Remède : • Inspection régulière de l'évacuation des condensats

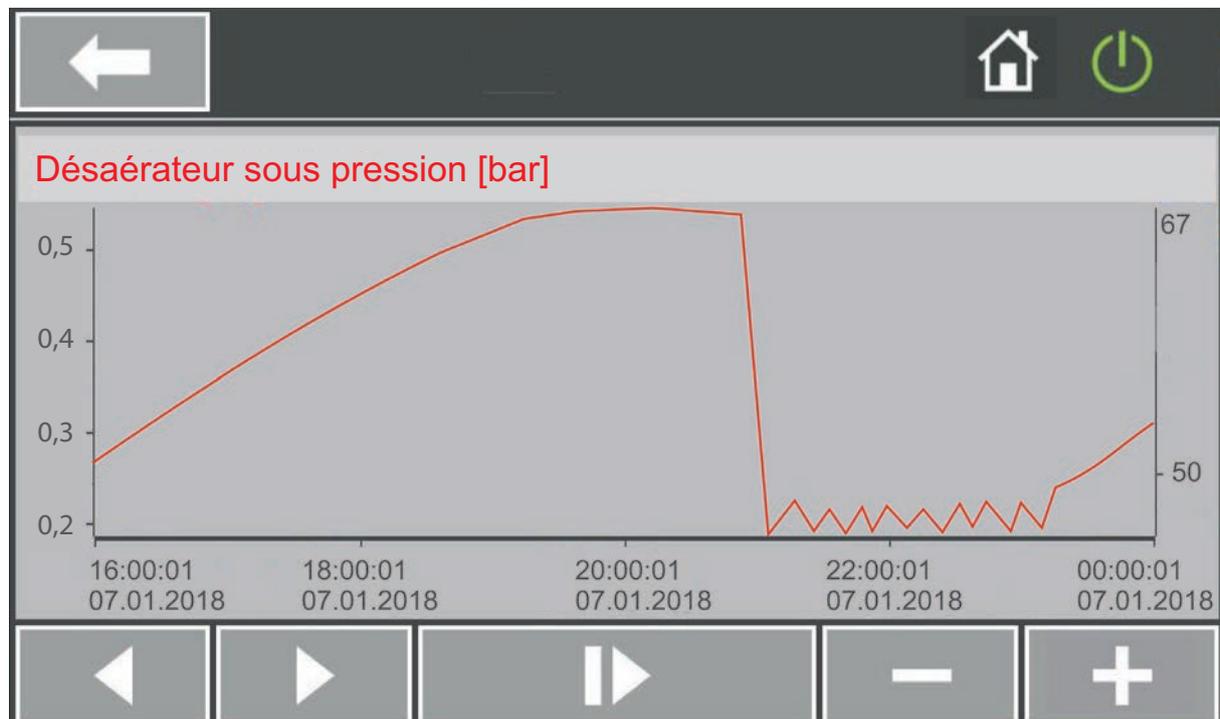


Fig. 28 Augmentation continue de la pression du réservoir d'eau d'alimentation en raison d'une évacuation défectueuse des condensats.

**Exemple de calcul :**

$$\text{Pertes de vapeur [D]} = A \cdot K$$



A	Nombre de drains de condensat défectueux	10
B	Heures de marche annuelles	8 000h/a
D	Pertes de vapeur	
E	Coût de la production d'une tonne de vapeur	30 Euro/t
K	Pertes par drain de condensat	2 kg/h

$$\text{Coûts qui en résultent [€/a]} = \frac{B \cdot D \cdot E}{1\,000}$$

**F16.** Calcul des coûts résultant de drains de condensat défectueux

Nombre de drains de condensat défectueux	10		
Perte par drain de condensat [kg/h]	2	Pertes de vapeur [kg/h]	20
Heures de marche (h/a)	8 000		
Coûts de la génération de vapeur (€/1 000 kg)	30	Coûts résultant (€/a)	4 800

B7. Exemple de calcul pour déterminer les coûts résultant des drains de condensat défectueux**3.4.2 Contamination dans l'économiseur**

Des dépôts peuvent se produire dans le trajet des fumées en raison de la suie produite pendant la combustion et de la mauvaise qualité du combustible. Dans ce cas, la partie froide, c'est-à-dire l'économiseur, est la plus touchée. Les côtes de l'économiseur se bouchent avec des dépôts. D'une part, les fumées ne peuvent plus être refroidies aussi efficacement et le degré d'utilisation diminue, d'autre part, la contre-pression des fumées augmente également, ce qui entraîne un manque d'air lors de la combustion et éventuellement un risque d'allumage dur.

- Problème :**
- Contamination dans l'économiseur
- Cause :**
- Mauvais réglage de la combustion
- Remède :**
- Entretien régulier et vérification des paramètres de combustion
 - Nettoyage du parcours des fumées
 - Conception correcte



Fig. 29 Dépôts sur les côtes de l'économiseur



Fig. 30 Risque de manque d'air en raison de bouchage des ouvertures de soufflage

3.4.3 Contamination du filtre à gaz

Lors de l'assemblage, il y a toujours des salissures dans la tuyauterie. Il est toutefois possible de le réduire au minimum en assurant une qualité appropriée lors de la fabrication. Les résidus sont ensuite éliminés par le rinçage de la tuyauterie. Dans ce cas, la contamination de la conduite de gaz était si importante que, même lors de la mise en service, elle a provoqué une chute de pression significative dans le filtre à gaz et des problèmes de mise en service du système de combustion.

- Problème :**
- Encrassement du filtre à gaz pendant la mise en service
- Cause :**
- Mauvaise qualité de soudage de la conduite de gaz
 - Pas de rinçage de la ligne de gaz avant la mise en service
- Remède :**
- Rinçage de la tuyauterie avant la mise en service



Fig. 31 Billes de soudure et film de rouille dans le filtre à gaz

3.4.4 Calcification dans le module de purge, d'expansion et de refroidissement (BEM)

Toutes les eaux usées sont collectées et refroidies au niveau de température admissible dans le BEM avant d'être introduites dans le système d'égouts public. Si le niveau de température pour le refroidissement est réglé trop bas, le refroidissement est effectué en continu en utilisant de l'eau fraîche, ce qui entraîne des pertes financières. Dans ce cas, la dureté de l'eau fraîche utilisée pour le refroidissement était également extrêmement élevée, de l'ordre de 20 °dH. Cela a entraîné la formation d'un calcaire important dans le BEM qui a fini par boucher complètement le débordement.

Problème :

- Module de purge, d'expansion et de refroidissement entièrement calcifié
- Remplacement nécessaire

Cause :

- Mauvais réglage du contrôle de la température et eau de refroidissement trop dure

Remède :

- Respecter une dureté maximale de 10° dH pour le refroidissement (on peut utiliser de l'eau adoucie si nécessaire)



Fig. 32 Débordement au BEM enlevé ; calcification complète au BEM

3.5 Contournement des équipements de sécurité

Les équipements de sécurité sont prescrits pour de bonnes raisons. Ils ont pour but d'empêcher, en cas de défaillance pendant le fonctionnement normal, une défaillance catastrophique ayant des conséquences potentiellement désastreuses pour les personnes, la machine et l'environnement. Ces équipements de sécurité ont, dans la mesure du possible, déjà été testés en usine. Le câblage final, le montage et le contrôle du fonctionnement ne sont toutefois effectués que lors de la mise en service. La mise en service est souvent effectuée dans des délais très serrés. Cependant, il est impératif que cela ne conduise pas à l'omission d'équipements de sécurité de base ou, comme le montre cet exemple, au contournement de ces équipements.

- Dégâts :**
- Dommages irréparables au corps de la chaudière en raison de surchauffe.
 - Dents dans le tube de flamme et les tubes de fumées
- Cause :**
- Indicateur de niveau bas d'eau dérivé
- Remède :**
- Mise en service de la chaudière exclusivement par des spécialistes qualifiés
 - Ne jamais désactiver les équipements de sécurité ou les rendre inopérants



Fig. 33 Déformation due à une surchauffe résultant d'un manque d'eau



3.6 Travail dangereux

L'installation de tous les systèmes, vannes et dispositifs de mesure nécessaires à la gestion du système doit être aussi simple que possible. Cependant, un compromis entre la garantie d'un fonctionnement et d'une maintenance optimaux et les contraintes d'espace est souvent inévitable. Normalement, il suffit de faire preuve de bon sens pour identifier les dangers potentiels. Cependant, l'évaluation des risques, qui est une exigence pour l'exploitation, fournit également des notes sur la sécurité de l'exploitation. L'opérateur peut demander à l'ingénieur de l'usine de le faire, notamment avant la réception du système, afin de garantir le bon fonctionnement du système.

- Problème :**
- Prélèvement d'eau dans un endroit dangereux sans dispositif de refroidissement et au-dessus d'un appareillage électrique.
- Cause :**
- Compréhension insuffisante du fonctionnement d'un système de chaudière à vapeur.
- Remède :**
- Faire descendre la ligne d'échantillonnage vers le bas
 - Installation d'un refroidisseur d'échantillon d'eau



Fig. 34 Prélèvement d'eau sans refroidisseur approprié et avec un récipient inadéquat

Technologie

1	Vapeur	103
1.1	Types de vapeur	103
1.2	Pression et température	109
1.3	Enthalpie	110
1.4	Avantages et inconvénients des systèmes à vapeur	112
2	Chaudière	115
2.1	Types	116
2.2	Équipement et contrôle	121
3	Composants	133
3.1	Combustion et chauffage	133
3.2	Système de maintien de la chaleur	145
3.3	Economiseur	148
3.4	Échangeur de chaleur à condensation	152
3.5	Préchauffeur d'air	154
3.6	Refroidisseur d'eau d'alimentation	155
3.7	Préchauffeur d'eau d'alimentation	156
3.8	Surchauffeur	157
3.9	Pompes d'alimentation de la chaudière	160
3.10	Contrôle de la chaudière	167
3.11	Contrôle de chaudière BCO	169
3.12	Contrôle de la chaudière à vapeur compacte CSC	172
4	Chaufferie	175
4.1	Traitement de l'eau	177
4.2	Évacuation de l'eau	191
4.3	Traitement, distribution et stockage de vapeur	192
4.4	Management de condensat	199
4.5	Surveillance de la qualité de l'eau	203
4.6	Système de contrôle SCO	206

5	Périphériques	211
5.1	Tuyauterie	211
5.2	Tuyaux de vapeur	219
5.3	Lignes d'eau	220
5.4	Conduites de condensat	222
5.5	Tuyau de purge de soupape de sécurité	224
5.6	Système de fumées	226
6	Production	233
6.1	Construction optimale de la chaudière	233
6.2	Soudage correct des tubes de flamme et des tubes de fumées	234
6.3	Soudage avec précision	235
6.4	Utilisation de robots de soudage	236
6.5	Moins de cordons de soudure, meilleure qualité	237









1 Vapeur

Le chauffage des produits est indispensable pour de nombreux processus et applications industriels. Un niveau de température compris entre 100 °C et 250 °C est fréquemment requis pour cela. La vapeur saturée ou légèrement surchauffée est un fluide caloporteur optimal qui offre de nombreux avantages :

- Haute densité énergétique
- Transfert de chaleur exceptionnel pendant la condensation
- Convenable pour le chauffage direct et indirect
- Bonne contrôlabilité
- L'eau/vapeur n'est pas toxique et est disponible partout
- Les pompes ne sont pas nécessaires pour le transport de vapeur

1.1 Types de vapeur

Une distinction est faite entre les types de vapeur suivants :

Type de vapeur	Fonction spéciale	Application	Teneur en humidité résiduelle
Vapeur humide	Peut causer l'érosion des tuyaux de vapeur	–	> 3%
Vapeur saturée/haute pression	Le type de vapeur le plus fréquemment utilisé	Chaleur du procédé <~ 230 °C	0% théorique norme technique jusqu'à 3%
Vapeur surchauffée	Réduction des pertes de chaleur dans les conduites de vapeur	Turbines à vapeur	0% (température de la vapeur > température de saturation)
Vapeur à basse pression	N'est pas soumis à la directive des équipements sous pression : des conditions d'installation et de fonctionnement plus favorables sont le résultat	Chaleur du procédé jusqu'à 0,5 bar, pressings	0 – 3%
Vapeur culinaire	Utilisation d'agents de dosage volatils de non vapeur	Agroalimentaire	0 – 5%
Vapeur pure	Génération via un générateur de vapeur pure en acier inoxydable soutenu par de la vapeur saturée	Industrie pharmaceutique, hopitaux	0 – 3%
Vapeur d'expansion	Produit en réduisant la pression de l'eau bouillante sous pression	Accumulateur de vapeur (souhaité) Après la purge du fond / de la surface (obligatoire)	0 – 5% (Dans l'accumulateur de vapeur)

Tab. 8 Différence entre les types de vapeur

1.1.1 Vapeur saturée ou vapeur saturée sèche

La vapeur qui se trouve à la frontière entre les deux types de vapeur humide et surchauffée, est appelée « vapeur saturée sèche » ou « vapeur sèche ». On l'appelle vapeur sèche pour distinguer sa différence de vapeur humide. Les valeurs indiquées dans les tableaux de vapeur se réfèrent à cet état spécifique.

→ Outils – Chapitre 4.2 : Tableau d'eau vapeur, page 400

Les caractéristiques physiques de la vapeur saturée sont presque toujours utilisées lors de la conception des échangeurs de chaleur dans la pratique, ou lors du calcul de la demande de vapeur des procédés thermiques.

Cependant, en réalité, la vapeur saturée ne se produit précisément qu'à la limite de phase. Même si c'est seulement très légèrement refroidi à la même pression, elle se transforme en vapeur humide ou, s'elle est très légèrement chauffée, elle se transforme en vapeur surchauffée. Si, cependant, les états de vapeur sont proches de la limite de phase, les caractéristiques physiques de la vapeur saturée peuvent être utilisées à des fins de calcul lors de la conception d'un système à vapeur.

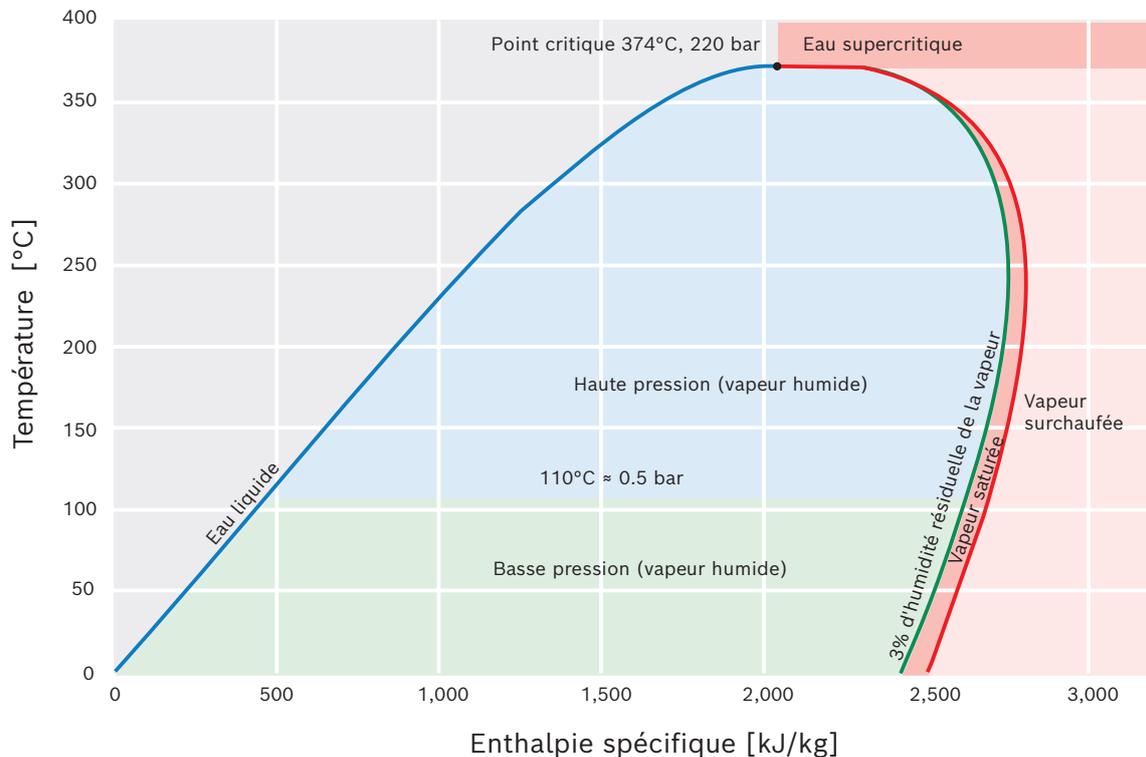


Fig. 35 Diagramme montrant les états de l'eau ou de la vapeur dans le graphe température-enthalpie (diagramme T-h) avec les désignations techniques des surfaces

1.1.2 Vapeur humide

La vapeur humide est un mélange de la phase liquide et gazeuse de l'eau. La vapeur avec une fraction de masse très faible de l'eau jusqu'à environ 3% est également appelé dans les milieux techniques comme vapeur saturée. C'est l'état de vapeur le plus courant qui est utilisé dans les systèmes industriels pour chauffer les produits.

Lorsque la vapeur s'écoule de la chaudière à vapeur, elle transporte de minuscules gouttelettes d'eau, ce qui signifie que la vapeur a une teneur résiduelle en humidité, c'est-à-dire une fraction liquide (1 - 3% de la masse totale). Cette teneur en humidité résiduelle peut être réduite à environ 0,5% de la



quantité de vapeur à la sortie de la chaudière, en installant des séchoirs à vapeur par exemple.

Lorsque la teneur en humidité résiduelle est de 3%, cela est encore appelé dans les milieux techniques comme la vapeur saturée plutôt que la vapeur humide.

La teneur en humidité résiduelle est la fraction de masse de l'eau en fonction de la masse totale du mélange eau/vapeur. En plus de la teneur en humidité résiduelle, l'expression fraction de vapeur x est également utilisée pour désigner la proportion de vapeur dans le mélange eau/vapeur.

Ceci est exprimé dans la formule suivante :

fraction de vapeur = 100% – teneur en humidité résiduelle

Exemple à la limite de la vapeur saturée technique :

100% – 3% de teneur en humidité résiduelle - 97% fraction de vapeur



→ Fig. 35, page 104

En raison des pertes de chaleur dans l'environnement qui se produisent dans tous les tuyaux de vapeur, une partie de la vapeur se condense une fois de plus ce qui signifie que dans ce cas, la vapeur trop humide avec une petite fraction d'eau existe toujours dans la tuyauterie. Cette fraction d'eau doit être retirée de la vapeur à intervalles appropriés par des soupapes de commande et des sections verticales de tuyauterie (p. ex. avec des drains de condensat).

La vapeur humide avec une fraction de masse de vapeur très faible se produit par exemple pendant la réévaporation en aval des drains de condensat de type flotteur. Dans ce cas, il est particulièrement important de noter que le volume augmente considérablement pendant la réévaporation. Cela doit être pris en compte lors du dimensionnement des tuyaux de condensat.

→ Technologie – Chapitre 5.4 : Conduites de condensat, page 222

1.1.3 Vapeur surchauffée

Si la vapeur saturée est chauffée encore plus, la température de la vapeur augmente avec la même pression. C'est ce qu'on appelle alors la vapeur chaude ou la vapeur surchauffée. La vapeur surchauffée peut être générée dans les chaudières à tube de fumée à l'aide du module de surchauffage supplémentaire. Des températures ≤ 100 K au-dessus de la température de la vapeur saturée dans ce cas.

La vapeur surchauffée est utilisée pour conduire des turbines à gaz ou distribuer de la vapeur sur de très grandes distances, car la condensation ne se produit toujours pas malgré la perte de chaleur.

Toutefois, il convient de noter que le transfert de chaleur de la vapeur surchauffée jusqu'à l'apparition de la condensation est plus faible. C'est pourquoi la vapeur surchauffée est un peu moins adaptée aux échangeurs de chaleur que la vapeur saturée.

1.1.4 Vapeur à haute ou à basse pression

La vapeur avec une pression de $p \leq 0,5$ bar (1,5 bara, 110 °C) est appelée vapeur à basse pression. La vapeur avec une pression de $p > 0,5$ bar est appelée vapeur à haute pression. Cette différenciation existe exclusivement en raison de la réglementation relative à l'installation et à l'exploitation des systèmes de chaudière à vapeur, car des conditions spécifiques d'exploitation, d'installation et de surveillance s'appliquent à la vapeur à haute pression. Comme la densité de la vapeur à basse pression est très faible et que les tuyaux, les vannes et les appareils doivent être de taille très généreusement dimensionnés pour le permettre, il n'est normalement utilisé que pour les petites vapeurs (jusqu'à environ 3 t/h) et les courtes distances.

→ Technologie – Chapitre 5.5 : Tuyau de purge de soupape de sécurité, page 224

1.1.5 Vapeur culinaire

La vapeur culinaire est la vapeur saturée technique avec l'exigence supplémentaire qu'aucun agent de dosage volatil à la vapeur n'est utilisé pour l'alcalisation et la liaison de l'oxygène résiduel.

Il est utilisé, comme son nom l'indique, pour la transformation des aliments pour les personnes et les animaux. Cette vapeur peut entrer en contact direct avec les aliments (p. ex. lors de l'épluchage des pommes de terre).

1.1.6 Vapeur pure

La vapeur pure, aussi appelée vapeur ultra-pure, est produite dans des évaporateurs spéciaux en acier inoxydable qui sont chauffés à l'aide de la vapeur saturée normale.

Ceci est utilisé dans des situations en particulier où des exigences strictes existent en ce qui concerne la stérilité de la vapeur (par exemple dans les hôpitaux pour la stérilisation des instruments chirurgicaux ou dans l'industrie pharmaceutique).

1.1.7 Vapeur d'expansion

La vapeur d'expansion se produit à de nombreux endroits dans un système de chaudière à vapeur et doit donc être prise en considération.

Cela se produit au niveau du réservoir d'expansion des purges ou bien dans les réservoirs de condensat, entre autres endroits, où la vapeur d'expansion cause des pertes de chaleur. Les pertes de vapeur d'expansion peuvent être réduites en prenant les mesures appropriées de récupération de la chaleur.

La ré-évaporation de l'eau bouillante est consciemment utilisée dans les accumulateurs de vapeur pour fournir de très grandes quantités de vapeur.

→ Efficacité – Chapitre 3.1 : Purge de surface et purge de fond, page 277

→ Technologie – Chapitre 4.3.4 : Stockage de vapeur, page 194

**Expansion de vapeur / réévaporation :**

Si la pression de l'eau chaude dans l'état liquide est réduite en dessous de la pression bouillante, une partie de l'eau s'évapore et se sépare dans la phase liquide et vapeur. Au cours de ce processus, la température de l'eau et de la vapeur se réduit à la température bouillante de la pression appliquée.

Cet effet physique est souvent appelé réévaporation.

**Exemple :**

L'eau à une température de $T = 195 \text{ °C}$ est étendue à une pression de $p=4 \text{ bar}$. L'enthalpie (énergie) du système reste la même pendant l'expansion. Au même temps, la masse du système reste également constante, ce qui signifie qu'un équilibre énergétique sous la forme d'un équilibre d'enthalpie peut être établi.

L'énergie du système **avant** expansion = énergie du système **après** expansion



$$h = (1 - x) \cdot h' + x \cdot h''$$



F17. Équation pour l'équilibre énergétique pendant l'expansion

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



F18. Équation pour calculer la fraction de masse de la vapeur d'expansion

- x Fraction de masse de la vapeur d'expansion [%]
- h Enthalpie [kJ/kg]
- h' Enthalpie de l'eau bouillante [kJ/kg]
- h'' Enthalpie de la vapeur saturée [kJ/kg]
- r Enthalpie d'évaporation [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2,780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6.86 \%$$



B8. Exemple de calcul pour déterminer la fraction de masse de la vapeur d'expansion

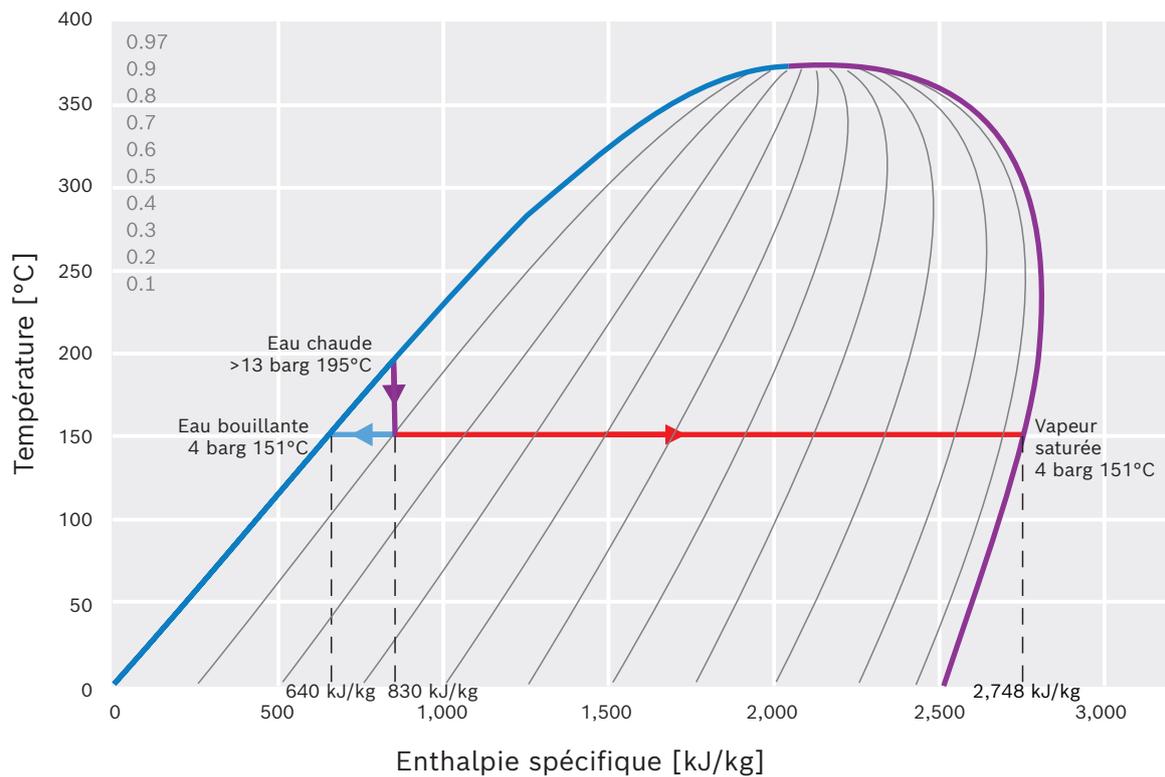


Fig. 36 Ré-évaporation indiquée dans le graphe température-enthalpie (diagramme de T-h)



1.2 Pression et température

Avec les chaudières à vapeur saturées, il existe une corrélation physique entre la température et la pression. Ceci est représenté graphiquement en utilisant ce qu'on appelle une courbe d'ébullition.

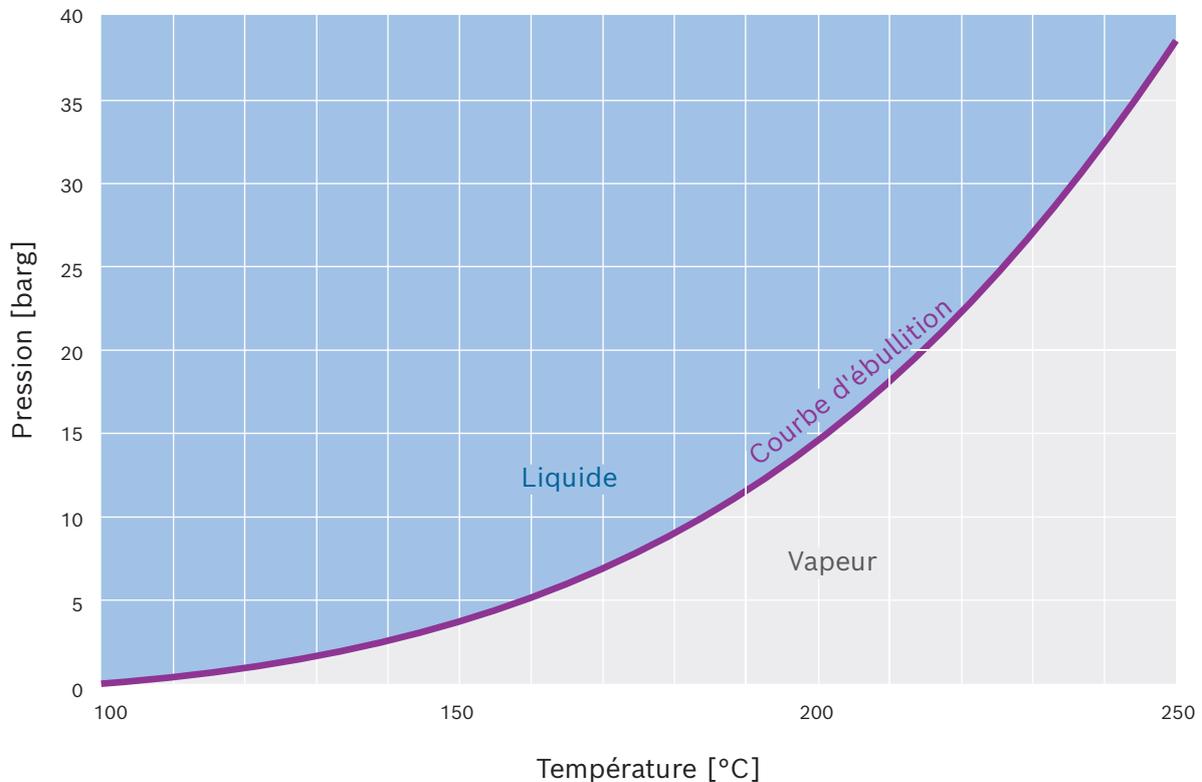


Fig. 37 Courbe d'ébullition de l'eau pure dans le graphe de température pression (< 40 bar)

Cela signifie que la température dans un système de vapeur saturée peut toujours être établie en mesurant la pression. Cette corrélation est très importante pour le chauffage car la température reste constante jusqu'à ce que la vapeur soit entièrement condensée (p. ex. dans un échangeur de chaleur). Ce n'est que lorsqu'il n'y a pas de vapeur du tout, que l'eau, qui est alors exclusivement présente, est refroidie. Cette corrélation est également utilisée pour contrôler les systèmes de vapeur. Comme la pression peut être mesurée très rapidement et avec précision, cela signifie que la température peut être déterminée avec précision aussi.

1.3 Enthalpie

L'enthalpie spécifique h [kJ/kg] est la quantité totale de chaleur contenue dans la vapeur.

L'enthalpie est divisée en la partie sensible qui produit un changement de température et la partie latente (« cachée ») dans laquelle la proportion de vapeur varie entre 0 – 100% à une température constante.

Pendant le chauffage, l'eau se chauffe jusqu'à ce que la courbe bouillante soit atteinte. Une fois la courbe bouillante atteinte, la proportion vaporeuse augmente à mesure que l'on fournit de l'énergie jusqu'à ce que l'eau se soit complètement évaporée.

L'enthalpie spécifique de l'évaporation de l'eau r en [kJ/kg] est la quantité de chaleur qui doit être absorbée par 1kg d'eau afin qu'elle change de l'état liquide au vaporeux. Comme la chaleur est fournie dans la chaudière à une pression constante alors la température n'augmente donc pas, cette quantité de chaleur est également appelée chaleur latente ou « cachée ».

Inversement, le même processus se produit lorsque la chaleur est transférée. La vapeur se condense lorsque la chaleur latente est transférée vers le produit jusqu'à ce qu'il ne reste que du liquide (eau). Ce n'est qu'à ce stade que le condensat est refroidi. Ce processus de refroidissement qui se produit dans le condensat est souvent décrit comme une surfusion en dessous de la température qui correspond à la pression de vapeur sur la courbe d'ébullition.

Chaleur sensible

L'ajout ou le retrait de chaleur entraîne un changement de température, par exemple le chauffage de l'eau ou la surchauffe de la vapeur.

Chaleur latente

L'ajout ou le retrait de chaleur n'a aucun effet sur la température. La chaleur est cachée dans la transition de phase, par exemple de l'eau à la vapeur.



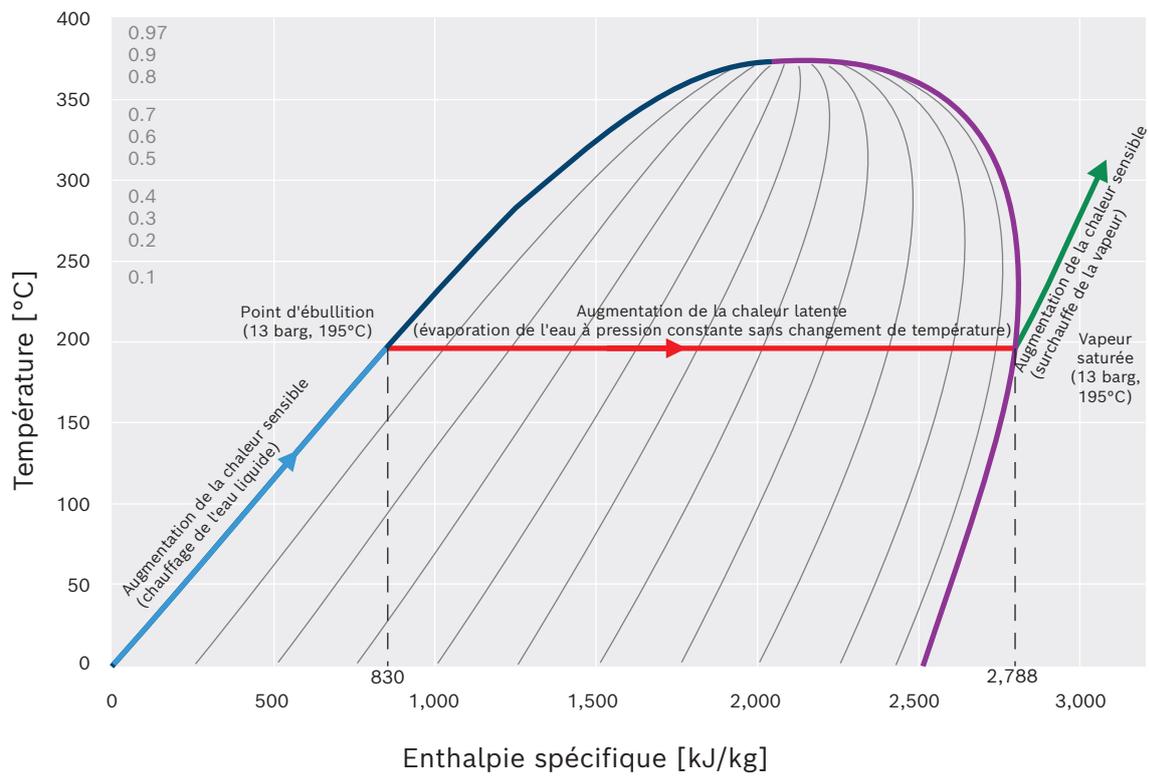


Fig. 38 Concept de chaleur sensible et latente dans le graphe température-enthalpie (Diagramme T-h)

- Liquide saturé
- Vapeur saturée
- Pression de l'eau
- Vapeur humide
- Vapeur surchauffée

1.4 Avantages et inconvénients des systèmes à vapeur

1.4.1 Avantages et inconvénients des systèmes de vapeur par rapport aux systèmes de l'eau chaude

Avantages

- Débit de masse plus faible pour la même quantité de chaleur transférée (par facteur 10 - 50)
- Aucune pompe circulante n'est requise
- Sections transversales de tuyaux plus petites
- Possibilité d'un chauffage uniforme très rapide chez les consommateurs de chaleur
- Le contrôle rapide et précis de la température possible en ajustant la pression de vapeur
- De grandes quantités d'énergie peuvent être libérées à une température constante
- Coefficient de transfert de chaleur très élevé pendant la condensation. Cela conduit à des surfaces plus petites d'échangeur de chaleur et à des coûts de système réduits pour la production de chaleur du procédé
- Convenable au chauffage des produits directement (p. ex. nourriture, autoclaves)
- Le système peut facilement être étendu de façon modulaire
- Réponse non critique en cas de fuite dans les joints ou les vannes

Inconvénients

- Personnel qualifié requis pour l'opération¹⁾
- Traitement continu de l'eau requis

1) Les exigences pour les systèmes de chauffage ≤ 110 °C sont moins strictes.

1.4.2 Avantages et inconvénients des systèmes à vapeur par rapport aux systèmes à huile thermique

Avantages

- Débit massique plus faible pour la même quantité de chaleur transférée (par facteur 20 - 80)
- Aucune pompe circulante n'est requise
- Caractéristiques de transfert thermique de la vapeur nettement meilleures
- Les huiles de transfert de chaleur des systèmes d'huile thermique sont nocives pour l'environnement et donc :
 - L'utilisation des échangeurs de chaleur de sécurité est nécessaire
 - Bacs de rétention équipés de systèmes de détection des fuites sont nécessaires pour tous les joints
 - Les joints d'arbre spéciaux sont exigés aux pompes et aux vannes
- Les huiles de transfert de chaleur présentent un risque d'incendie
- Réduction des coûts d'exploitation de la chaleur du procédé, particulièrement parce qu'une efficacité élevée et un degré d'utilisation peuvent être atteints

Inconvénients

- Non adapté au refroidissement
- Températures de chauffage ≤ 230 °C (systèmes à vapeur saturée) ou ≤ 300 °C (systèmes à vapeur surchauffée)





BOSCH



2 Chaudière

Deux types avec des conceptions différentes sont disponibles pour la génération de vapeur :

Chaudières à tubes d'eau

Dans les chaudières à tubes d'eau, l'eau s'écoule à travers les tuyaux qui sont chauffés à l'extérieur. Ce type de chaudière est principalement utilisé avec des débits de vapeur très grandes > 100 t/h et des vapeurs à grande pression > 32 bar. Les solides peuvent également être brûlés dans les chaudières à tubes d'eau car la chambre de combustion peut avoir n'importe quelle forme en arrangeant les parois des tubes à la manière désirée.

Chaudière à tubes de fumée

Avec les chaudières à tubes de fumée, la fumée ou les gaz d'échappement utilisés pour le chauffage s'écoulent à travers les tuyaux et libèrent leur énergie vers l'espace aquatique environnant. La combustion prend lieu dans un tube de flammes situé dans la chambre d'eau. Les fumées sont ensuite refroidies dans les passages de tubes.

→ Rapport technique FB013 : Comparaison entre les chaudières à tubes de fumée et à tube d'eau

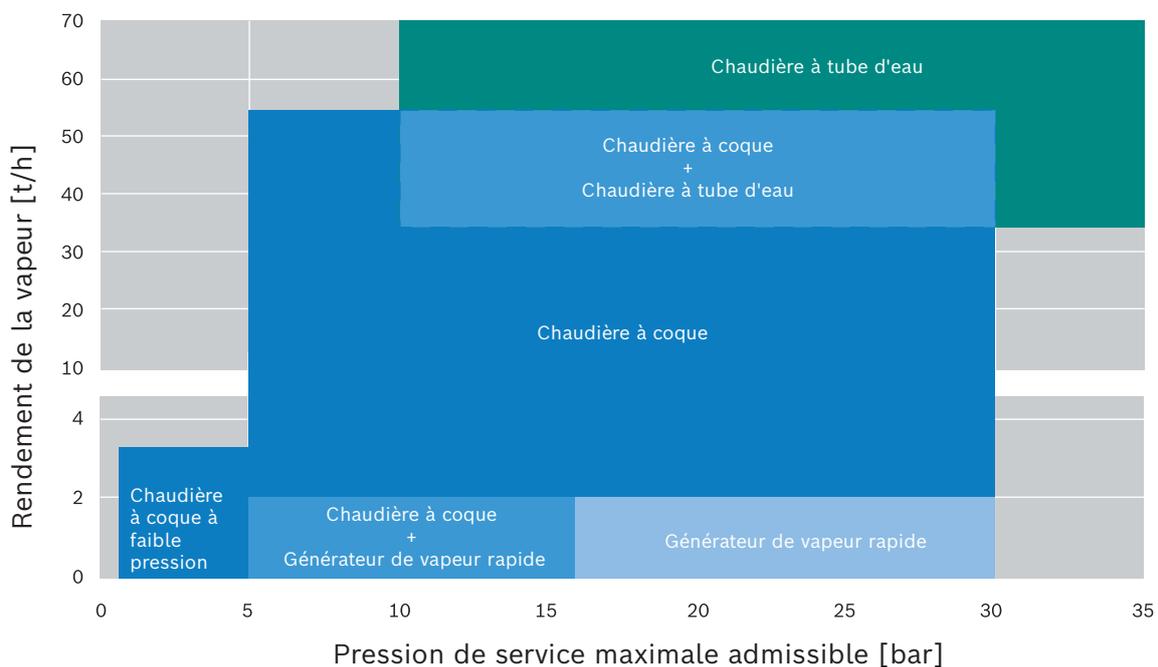


Fig. 39 Zones standard d'application de la chaudière à tubes de fumée, générateur de vapeur rapide et types de chaudières à tubes d'eau

2.1 Types

En raison des exigences suivantes pour les chaudières à vapeur, divers types ont vu le jour :

- Installation
- Opération
- Pression de vapeur et débit de vapeur
- Systèmes de combustion à faibles émissions
- Haute efficacité

2.1.1 Chaudière à 3 parcours

La chaudière à 3 parcours se compose de trois conduites de fumée horizontaux intégrées dans un grand récipient sous pression cylindrique fermé à chaque extrémité par deux bases de niveau. Tous les conduites de fumées sont situés dans l'espace aquatique, qui occupe environ 75% de la surface. L'espace de la vapeur est situé au-dessus de cela. Ces chaudières sont également appelées chaudières à tubes de fumée et contiennent un grand volume d'eau.

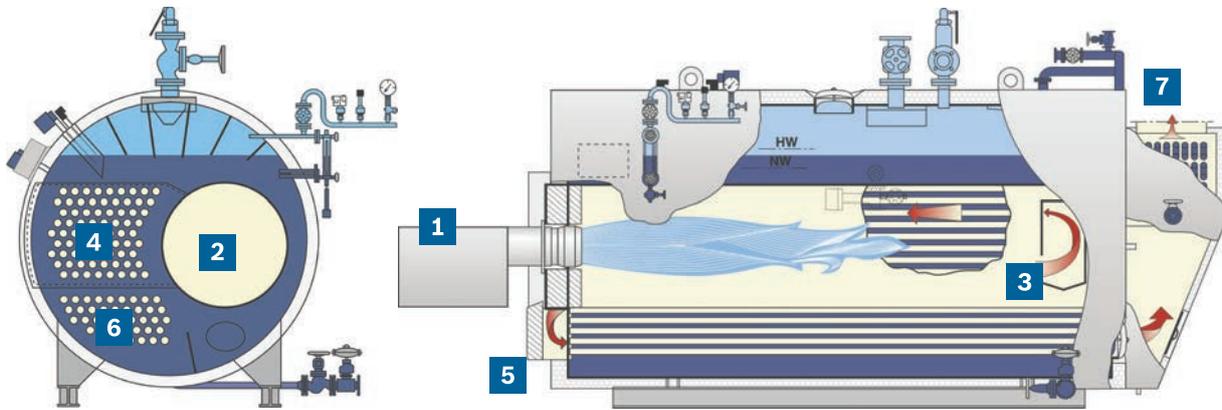


Fig. 40 Chaudière à 3 parcours

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1 Brûleur | 5 Chambre d'inversion avant |
| 2 Foyer (parcours 1) | 6 Tube de fumée (parcours 3) |
| 3 Chambre interne d'inversion | 7 Raccordement des fumées pour l'économiseur |
| 4 Tube de fumée (parcours 2) | |

La combustion a lieu dans le parcours 1, le foyer. Environ la moitié de la chaleur est transférée ici, principalement au moyen d'un rayonnement thermique vers les parois du foyer. La combustion est terminée à l'extrémité du tube de flamme et les fumées sont détournées dans la chambre d'inversion interne de refroidissement par l'eau dans le parcours 2.

Environ 35% de la puissance thermique de sortie est ensuite transférée dans le panneau de canalisation du parcours 2. Les fumées entrent alors dans la chambre d'inversion sur le devant à l'extérieur à une température de ~400 °C où elles sont redirigées vers le parcours 3.

Après le parcours 3, la température des fumées est normalement toujours de 200 à 280 °C, dépendant de la température du milieu dans la chambre à eau de la chaudière.

Ce potentiel thermique peut ensuite être davantage utilisé dans un économiseur intégré afin qu'une température de 90 à 140 °C soit atteinte à la sortie des fumées.

Cela permet aux chaudières à foyer unique d'atteindre un débit de vapeur de 28 000 kg/h.



Des chaudières à double foyer peuvent être utilisées pour obtenir des rendements plus élevés. Ces chaudières comportent deux tubes de flamme avec un deuxième et un troisième passage de tube de fumées séparées disposées en parallèle dans l'espace d'eau. Cela permet de construire des chaudières avec des débits de vapeur allant jusqu'à 55 000 kg/h. Le fonctionnement sans restriction à foyer unique augmente également la fiabilité et la plage de contrôle de la chaudière.



Fig. 41 Chaudière à triple parcours avec double foyer

2.1.2 Chaudière à flamme inversée

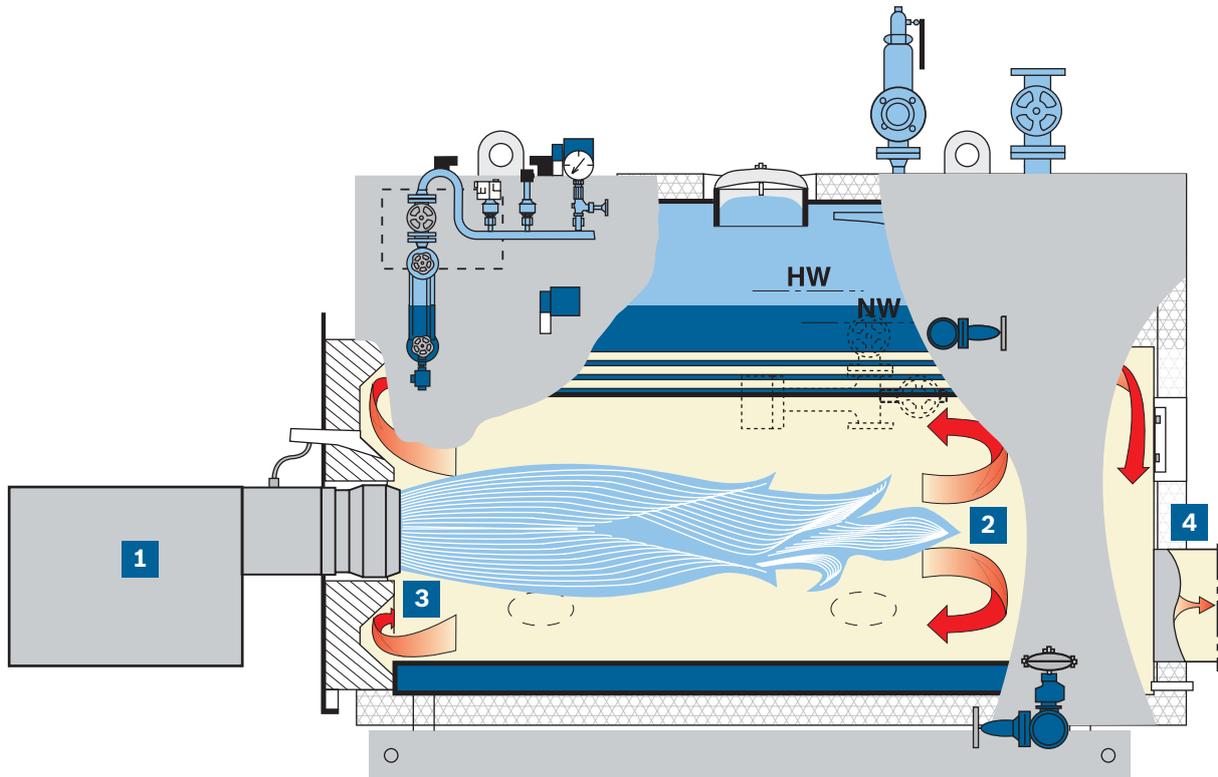


Fig. 42 Chaudière à flamme inversée

- 1** Brûleur
- 2** Chambre interne d'inversion
- 3** Chambre d'inversion avant
- 4** Raccordement des fumées pour économiseur

La chaudière à flamme inversée a été développée comme chaudière à vapeur pour de petits débits de 175 à 3 200 kg / h. Dans cette chaudière, le foyer est disposé de manière centrée et le sens d'écoulement est inversé à l'extrémité du foyer de sorte que la fumée à l'intérieur du foyer refoult vers l'avant. C'est pourquoi on l'appelle la chaudière à flamme inversée. Dans la chambre d'inversion avant, les fumées sont ensuite détournés dans le réseau de tubes autour du foyer. Ce type se caractérise par une conception très compacte. Le fioul ou le gaz peuvent être utilisés comme combustible.



Fig. 43 Chaudière à flamme inversée

2.1.3 Chaudière avec utilisation de chaleur résiduelle

Une chaudière à 4 parcours ou une chaudière à récupération de chaleur pure est un type spécial de chaudière qui utilise la chaleur fatale pour produire de la vapeur. Avec la chaudière à 4 parcours, une partie du troisième parcours de tube de fumées est utilisée comme un passage séparé pour le routage traversant des fumées chaudes et fournit jusqu'à 15% de l'énergie fournie. Une chaudière à récupération de chaleur pure n'a pas de brûleur. Il tire toute son énergie des fumées chaudes (par exemple des modules de cogénération ou des turbines à gaz).

→ Efficacité – Chapitre 5.1 : Chaleur et électricité combinées, page 303

→ Produits – Chapitre 3 : Chaudières à récupération de chaleur et récupération de la chaleur perdue, page 333

2.1.4 Générateur rapide de vapeur

Grâce à sa conception, le générateur de vapeur rapide appartient à la famille des chaudières à tubes d'eau dont le système de pression est constitué d'une ou plusieurs spires. L'eau traverse la bobine chauffante et elle est chauffée de l'extérieur par les fumées. Les générateurs de vapeur rapides fonctionnent selon le principe de l'écoulement forcé à passage unique, ce qui signifie que l'eau s'évapore complètement en un seul cycle. Seule une petite quantité d'énergie est stockée dans la chambre à eau. Ces chaudières peuvent donc atteindre leur puissance nominale en quelques minutes après le démarrage à froid, c'est pourquoi elles sont appelées générateurs de vapeur rapides. Ils sont chauffés par des brûleurs à jet de gaz ou au fioul et la régulation de puissance doit toujours être adaptée à la quantité d'eau traversante.

	Chaudière à tubes de fumées	Générateur rapide de vapeur
Teneur en eau	Grande teneur en eau	Petite teneur en eau
Durée de chauffe	Plus lent	Démarrage à froid dans quelques minutes
Réponse aux fluctuations de charge	Amortissements des fluctuations de charge des consommateurs Surcharge à court terme élevée possible lors de l'utilisation d'accumulateurs de vapeur	Fluctuations de pression élevées même en cas de légères variations de charge chez les consommateurs
Humidité de la vapeur	Vapeur sèche	Sécheur de vapeur requis
Approbation de l'installation et de la surveillance¹⁾	Normalement soumis à une approbation et à une surveillance obligatoires	Les conditions d'installation et de surveillance ont été partiellement assouplies dans la très petite plage de débit de sortie
Coûts d'acquisition	légèrement plus élevé	Plus bas
Personnel d'exploitation¹⁾	Agent de chaudière qualifié requis ¹⁾	Personnel d'exploitation formé requis ¹⁾
Débit de vapeur maximal	≤ 55 000 kg/h par chaudière	≤ 2 000 kg/h par chaudière
Efficacité	94 – 105% donc idéal pour un fonctionnement continu	< 90% ne convient donc que pour la fourniture de vapeur à court terme et à brève échéance
Degré d'utilisation annuel	≤ 95%	Fréquent < 75%
Coûts de service	Plus bas	Plus important
Durée de vie	Robuste, faible usure, donc durable	Faible

Tab. 9 Comparaison entre les générateurs de vapeur rapides avec des chaudières à tubes de fumées

1) Référé à l'Allemagne



2.2 Équipement et contrôle

Les exigences minimales de fonctionnement et d'équipement de sécurité des chaudières à vapeur sont définies dans l'EN 12953-6. Cela comprend les vannes d'arrêt primaires de la tuyauterie, l'équipement de sécurité pour se prémunir contre les dépassements de pression et les pénuries d'eau, l'équipement de chauffage et toutes les vannes et appareils de mesure nécessaires au fonctionnement et au contrôle. Tous ces équipements nécessitent une approbation conformément à la Directive des Équipements Sous pression.

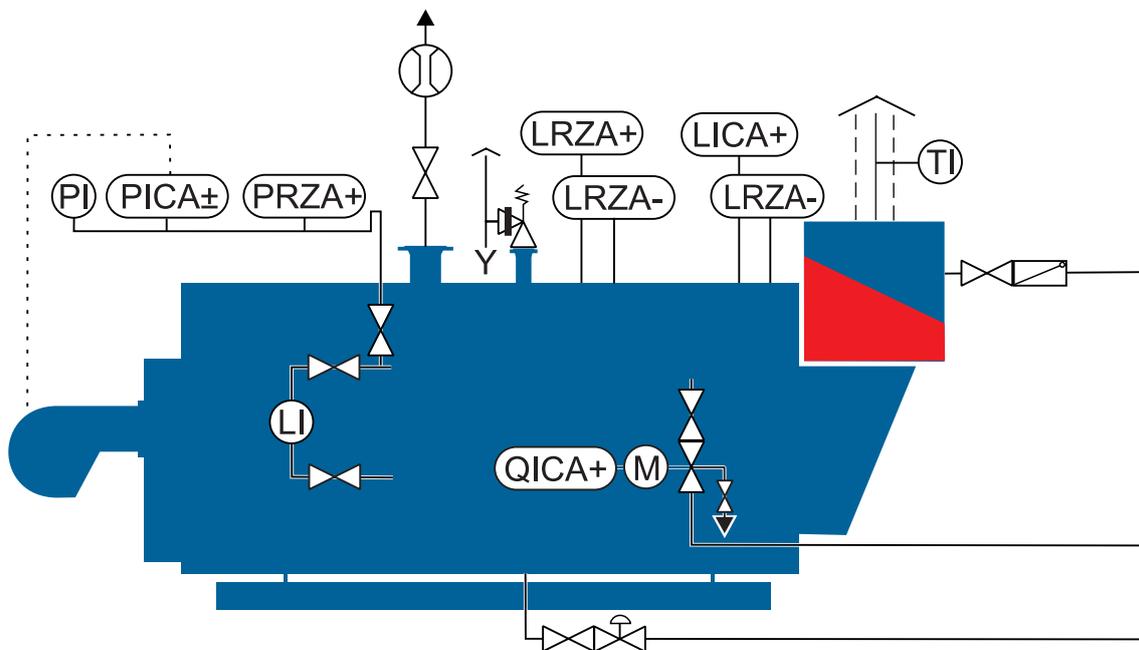


Fig. 44 Équipements d'une chaudière à vapeur

L'équipement d'une chaudière à vapeur comprend généralement les composants suivants :

- Vanne d'arrêt d'extraction de vapeur avec mesure du volume de vapeur
- Soupape de sécurité (protection contre les surpressions)
- Vanne d'arrêt d'eau d'alimentation avec clapet anti-retour
- Rampe de manostat avec une vanne d'arrêt, limiteur de pression (**PRZA +**), transmetteur de pression (**PICA +-**) et manomètre (**PI**)
- Dispositif d'indication de niveau direct avec vannes d'arrêt
- Appareil de mesure de niveau avec tube de protection 1 avec limiteur de niveau d'eau bas 1 (**LRZA -**) et transmetteur de niveau (**LICA +**)
- Appareil de mesure de niveau avec tube de protection 2 avec limiteur de niveau d'eau bas 2 (**LRZA-**) et limiteur de niveau d'eau élevé (**LRZA+**)
- Appareil de mesure de conductivité (**QICA+**)
- Vanne de contrôle de purge de surface avec vanne d'arrêt
- Raccord d'échantillonnage d'eau
- Vanne de purge de fond avec vanne d'arrêt
- Indicateur de la température des fumées (**TI**)

Des composants supplémentaires, tels que des dispositifs de mesure de la quantité de combustible, de vapeur, d'eau d'alimentation et de la température des fumées, peuvent être nécessaires pour optimiser le fonctionnement et pour une éventuelle gestion de l'énergie.

2.2.1 Régulation de débit

Le débit de vapeur des chaudières est généralement contrôlé par la pression existante dans la chaudière. Dans ce cas, la pression de la chaudière est utilisée comme variable de remplacement pour la quantité de vapeur. Si les consommateurs ont besoin de plus de vapeur, la pression dans la chaudière diminue et le régulateur de débit augmente l'apport de chaleur ou la puissance de combustion du brûleur. En règle générale, il convient de noter que le système brûleur/chaudière est un système à réponse lente. Toutes les unités de commande et vannes mélangeuses connectées à ce système sont adaptées à ces caractéristiques. En aucun cas, aucune tentative ne doit être faite pour contrôler la pression sur les consommateurs ou prendre des mesures sur la chaudière car cela pourrait conduire à des oscillations et des charges et défauts inutiles à la chaudière. Avec une consommation d'énergie constante, une commande correctement réglée et un brûleur continu, la puissance de combustion requise au niveau du brûleur pour le taux actuel d'extraction de vapeur est établie et la pression de la chaudière est maintenue constante dans des limites raisonnables avec un écart de $\pm 10\%$ par rapport à la valeur de consigne spécifiée.

→ Rapport technique FB001 : Régulation de débit des chaudières à vapeur

→ Étude et conception – Chapitre 2.1 : Pression de service moyenne, page 27

La pression régnante dans la chaudière peut être lue directement sur le manomètre **(PI)**.

Le transmetteur de pression **(PICA+)** mesure la pression de la chaudière et la convertit en un signal électrique standard (4 – 20mA). Le signal est traité dans la commande de la chaudière et évalué selon le mode de commande. Le brûleur est activé via des points de commutation et des valeurs réglables. Dans ce cas, le rapport air/combustible correct est défini par la commande du brûleur.

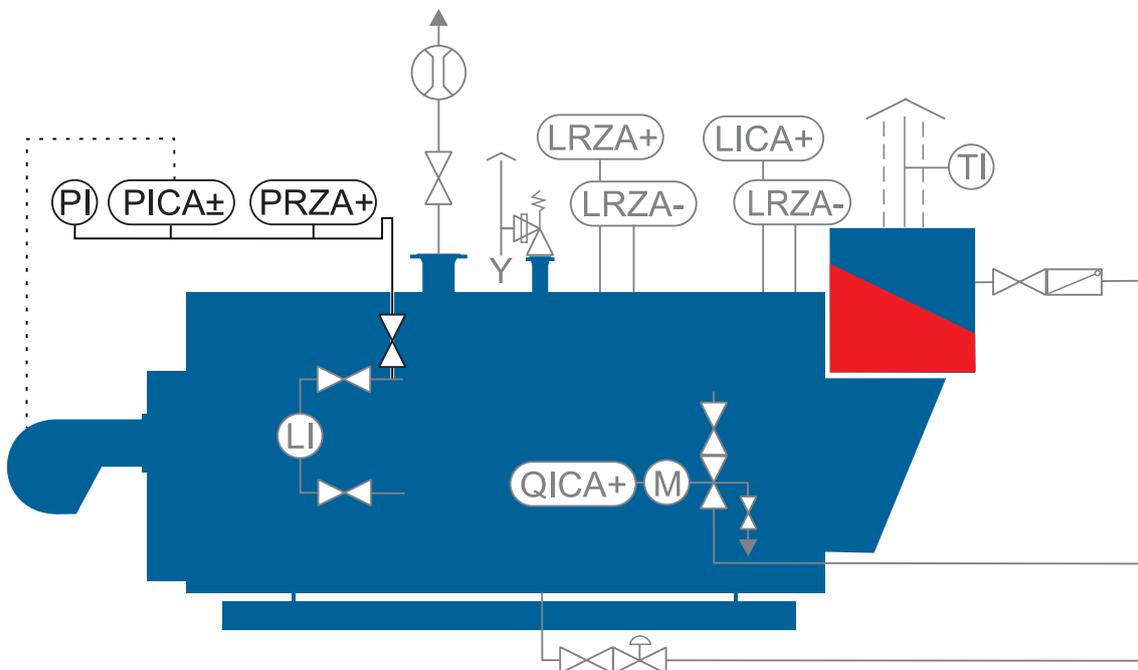


Fig. 45 Régulation du débit par la pression d'une chaudière à vapeur

- PI** Indicateur de pression
- PICA±** Transmetteur de pression
- PRZA+** Limiteur de pression



2.2.2 Régulation de niveau

La régulation de niveau dans la chaudière a pour tâche de maintenir un niveau d'eau constant autant que possible. Selon la conception, l'eau oscille normalement entre les limites maximales de 80 – 120mm. Le niveau d'eau dans la plage inférieure est limité visuellement par la marque de niveau bas (**LW**) car les surfaces chauffantes doivent toujours être sous l'eau afin d'être suffisamment refroidies. La limite supérieure du niveau d'eau est définie par la marque de niveau haut (**HW**). L'espace vapeur ne doit pas être trop petit, sinon l'eau peut être transporté dans le tuyau de vapeur, ce qui nuirait à la qualité de la vapeur. Pour éviter les défauts et les dommages à la chaudière ou aux consommateurs en aval, les options de réglage dans le régulateur de niveau pour le niveau d'eau moyen ont été limitées en usine. La valeur ne peut être définie que dans la plage autorisée.

Le niveau d'eau régnant dans la chaudière est mesuré en continu avec le transmetteur de niveau (**LICA+**) et converti en un signal électrique standard (4 – 20mA). Ce signal est traité par la commande de la chaudière BCO et contrôle la vanne de commande de l'eau d'alimentation ou la pompe d'alimentation, selon l'équipement sélectionné.

Une vanne d'arrêt et un clapet anti-retour sont situés à l'entrée de la chaudière ou de l'économiseur pour empêcher l'eau d'être repoussée dans la conduite d'alimentation. Un indicateur de niveau (**LI**) a été installé sur la chaudière à hauteur du niveau d'eau afin d'afficher directement le niveau de l'eau.

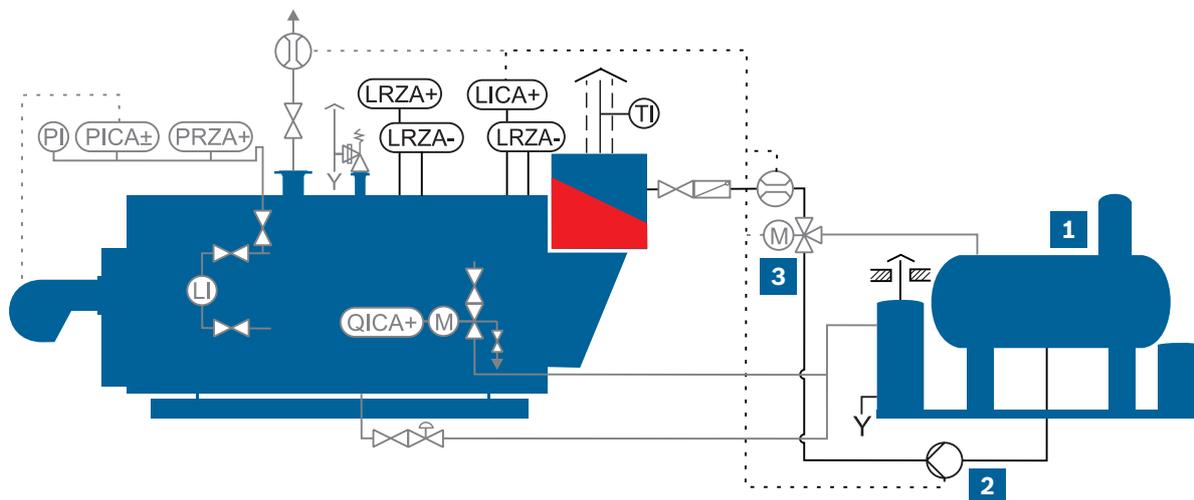


Fig. 46 Contrôle du niveau d'une chaudière à vapeur

LICA+	Transmetteur de niveau	1	Bâche alimentaire
LRZA+	Limiteur du niveau haut	2	Pompe d'alimentation en eau
LRZA-	Limiteur du niveau bas	3	Vanne de contrôle d'eau d'alimentation
TI	Indicateur de la température des fumées		

En plus du contrôle de niveau, le niveau d'eau est également limité via la chaîne de sécurité.

	Chaleur récupérée avec ECO	Exigences des caractéristiques de contrôle	Procédé caractérisé par des changements de charge rapides	Coûts d'investissement
Continu avec vanne de régulation	+++++	+++++	++	Modéré
Jeu de barres avec contrôle des vannes¹⁾	+++++	+++++	++	Bas
Continu avec MO²⁾	++++	+++	++	Bas
Commande à 3 composants avec vanne de régulation	+++++	+++++	+++++	Très important
Commande à 3 composants avec MO à la pompe²⁾	++++	+++	+++++	Important
Tout-ou-rien	Non applicable		+	Très bas

Tab. 10 Avantages et utilisations possibles de divers types de régulation de niveau

1) Ne peut être utilisé qu'avec des systèmes à multi-chaudières.

2) MO = Module onduleur

Commande modulante avec vanne de régulation

Le contrôle de niveau continu avec vanne de contrôle est toujours la variante la plus populaire car il offre les avantages d'un contrôle rapide, fiable et simple.

→ Produits – Chapitre 4.10 : Module de régulation de l'eau d'alimentation RM, page 353

Commutation de jeu de barres avec la vanne de régulation

Lorsque la commutation du jeu de barres est utilisée, plusieurs chaudières à vapeur sont alimentées par une seule pompe d'alimentation. Dans ce cas, le niveau d'eau de chaque chaudière est contrôlé indépendamment via une vanne de régulation d'entrée.

Commande modulante avec le module onduleur

Le contrôle du niveau via le régulateur de vitesse sur la pompe d'alimentation est la variante la plus économique pour les puissances de chaudière ≤ 10 t/h en termes de coûts d'investissement et des coûts d'exploitation.

En outre, il est particulièrement judicieux d'utiliser ce type de contrôle de niveau si la chaudière fonctionne à différentes pressions de service (par exemple, une chute de pression le week-end), car les avantages du contrôle de la vitesse avec adaptation à la courbe de la pompe peuvent être pleinement exploités.

Lors de l'équipement de la chaudière avec un économiseur pour la récupération de chaleur, il faut s'assurer que la plage de charge partielle du brûleur peut également être couverte par la plus petite plage de contrôle de fréquence de la pompe d'alimentation, sinon il n'y a pas de débit à travers l'économiseur en faible charge fonctionnement qui signifie que la récupération de chaleur ne peut pas avoir lieu.



Commande à 3 composants

Lorsque la charge augmente rapidement, un problème se produit car le niveau d'eau semble initialement augmenter en raison du moussage de l'eau de la chaudière et, bien qu'une augmentation de la quantité d'eau d'alimentation soit nécessaire, cela ne se produit pas.

En faisant la comparaison en continu des mesures actuelles des quantités de vapeur et d'eau d'alimentation, la commande à 3 composants peut répondre beaucoup plus efficacement aux changements d'état.

Régulation tout-ou-rien

L'activation de la pompe tout-ou-rien n'est utilisée que dans quelques cas exceptionnels et avec de faibles débits de vapeur jusqu'à ~ 1 t/h.

Comme, par rapport aux autres variantes de régulation, l'avantage en termes de coûts d'investissement est relativement faible et comme beaucoup moins de chaleur est récupérée dans l'économiseur car les pompes sont fréquemment arrêtées, une régulation continue se rentabilise souvent après moins de deux mois.

2.2.3 Qualité d'eau

Selon les différentes méthodes physiques et chimiques de traitement de l'eau, le dosage chimique pour lier la dureté résiduelle et l'oxygène résiduel et l'alcalinisation nécessaire (augmentation de la valeur du pH dans le réservoir d'eau d'alimentation), l'eau d'alimentation contient des sels dissous et d'autres ingrédients.

→ Technologie – Chapitre 4.1 : Traitement de l'eau, page 177

En raison du processus d'évaporation continu lorsque la chaudière est en service, les ingrédients résiduels de l'eau d'alimentation dans l'eau de la chaudière augmentent. L'accumulation d'impuretés dans l'eau de la chaudière est particulièrement mesurable en raison de l'augmentation de la conductivité de l'eau de la chaudière.

Pour éviter les conséquences négatives d'une teneur en sel trop élevée de l'eau de chaudière, décrites ci-dessous, les limites spécifiées ne doivent pas être dépassées.

- Moussage de l'eau de chaudière
- Entraînement de l'eau dans le tuyau de vapeur
- Fluctuations du niveau de l'eau
- Dépôts dans la chaudière
- Corrosion dans la chaudière et de la tuyauterie

→ Rapport technique FB026 : Traitement moderne de l'eau et analyse

Une certaine quantité d'eau est donc évacuée de la chaudière du fait de la purge continue de la surface et du fond.

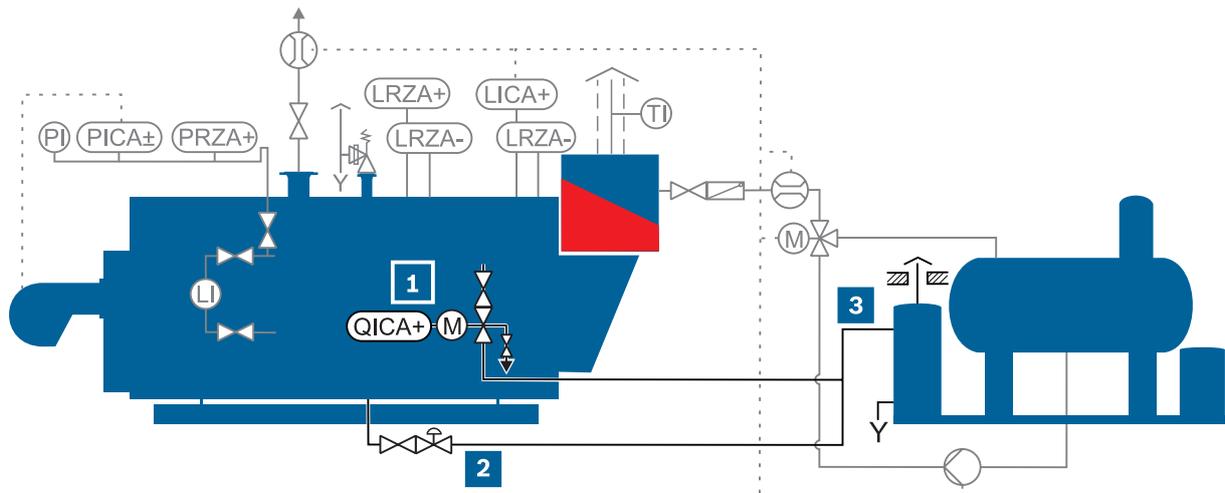


Fig. 47 Contrôle de la qualité de l'eau dans la chaudières par évacuation vers le réservoir d'expansion.

QICA+ Transmetteur de conductivité

1 Vanne de purge de surface

2 Vanne de purge de fond

3 Réservoir d'expansion des purges

Régulation de la conductivité

La conductivité de l'eau de la chaudière est mesurée avec le transmetteur de conductivité (**QICA+**) et est converti en un signal électrique standard (4 – 20mA). Ce signal est traité dans le contrôle de chaudière BCO, la conductivité mesurée indiquée la conductivité mesurée est affichée dans l'armoire de commande et le signal d'actionnement pour ouvrir la vanne de purge de surface motorisée est généré. Pour permettre un contrôle visuel, un voyant avec clapet anti-retour est souvent installé dans la tuyauterie en aval de la vanne de purge de surface.

La qualité de l'eau de la chaudière étant un facteur important pour son bon fonctionnement, elle doit être régulièrement contrôlée et consignée dans le journal de bord de la chaudière.

Des mesures de récupération de chaleur peuvent être prises pour utiliser le contenu énergétique de l'eau bouillante de purge de surface.

→ Efficacité – Chapitre 3.1 : Purge de surface et purge de fond, page 277

La conductivité mesurée dans la chaudière à la température de fonctionnement est légèrement supérieure en raison de la dissociation électrolytique. Le capteur de conductivité effectue une conversion en interne en utilisant la température de référence de 25 °C. Cette conductivité prééglée est affichée sur le contrôle de chaudière.

En plus de la conductivité électrique, la teneur en acide silicique (SiO_2) et la capacité acide 8,2 (valeur p) sont des facteurs importants qui influencent la qualité de l'eau de la chaudière. Si la limite admissible de l'une de ces variables est atteinte en raison d'une densification dans l'eau de chaudière, cette variable est définitive pour la purge de surface. Cependant, comme seule la conductivité de l'eau de chaudière est mesurée, la valeur de référence de la conductivité de l'eau de chaudière doit être réduite jusqu'à ce que toutes les variables limites soient respectées.

→ Outils – Chapitre 5.2 : Purge de fond et purge de surface, page 408



Contrôle de purge de fond

Le contrôle de purge de fond élimine les matières en suspension dans l'eau de la chaudière qui se déposent sur la base de la chaudière. Pour ce faire, la vanne de dégagement rapide de purge de fond est ouverte pendant quelques secondes à intervalles réguliers. La vanne s'ouvre brusquement, ce qui produit une pression négative locale avec un effet d'aspiration qui élimine les dépôts qui se sont accumulés sur la base de la chaudière (par exemple, accumulations de sels, agent de dosage décomposé).

Les temps d'ouverture de la vanne pendant ce processus doivent être très courts et être dans la plage de quelques secondes. Si les temps d'ouverture de la vanne de purge inférieure sont plus longs, cela ne fait qu'augmenter la perte d'eau et d'énergie de la chaudière sans rendre la purge inférieure plus efficace. La purge de fond peut être effectuée manuellement ou automatiquement si la chaudière n'est pas surveillée en continu pendant le fonctionnement.

Une vanne d'arrêt manuelle est installée en amont de la vanne de dégagement rapide de purge de fond. Pour soutenir l'effet d'aspiration et permettre à l'eau de la chaudière qui s'est ré-évaporé d'être évacuée, la tuyauterie menant au réservoir d'expansion de purge directement en aval de la vanne doit avoir 2 diamètres nominaux plus grands. Pour éviter les coups de bélier, la tuyauterie menant au réservoir d'expansion de purge doit, dans la mesure du possible, être installée sans changement de hauteur ou de poches d'eau.

La plupart des chaudières sont aussi drainées via la vanne de purge inférieure.

2.2.4 Sécurité

La sécurité du système est principalement assurée par un fonctionnement correct, une fonctionnalité parfaite et la maintenance des équipements et des unités de contrôle des chaudières à vapeur.

Pour garantir la sécurité à tout moment, même en cas de défaillance des unités de commande normales, des dispositifs de limitation sont prescrits pour toutes les chaudières à vapeur. Avec les boutons d'arrêt d'urgence dans l'armoire de commande et des portes d'échappement, ceux-ci sont connectés en série dans la chaîne de sécurité de l'armoire de commande de la chaudière de sorte que lorsqu'un de ces éléments est déclenché, le fonctionnement de la chaudière est désactivé.

Si l'un des limiteurs est déclenché, le système de combustion et donc le chauffage de la chaudière est coupé et verrouillé. Dans les chaudières à chaleur résiduelle, Cela se fait en changeant les clapets des fumées pour les mettre en dérivation ou en éteignant l'unité de production de chaleur. Ce verrouillage ne peut être réactivé manuellement que sur site à la chaudière. Cela garantit qu'à la suite de conditions de fonctionnement exceptionnelles, le préposé à la chaudière a identifié et éliminé la cause du défaut avant la remise en service de la chaudière.

Limiteur de pression de sécurité

Le limiteur de pression de sécurité (**PRZA+**) coupe à 95% de la pression de service maximale autorisée et arrête le chauffage de la chaudière.

Soupape de sécurité

La soupape de sécurité doit empêcher de manière fiable que la pression maximale admissible dans la chaudière ne soit dépassée en cas de défaillance du limiteur de pression de sécurité.

Dans les chaudières à tubes, cela se fait à l'aide de soupapes de sécurité à action directe, à ressort et à course complète, avec un chapeau à ressort ouvert.

Une fois que la soupape de sécurité s'est déclenchée, la pression dans la chaudière doit tomber à environ 10% en dessous de la pression maximale admissible avant que la soupape de sécurité ne se ferme automatiquement en raison de la tension du ressort. La tuyauterie qui suit doit, dans la mesure du possible, être acheminée directement à l'atmosphère.

→ Technologie – Chapitre 5.5 : Tuyau de purge de soupape de sécurité, page 224

Indicateur de niveau- niveau bas

Les surfaces chauffantes de la chaudière doivent être entourées d'eau en tout temps pour assurer un refroidissement suffisant.

Si le niveau d'eau dans la chaudière baisse au point que les surfaces chauffantes ne sont plus en contact avec l'eau, il y a un risque aigu de surchauffe et de destruction possible de la chaudière.

Il faut être sûr d'éviter l'émergence des surfaces chauffantes, deux indicateurs de manque d'eau conformes aux normes fonctionnant indépendamment l'un de l'autre, sont installés dans la chaudière. Dans les générateurs de vapeur, l'électrode indicatrice de niveau est installée dans un tube de protection pour éviter une erreur de fonctionnement dangereuse dû au moussage de l'eau de la chaudière.

→ Rapport technique FB005 : histoire du développement des indicateurs de niveau d'eau dans les chaudières à vapeur et à eau chaude

Indicateur de niveau- niveau haut

Dans les systèmes de chaudières exploités pendant une période de 72 heures sans contrôle, un indicateur supplémentaire de niveau d'eau élevé est nécessaire pour que, lorsque le niveau d'eau maximale est dépassé dans la chaudière, aucune eau ne puisse être introduite dans les conduites de vapeur en aval.

Limitation de conductivité

La conductivité maximale admissible est également limitée dans les systèmes de chaudière pour une période de fonctionnement de 72 heures sans assistance afin d'éviter un moussage incontrôlé ou une accumulation de dépôts dans la chaudière. Lorsque la limite est dépassée, le système de combustion est également désactivé dans ce cas.

Autres équipements de sécurité

Le système de combustion peut être arrêté par d'autres défauts en plus des dispositifs de limitation directement montés sur la chaudière à vapeur. Les modifications précises pour le combustible concerné et les différents équipements sont décrites dans la norme. EN 12953 part 9.

→ Norme EN 12953-9 « Chaudières à tubes de fumées – Part 9 : Exigences pour les limiteurs sur les chaudières et accessoires »



Arrêt d'urgence

Des boutons-poussoirs d'arrêt d'urgence sont montés dans toutes les voies d'évacuation et dans l'armoire de commande de la chaudière. Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est enfoncé, la chaîne de sécurité de la chaudière se déclenche. Un bouton-poussoir d'arrêt d'urgence supplémentaire à l'extérieur de la chaufferie est recommandé.

Surveillance du système de combustion - surveillance des flammes

Si une flamme n'est pas détectée dans la chambre de combustion lorsque l'alimentation en combustible est en fonctionnement, cela entraîne un arrêt défectueux de la chaudière après quelques secondes. Cela empêche le combustible non brûlé de former un mélange inflammable dans le système de gaz de combustion, ce qui pourrait provoquer un allumage dur lors d'un démarrage ultérieur du brûleur.

Surveillance du système de combustion - alimentation en combustible

L'étanchéité de la vanne d'arrêt de gaz et la pression minimale et maximale de l'alimentation en combustible sont également surveillées pour garantir qu'aucun mélange inflammable ne puisse se former dans la chaudière ou dans le chemin des fumées.

→ Fig. 59, page 142

Surveillance du système de combustion - dispositif de sécurité en cas d'insuffisance d'air

Le fonctionnement et la fonction du ventilateur d'air de combustion sont contrôlés par ce que l'on appelle un dispositif de sécurité contre le manque d'air. Pour ce faire, un indicateur de pression d'air minimale (**PZA**) est installé entre le ventilateur et la tête de la flamme.

Alimentation en vapeur

Le connecteur d'alimentation en vapeur avec vanne d'arrêt est situé à la couronne de la chaudière. La vapeur saturée est alimentée à partir de là dans le réseau de vapeur en aval. Pour limiter les émissions sonores, le connecteur d'alimentation en vapeur doit être dimensionné de manière à ce que la vitesse d'écoulement ne puisse pas dépasser $\geq 40\text{m/s}$. Il faut également considérer que le diamètre du connecteur doit être dimensionné en fonction de la pression de service minimale prévue, car c'est à cette pression que le volume spécifique de vapeur est le plus important.

Un déflecteur est situé sous le connecteur à l'intérieur de la chaudière pour garantir que les petites gouttelettes entraînées dans le flux restent dans la chaudière et que la vapeur sortant de la chaudière est aussi sèche que possible. La teneur en humidité résiduelle peut encore atteindre 3%.

Pour améliorer la qualité de la vapeur, un dévésiculateur en grillage métallique peut également être monté ici. Cela peut réduire la teneur en humidité résiduelle d'environ 0,1%.

→ Technologie – Chapitre 4.3.1 : vapeur séchée, page 192

2.2.5 Équipement de mesure facultatif

Des dispositifs de mesure supplémentaires, par exemple pour la mesure du débit et de la température, fournissent des informations plus approfondies sur le fonctionnement de la chaudière. Ils peuvent être intégrés dans le contrôle de la chaudière afin de répondre à des exigences plus élevées en matière de qualité de régulation. D'autre part, elles constituent un moyen important d'évaluer l'efficacité du fonctionnement de la chaudière. L'acquisition, l'enregistrement et l'évaluation de ces données permettent d'optimiser le fonctionnement de la chaudière après sa mise en service (par exemple, en cas de modification de l'exploitation). En outre, cela peut également répondre aux besoins d'un éventuel système interne de gestion de l'énergie. Les méthodes de mesure les plus courantes sont décrites ci-dessous.

→ Brochure sur les contrôles et la connectivité

Mesure du volume de vapeur

Avec la mesure du volume de vapeur, le débit de vapeur fourni au réseau de vapeur est mesuré. En combinaison avec une mesure de pression ou de température avec de la vapeur saturée ou une mesure de pression et de température avec de la vapeur surchauffée, le volume de vapeur peut être converti en flux de vapeur et en chaleur utile délivrée par la chaudière.

Mesure du débit d'eau d'alimentation

Pendant la mesure du débit d'eau d'alimentation, l'eau d'alimentation fournie à la chaudière est mesurée.

Mesure du débit de combustible

La mesure du débit de combustible est requise pour chaque système de chaudière afin de pouvoir régler la puissance de combustion maximale autorisée lors de la mise en service.

Avec les combustibles liquides, la mesure est toujours effectuée avec affectation directe à une chaudière. Le débit de carburant est mesuré en [l/min] ou [l/h].

Avec les combustibles gazeux, une mesure affectée directement à la chaudière est recommandée en urgence. Pour des raisons de coût, cette mesure est parfois omise et on utilise la mesure du fournisseur d'énergie dans la station de transfert de gaz. La mesure du débit de gaz en [m_b^3/h] doit ensuite être convertie en [m_n^3/h] avec une mesure de la pression et de la température afin d'être évaluée.

Avec les informations sur le pouvoir calorifique net [kWh/kg] ou [kWh/l] pour les combustibles liquides et [kWh/ m_n^3] pour les combustibles gazeux, une conversion en quantité d'énergie fournie à la chaudière peut alors être effectuée et donc utilisée comme base de départ pour un calcul de rendement ou pour déterminer le degré d'utilisation annuel.

Mesure de la température des fumées

La mesure de la température des fumées est un indicateur important du mode de fonctionnement actuel de la chaudière. De nombreuses options d'optimisation et le fonctionnement non économique de la chaudière ou l'encrassement des surfaces de chauffage peuvent être immédiatement identifiés simplement en utilisant cette mesure simple et à faible coût et en enregistrant et évaluant en continu la température des fumées.





 **BOSCH**



HUBAK 1
HUBAK 2



BOS





3 Composants

3.1 Combustion et chauffage

Le but du système de combustion est de transformer complètement le carbone, l'hydrogène et peut-être le soufre dans le combustible en CO_2 , H_2O et SO_2 . Pour que la combustion soit aussi propre que possible, le bon rapport de mélange entre le combustible et l'air de combustion doit être présent au bon moment et au bon endroit dans la chambre de combustion.

La combustion sous pression est presque exclusivement utilisée pour les chaudières à tubes de fumée. Cela signifie que le ventilateur d'air de combustion doit fournir la pression positive nécessaire pour surmonter les 5 – 50 mbar de la résistance causée par la chaudière et, s'il est installé, l'échangeur de chaleur en aval. Il existe donc toujours une légère pression positive dans la chambre de combustion.

→ Information technique TI030 : exigences d'un système de brûleur installé sur site

3.1.1 Combustibles

Le gaz naturel et le fioul restent les combustibles les plus souvent utilisés. En fonction du mode de fonctionnement de la chaudière à vapeur, de la puissance requise ou des exigences en matière de niveau d'émission, chacun de ces combustibles standard offre différents avantages et conviennent à différentes applications.

→ Étude et conception – Chapitre 4.3 : Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel, page 56

La combinaison correcte du combustible, de l'équipement de combustion et de la chambre de combustion est particulièrement décisive pour une combustion aussi propre que possible.

Outre les combustibles standard, différents combustibles gazeux et liquides peuvent également être utilisés dans les chaudières à tubes de fumée.

Selon le combustible, cela peut être facile à mettre en œuvre ou peut nécessiter beaucoup d'efforts. Quoi qu'il en soit, l'utilisation de ces combustibles doit être soigneusement étudiée lors de la phase de projet car, outre un investissement plus élevé, une surveillance et une maintenance plus strictes pendant l'exploitation sont parfois nécessaires.

→ Étude et conception – Chapitre 3.1 : Calcul de consommation, page 36

Exemples de combustibles liquides particuliers :

- Biodiesel
- Graisse animal
- L'huile de colza
- L'huile de soja
- Huile/graisse de palme

Exemples de combustibles gazeux particuliers :

- Biogaz
- Gaz bio-naturel
- Gaz d'épuration
- Gaz issu de la gazéification de la biomasse
- Gaz naturels enrichis en hydrogène

La combustion de ces carburants peut prendre la forme d'une combustion de carburant auxiliaire individuelle, par ex. lors de l'utilisation d'un brûleur à double combustible avec du gaz naturel et un combustible liquide particulier, ou comme combustion proportionnelle, par ex. gaz naturel au biogaz.

3.1.2 Variantes de ventilateur des systèmes de combustion

Brûleur monobloc

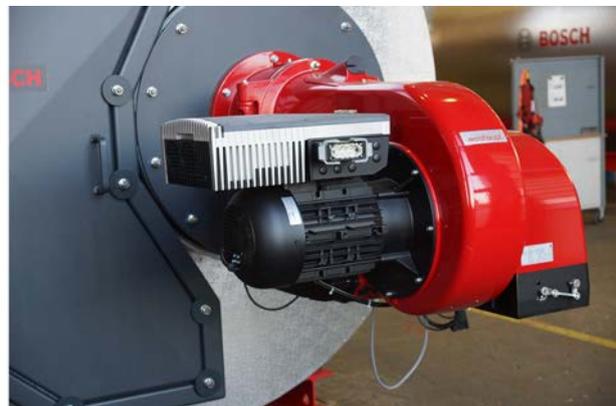
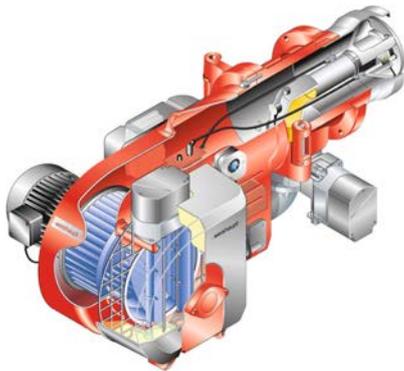


Fig. 48 Représentation en coupe du brûleur monobloc (Weishaupt (Weishaupt))

Les systèmes de combustion dans lesquels le ventilateur d'air de combustion est directement intégré dans le boîtier du brûleur sont appelés brûleurs monoblocs ou à jet de pression. Ce système de brûleur convient au fioul, aux combustibles gazeux et également en tant que système combiné dans lequel un changement simple entre la combustion du gaz et du fioul est possible. L'avantage le plus marquant des brûleurs monoblocs est leur compacité et donc leur conception favorable, mais aussi le fait que tous les systèmes du système de combustion peuvent être montés directement sur la chaudière, ce qui permet de gagner de l'espace. Les brûleurs monoblocs peuvent être utilisés jusqu'à une puissance de combustion d'environ 10 MW. Ils ne sont toutefois pas adaptés à l'utilisation avec un système de préchauffage de l'air.

Brûleur duobloc



Fig. 49 Brûleur duobloc avec ventilateur sur la couronne de la chaudière et conduits d'air de combustion (Saacke)

Le terme de brûleur duobloc est utilisé pour décrire les brûleurs dont le ventilateur d'air de combustion (illustré monté sur la chaudière) et l'unité de combustion sont installés séparément. Le ventilateur d'air de combustion et le brûleur sont reliés par un conduit d'air de combustion. Les brûleurs à double bloc sont utilisés spécialement pour les grandes puissances de combustion et en cas de préchauffage de l'air.

3.1.3 Systèmes de combustion pour les combustibles liquides

Les termes les plus importants et les caractéristiques distinctives des systèmes de combustion et des équipements nécessaires sont décrits ci-dessous.

Atomiseur de pression

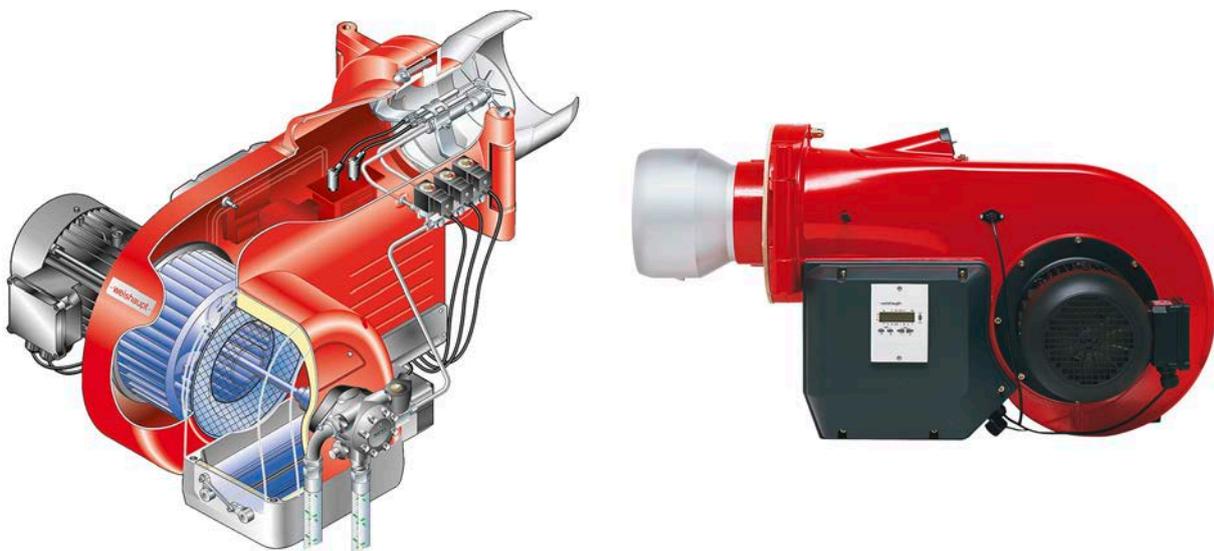


Fig. 50 Image et représentation en coupe d'un brûleur à fioul (Weishaupt)

Avec une atomisation sous pression, le fioul est guidé à travers un gicleur et déchargé sous forme de fine pulvérisation dans la chambre de combustion. Les pressions de précharge dans l'arrivée de fioul doivent être d'environ 6 – 30 bar. Lorsque le jet de fioul sort du gicleur, de fines gouttelettes de fioul avec une grande section de réaction se forment. La condition préalable est que la viscosité du carburant soit comprise entre 5 – 8 mm²/s. Si ce n'est pas le cas à la température ambiante, le fioul doit être préchauffé.

Le brûleur peut être commandé de différentes manières. Avec les brûleurs à modulation progressives, plusieurs gicleurs sont installés dans la tête du brûleur. En fonction de la puissance requise, les gicleurs sont activés ou désactivés en actionnant des électrovannes. Des brûleurs comportant jusqu'à trois gicleurs sont disponibles.

Les brûleurs d'atomisation à retour sont utilisés pour que le débit puisse être contrôlé en continu. Pour ce faire, une vanne située dans le circuit de retour du fioul régule la quantité de combustible admise dans la chambre de combustion. Cette vanne est activée en combinaison avec la position du clapet d'air de combustion.

Atomiseur rotatif

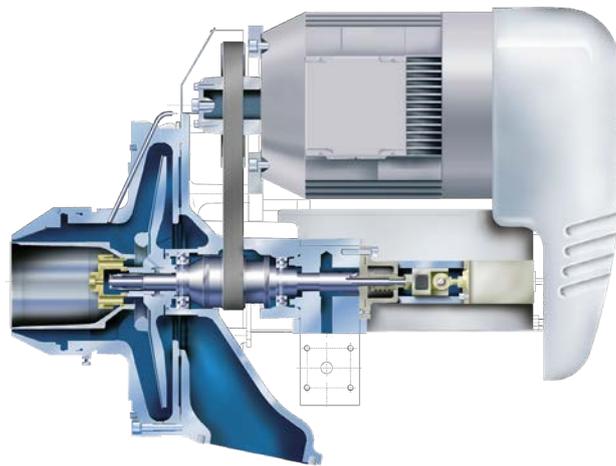


Fig. 51 *Vue en coupe d'un brûleur rotatif d'atomisation (Saacke)*

Le combustible liquide est admis à basse pression dans un vaporisateur à coupelle conique via un arbre creux qui tourne à grande vitesse. Le résidu de fioul qui se forme sur celui-ci migre vers le bord de la coupelle qui s'ouvre vers la chambre de combustion. Sous l'effet de la force centrifuge, le résidu de fioul de la coupelle se détache et forme de fines gouttelettes de fioul qui sont projetées dans la chambre de combustion dans un mouvement de rotation.

Une partie de l'air de combustion est guidée dans la coupelle et le reste s'écoule dans un espace annulaire autour de la coupelle qui présente normalement un mouvement rotatif opposé. L'admission et la répartition de l'air de combustion influent sur l'aspect de la flamme. Il en résulte un mélange intensif de l'huile avec l'air de combustion.

Un avantage important de l'atomiseur rotatif par rapport à celui à pression est qu'il dépend moins des caractéristiques de viscosité du combustible. Cela signifie que des combustibles de qualité variable peuvent également être brûlés de manière fiable. La rotation de la coupelle peut également être contrôlée pour garantir une combustion propre sans formation de CO et de suie.



Alimentation en combustible

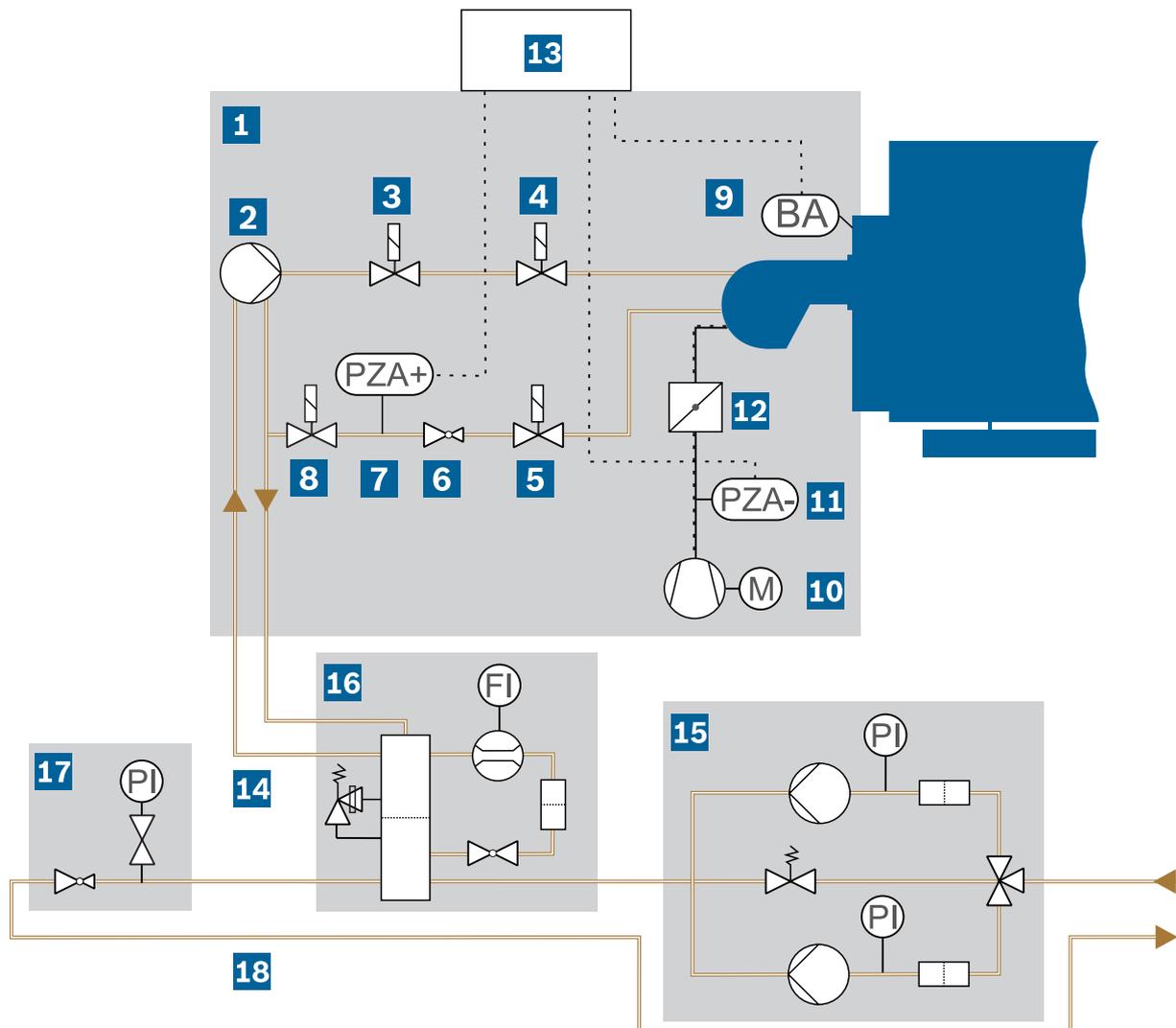


Fig. 52 Exemple d'un système de combustion de fioul léger avec un brûleur à pression

BA	Surveillance de flamme	PZA-	Dispositif de sécurité contre le manque d'air
FI	Indicateur de débit	PZA+	Limiteur de pression maximale
PI	Indicateur de pression (jauge de pression)		

Equipement de combustion

- 1** Brûleur
- 2** Pompe à fioul du brûleur : génère la pression de 12 à 30 bars requise pour l'atomisation
- 3** Vanne magnétique : première coupure de l'alimentation en combustible dans le passage de fioul
- 4** Vanne magnétique : deuxième coupure de l'alimentation en combustible dans le passage de fioul
- 5** Vanne magnétique : première coupure en retour de fioul
- 6** Régulateur de pression de fioul : réglage de la pression du fioul à l'atomiseur de retour du brûleur en fonction de la charge requise
- 7** Limiteur de pression maximale : arrête le système de combustion si la pression du fioul est trop élevée
- 8** Vanne magnétique : deuxième coupure en retour de fioul

- 9** Surveillance de flamme : arrête le système de combustion si la combustion dans la chambre de combustion n'est pas stable après un intervalle de temps de démarrage
- 10** Ventilateur : alimentation en air de combustion
- 11** Dispositif de sécurité contre le manque d'air : arrête le système de combustion si la pression de refoulement du ventilateur est faible
- 12** Clapet d'air : contrôle le taux air/combustible
- 13** Unité de commande de brûleur/chaîne de sécurité
- 14** Conduite de fioul

Alimentation en fioul

- 15** Module d'alimentation du fioul OSM
- 16** Module de circulation du fioul OCM
- 17** Module de régulation de pression du fioulORM
- 18** Conduite annulaire de fioul

Module d'alimentation du fioul OSM

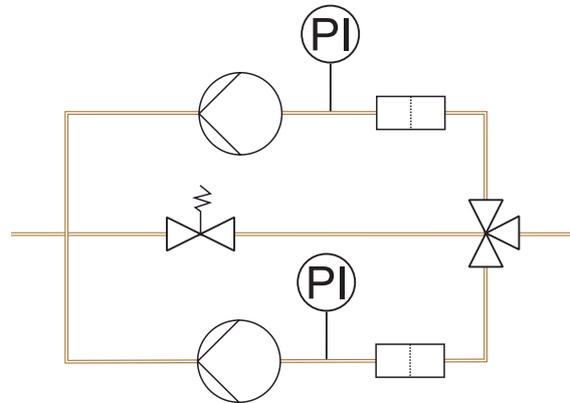


Fig. 53 Module d'alimentation du fioul

PI Jauge de pression

Le module d'alimentation du fioul pompe le fioul de son réservoir de stockage qui est installé à l'extérieur de la chaufferie via la ligne annulaire de fioul vers les modules de circulation de fioul individuels qui alimentent chaque brûleur à fioul individuellement.

Il est prémonté en station simple ou double avec une réserve de 100% pour assurer la sécurité de l'approvisionnement, même en cas de changement de filtre à fioul, avec toutes les vannes dans un bassin de fioul pour faciliter l'installation dans la ligne annulaire.

Module de régulation de pression du fioul ORM

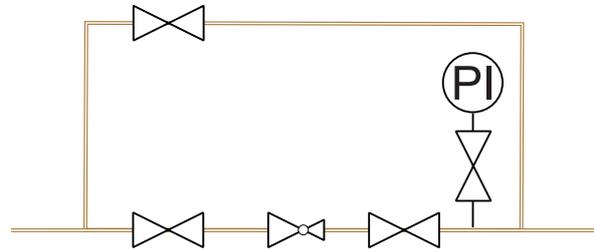
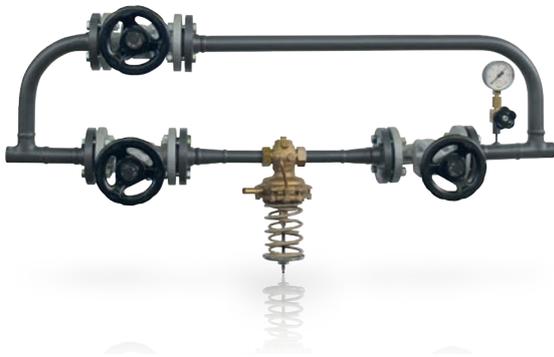


Fig. 54 Module de régulation de pression du fioul

PI Jauge de pression

Le module de régulation de pression du fioul a pour but d'établir une pression de fioul constante dans le passage de la ligne annulaire. Il est composé d'un régulateur de pression de fioul, des vannes d'arrêt en amont et en aval qui permettent de retirer le régulateur de pression de fioul, d'un indicateur de pression (**PI**) et d'une vanne de dérivation. Il est toujours intégré en aval de la dernière conduite qui alimente le brûleur.

Module de circulation de fioul OCM

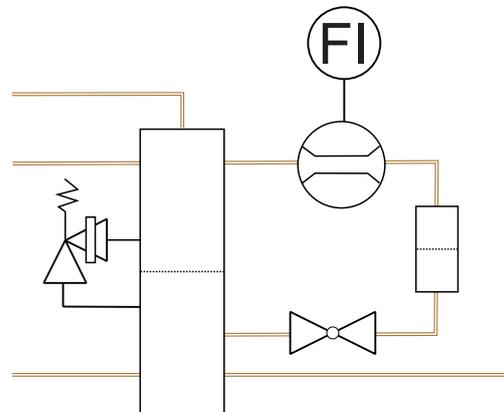


Fig. 55 Module de circulation du fioul

FI Vanne de filtrage

Le module de circulation du fioul prépare les combustibles liquides par filtrage et séparation de l'air et mesure le débit de fioul. Il est conçu pour les brûleurs à jet de fioul légers et lourds équipés d'un système d'atomisation à retour et est installé en tant qu'unité prête à l'emploi, y compris le boîtier de chaque brûleur dans les lignes annulaires avec une pression de précharge $\geq 1,5$ bar.

Le module contient un réservoir de fioul à deux chambres qui fournit du fioul directement au brûleur et reçoit le débit de retour du brûleur. La tuyauterie peut être directement connectée aux tuyaux de fioul du brûleur.

Il comprend une vanne de filtrage (**FI**), volumètre de fioul, vannes d'arrêt, soupape de sécurité contre les surpressions, vanne d'arrêt de ventilation et bouchon de drainage. Dans le cas d'un fonctionnement au fioul lourd, une isolation est également mise en place sous le revêtement métallique.

Module de préchauffage de fioul OPM

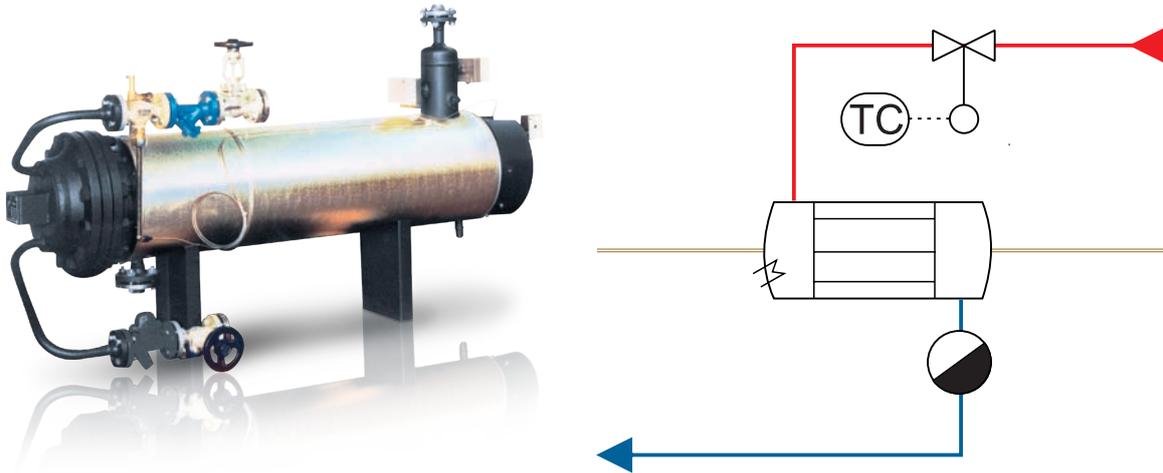


Fig. 56 Module de préchauffage de fioul

TC Vanne de régulation de température

Lorsque l'on utilise des fiouls moyens et lourds comme combustible, il faut les préchauffer car, à la température ambiante, ils ne présentent pas les caractéristiques d'écoulement nécessaires à l'atomisation. Le fioul doit être préchauffé afin de réduire sa viscosité. En fonction de la marque du brûleur et du combustible, un chauffage jusqu'à une température entre 100 – 180 °C est nécessaire pour assurer une combustion fiable.

Le combustible est chauffé par un échangeur de chaleur avec faisceau de tubes extensibles qui peut fonctionner à la vapeur ou avec une combinaison de chauffage à la vapeur et de chauffage électrique. Il faut s'assurer que le traçage électrique est également installé sur toutes les vannes et tuyauterie. Au démarrage, le fioul est d'abord chauffé à l'électricité puis, en fonctionnement continu, il est chauffé à la vapeur jusqu'à une température constante via la vanne de régulation de température. (**TC**). Le module est pré-assemblé, prêt à l'emploi, y compris la régulation du chauffage, l'isolation thermique et toutes les vannes.

3.1.4 Systèmes de combustion pour les combustibles gazeux

Aujourd'hui, le gaz naturel est disponible dans la plupart des régions et coûte normalement moins cher que le fioul. La part de marché des systèmes de combustion au gaz n'a cessé d'augmenter ces dernières années.

→ Étude et conception – Chapitre 4.3 : Critères de sélection entre le fioul et le gaz naturel, page 56

En plus de l'avantage économique, l'utilisation du gaz comme combustible présente d'autres avantages :

- Pas de stockage de combustible
- Moins de salissures sur les surfaces chauffantes
- Moins de risques de pannes
- Moins d'émissions de NO_x et de CO_2
- Utilisation plus simple de la technique de condensation



Fig. 57 Brûleur à conception monobloc (Dreizler)

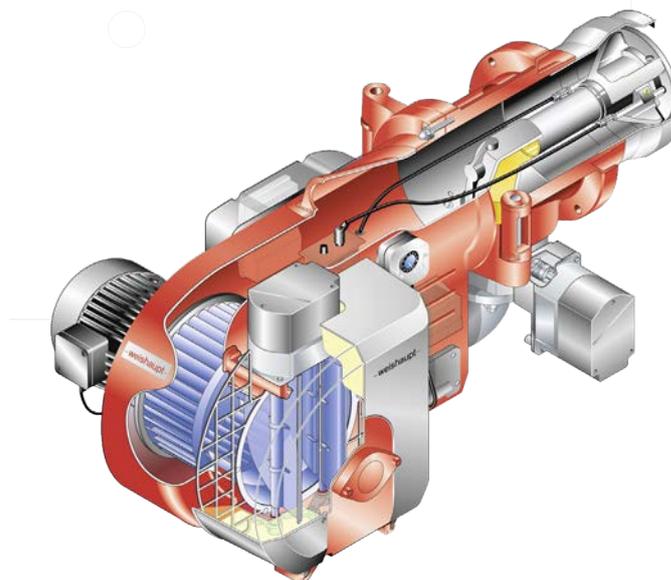


Fig. 58 Représentation en coupe du brûleur à gaz (Weishaupt)

Alimentation en gaz

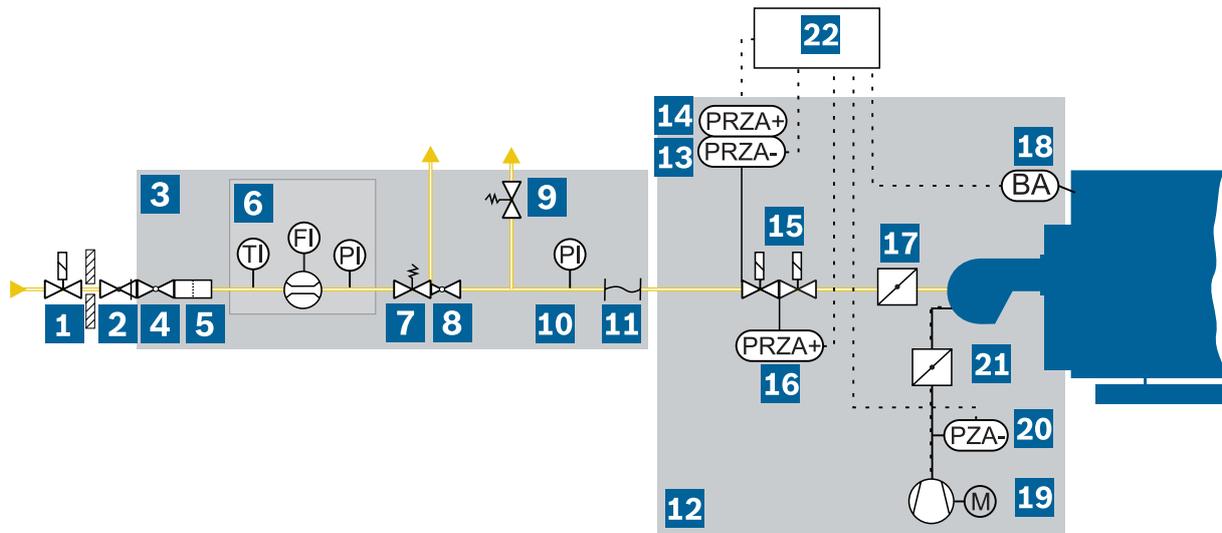


Fig. 59 Exemple montrant une représentation schématique de la combustion de gaz (alimentation haute pression)

Alimentation en gaz

BA	Surveillance de flamme	PRZA-	Limiteur de pression minimale
FI	Indicateur de débit	PRZA+	Limiteur de pression maximale
PI	Indicateur de pression (jauge de pression)	TI	Indicateur de température

PZA- Dispositif de sécurité contre le manque d'air

- 1** Vanne de sécurité : coupe l'arrivée de gaz en cas de panne et d'arrêt d'urgence (localisée en dehors de la chambre d'installation de la chaudière)
- 2** Vanne d'arrêt thermique : coupe l'arrivée de gaz en cas d'incendie dans la chaufferie
- 3** Module de régulation de gaz
- 4** Vanne d'arrêt : pour une coupure manuelle
- 5** Filtre de gaz : protèges les parties sensibles de la contamination
- 6** Module compteur de gaz : compteur de gaz avec la mesure de température et de pression pour la conversion des quantités de fonctionnement m^3/h au standard m^3/h
- 7** Vanne de sécurité : bloque l'alimentation en gaz en cas d'augmentation inacceptable de la pression du gaz
- 8** Régulateur de pression de gaz : assure une pression de gaz uniforme pour la combustion.
- 9** Soupape de sécurité : s'enclenche en cas de surpression inacceptable en aval du régulateur de pression de gaz
- 10** Indicateur de pression (**PI**)
- 11** Joint d'expansion : compense l'expansion de la tuyauterie

Équipement de combustion

- 12** Brûleur
- 13** Limiteur de pression minimale de gaz (**PRZA-**) : arrête le système de combustion si la pression du gaz est trop faible
- 14** Limiteur de pression maximale de gaz (**PRZA+**) : arrête le système de combustion si la pression du gaz est trop élevée
- 15** Double vanne magnétique : double coupure de l'alimentation en gaz lorsque le brûleur n'est pas en service.
- 16** Test d'étanchéité (**PRZA+**) : Test d'étanchéité des vannes magnétiques



- 17** Clapet de régulation du gaz : contrôle le volume de gaz
- 18** Surveillance de flamme (**BA**) : Arrête le système de combustion si la combustion dans la chambre de combustion n'est pas stable après l'intervalle de temps de démarrage
- 19** Ventilateur : Alimentation en air de la combustion
- 20** Dispositif de sécurité contre le manque d'air (**PZA-**) : arrête le système de combustion si la pression de refoulement du ventilateur est faible
- 21** Clapet d'air : contrôle le taux air/combustible
- 22** Unité de commande du brûleur/chaîne de sécurité

Module de régulation du gaz GRM

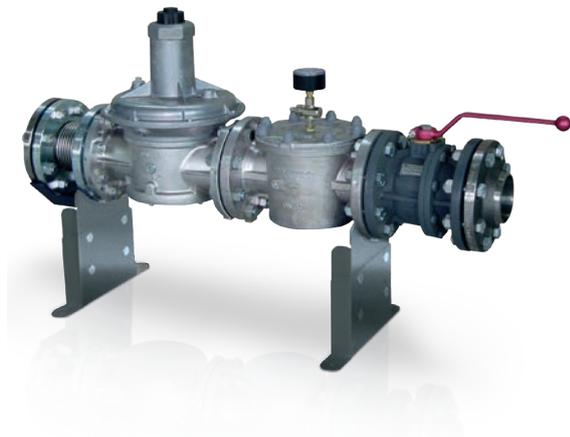


Fig. 60 Module de régulation du gaz

- FI** Indicateur du débit
- PI** Indicateur de pression (jauge de pression)
- TI** Indicateur de température

Le module de régulation du gaz contient tous les équipements de commande et de sécurité nécessaires à une combustion sûre et sans défaut. L'alimentation en gaz et en air, en particulier, est réglée par le biais d'une commande intégrée électronique ou pneumatique, de sorte que le rapport air/combustible correct pour une combustion complète, sûre et efficace dans la chambre de combustion existe à tous les points de charge.

Le régulateur de pression de gaz est installé pour garantir une pression de gaz uniforme en amont du brûleur, quelle que soit la variation des pressions de précharge. Si la pression du gaz était modifiée, le rapport gaz/air au niveau du brûleur changerait et, par conséquent, une flamme instable ou une combustion entraînant une forte accumulation de suie et la formation de CO se produirait. S'il est possible que la pression de gaz amont sécurisée dépasse la pression de service admissible des composants de la ligne de gaz, une vanne de sécurité et une soupape de sécurité doivent être installées en amont de l'unité de commande.

Les pressostats surveillent la pression minimale et maximale admissible du gaz si le régulateur de pression du gaz indique un défaut. Pendant les périodes d'arrêt ou de préventilation, le gaz ne doit pas pénétrer dans la chambre de combustion, sous peine de provoquer un allumage difficile. Les électrovannes de la ligne de gaz doivent donc se fermer de manière fiable. Pour des raisons de sécurité, les électrovannes gaz sont configurées de manière redondante et le programme de séquençement du brûleur vérifie avant chaque démarrage du brûleur si les vannes sont étanches (contrôle d'étanchéité du gaz).

3.1.5 Chauffage via la chaleur résiduelle

La chaleur des fumées des procédés en amont, par ex. la chaleur et l'électricité combinées des modules CHP ou des turbines à gaz, des procédés de fabrication et de production industriels dans l'industrie métallurgique ou l'utilisation de l'énergie thermique à partir de déchets conviennent à la production de vapeur dans les chaudières à tubes de fumées.

→ Efficacité – Chapitre 5.1 : Chaleur et électricité combinées, page 303

Le débit de vapeur possible à partir des gaz de combustion dépend essentiellement de trois critères :

- **Niveau de température des fumées disponibles**

Plus le niveau de température des fumées est élevé, plus le débit de vapeur réalisable est élevé. Le niveau de température peut aller jusqu'à environ 300 °C avec les micro-turbines à gaz, 360 – 550 °C avec les fumées des moteurs 1 000 °C avec les procédés industriels tels que la fusion ou le forgeage d'outils ou l'utilisation de l'énergie thermique.

- **Volume des fumées et la durée de disponibilité des fumées**

Il faut déterminer si les fumées seront disponibles en continu ou uniquement à certains moments de fonctionnement. La quantité de fumées doit également être prise en compte. Lors de l'utilisation combinée de chaleur et d'électricité avec une turbine à gaz, par exemple, jusqu'à 5 fois plus de fumées sont disponibles que ceux produits par un moteur à combustion interne avec la même puissance électrique en raison de la grande quantité d'air en excès pendant la combustion.

- **Niveau de pression auquel la vapeur doit être mise à disposition**

Plus le niveau de pression et donc la température de la vapeur saturée dans la chaudière à vapeur sont élevés, plus le gradient de température des fumées vers la vapeur qui est disponible pour le transfert de chaleur est faible. Pour des températures de fumées ≤ 330 °C la pression de service devrait idéalement être < 5 bar. À des températures de fumées plus élevées, une pression de vapeur plus élevée peut être réalisée dans la chaudière.

Les paramètres de cadre supplémentaires pour la sélection d'une chaudière appropriée sont la teneur en soufre, la teneur en solides ou d'autres substances corrosives correspondantes, par ex. teneur en chlore dans les fumées.

Dans ce cas, en raison du grand nombre de variations possibles des gaz de combustion, une étude détaillée est toujours recommandée pour la préparation d'un système de chaudière à vapeur perdue afin d'utiliser l'énergie thermique disponible aussi efficacement que possible.



Fig. 61 Unité de chaleur et d'électricité combinées avec une chaudière à chaleur résiduelle de 4 parcours



3.2 Système de maintien de la chaleur

Si une chaudière à vapeur n'est pas requise pendant une courte période, par ex. le week-end ou lorsqu'elle n'est pas utilisée la nuit, le système de maintien de la chaleur est utile. Cela maintient la chaudière chaude à une pression de chaudière réduite. En réduisant la pression dans la chaudière et donc aussi la température moyenne, les pertes de chaleur pendant les temps d'arrêt sont réduites.

→ Information technique TI019 : Systèmes de maintien de la chaleur pour les chaudières à vapeur

Le système de maintien de chaleur de la chaudière présente essentiellement trois avantages :

- Disponibilité rapide de débit de vapeur complet en quelques minutes
- Évite la pénétration d'oxygène qui empêche la corrosion au ralenti
- Évite les contraintes mécaniques extrêmement élevées liées au démarrage à froid



Fig. 62 Bobine de maintien de la chaleur installée à la base de la chaudière

Maintien de chaleur avec une bobine chauffante

Dans les systèmes à multi-chaudières ou les systèmes qui obtiennent de la vapeur saturée à partir d'un réseau de vapeur externe pour le chauffage de la bobine de maintien de chaleur, le système de maintien de chaleur est mis en œuvre à l'aide d'une bobine chauffante qui est intégrée dans la base de la chaudière. Ici, le maintien de la chaleur peut être contrôlé via une vanne de régulation dans l'entrée de vapeur en référence à une pression de consigne, ou ne peut être contrôlé non plus.

Le plus grand avantage de cette variante est la répartition uniforme de la température dans toute la chaudière. Elle évite de manière fiable la stratification thermique. Cela réduit considérablement les contraintes thermiques qui accompagnent le passage du mode maintien de la chaleur au mode normal.

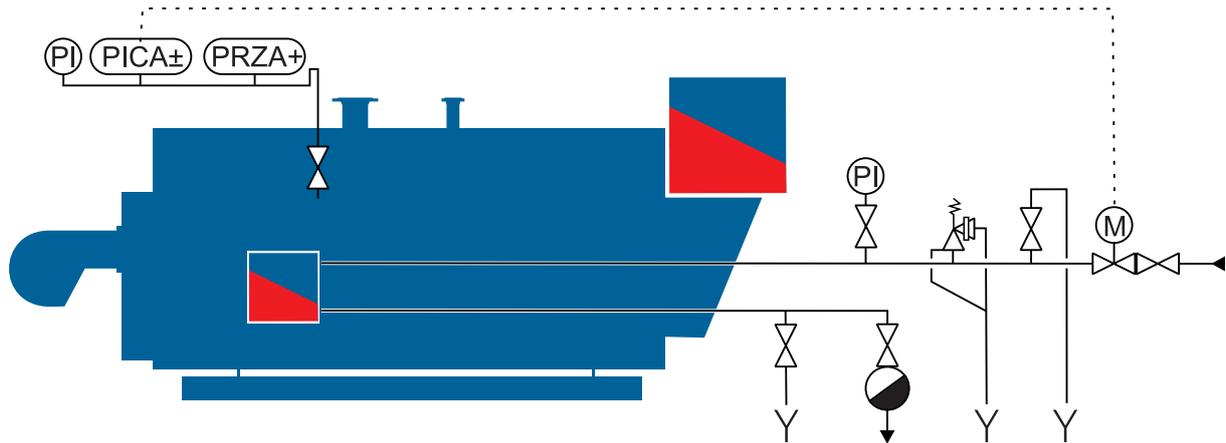


Fig. 63 Maintien de chaleur avec une bobine chauffante

PI Indicateur de pression (jauge de pression)

PICA± Transmetteur de pression

PRZA+ Limiteur de pression

Maintien de chaleur avec le système de combustion

La chaleur dans les systèmes à chaudière unique ou la chaudière principale d'un système à plusieurs chaudières pour lesquelles aucune vapeur n'est disponible sur le réseau doit être maintenue par un système de combustion dédié.

Comme l'apport calorifique nominal du brûleur dans ce mode de fonctionnement n'a besoin que de compenser les pertes de chaleur dans le système, le contrôle de la puissance de combustion est réglé sur la charge minimale.

Dans les systèmes bien isolés, le système de combustion n'est activé qu'une fois toutes les quelques heures. Dans ce cas, l'opération de maintien de la chaleur est fréquemment activée à environ 50% de la pression de service moyenne de la chaudière, ce qui permet de la démarrer très rapidement.

Cependant, le système de maintien de la chaleur du brûleur présente inévitablement tous les inconvénients des cycles fréquents du brûleur, tels que les pertes de pré-ventilation et les charges mécaniques.

→ Efficacité – Chapitre 2.2.4 : Pré-ventilation, page 273



De plus, si le système de maintien de la chaleur est actif et qu'aucune vapeur n'est aspirée pendant une période prolongée (plusieurs jours) la température de stratification se produit à l'intérieur de la chaudière, ce qui entraîne des charges mécaniques et thermiques supplémentaires lorsque la chaudière est rallumée.

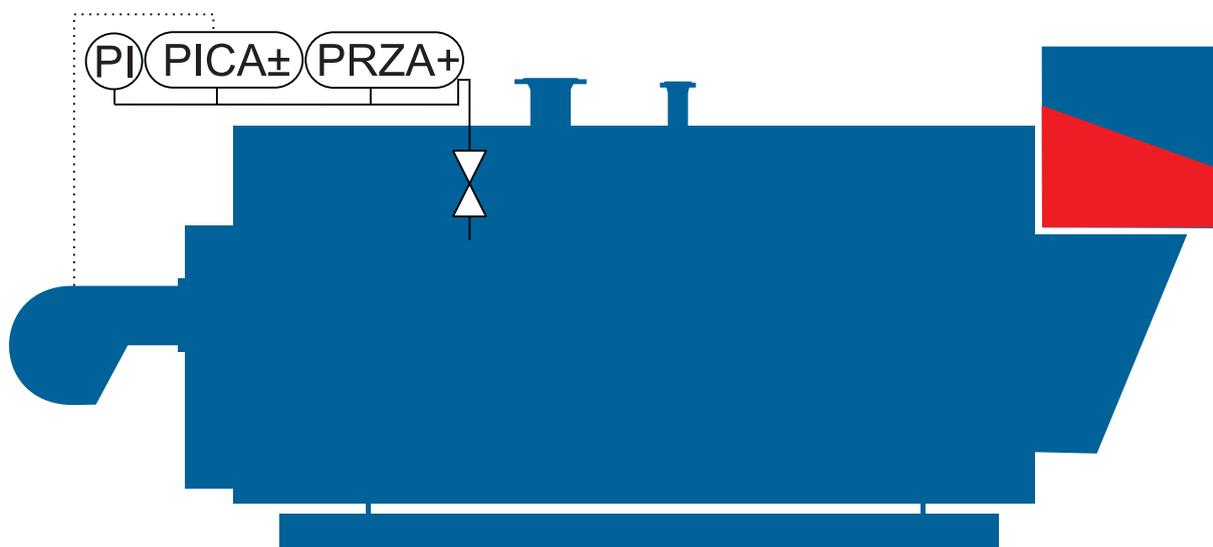


Fig. 64 *Maintien de la chaleur avec le système de combustion*

PI Indicateur de pression (jauge de pression)

PICA± Transmetteur de pression

PRZA+ Limiteur de pression maximale

3.3 Economiseur

Les économiseurs, également appelés les échangeurs de chaleur des fumées, font partie de l'équipement standard d'un système de chaudière car ils peuvent être utilisés plus ou moins dans n'importe quel système.

Bien que les coûts d'investissement d'un économiseur intégré représentent environ 7 – 15% d'une chaudière, il augmente également l'efficacité du système jusqu'à 7% et se paie donc normalement en quelques mois de fonctionnement.

→ Efficacité – Chapitre 2.1 : Température des gaz de combustion ou perte de gaz de combustion, page 261

L'économiseur est équipé d'échangeurs de chaleur très efficaces pour la récupération de chaleur des fumées sèches qui utilisent ce potentiel thermique à un niveau de température élevé.

La chaleur extraite des fumées est normalement utilisée pour le chauffage de l'eau d'alimentation et améliore donc le rendement de la chaudière.

La condensation des gaz de combustion via des échangeurs de chaleur de gaz de combustion, un préchauffage de l'air ou un refroidisseur d'eau d'alimentation peut être utilisée pour améliorer encore l'efficacité.

→ Efficacité – Chapitre 2.1.2 : Échangeur de chaleur à condensation, page 263

→ Efficacité – Chapitre 2.1.3 : Préchauffeur d'air, page 265

→ Efficacité – Chapitre 2.1.4 : Refroidisseur d'eau d'alimentation, page 267

Différents types d'économiseurs sont disponibles pour le mode de fonctionnement propre au système des échangeurs de chaleur des fumées, qui est optimisé pour chaque installation.

Économiseur intégré

L'économiseur entièrement intégré qui est directement monté sur la chaudière offre des avantages surtout pour les nouveaux systèmes de chaudière. L'ensemble d'échangeurs de chaleur spécialement développé avec des tubes à ailettes de taille variable et à haute efficacité est installé comme un composant intégral de la chaudière dans la chambre de collecte des fumées, entièrement isolé et connecté directement à la chaudière du côté de l'eau. Des économiseurs intégrés sont disponibles pour la chaudière U-MB, CSB, UL-S, ZFR et HRSB.

Un économiseur intégré présente des avantages significatifs par rapport à une chaudière conventionnelle avec économiseur séparé.

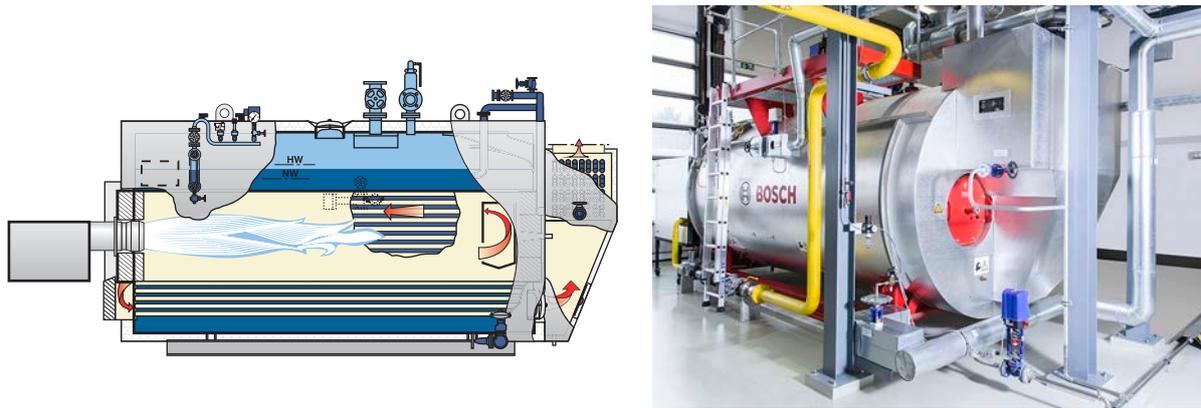


Fig. 65 Économiseur intégré dans l' UL-S

Avantages :

- Système de tubes à ailettes en spirale très efficace pour le gaz et le fioul « EL »
- Intégré dans la chambre des fumées de la chaudière
- Augmentation de l'efficacité jusqu'à 7%
- Assemblé en usine, canalisé et prêt à être raccordé, testé et isolé thermiquement
- Espace requis réduit
- Aucune fondation supplémentaire requise
- Aucune installation locale

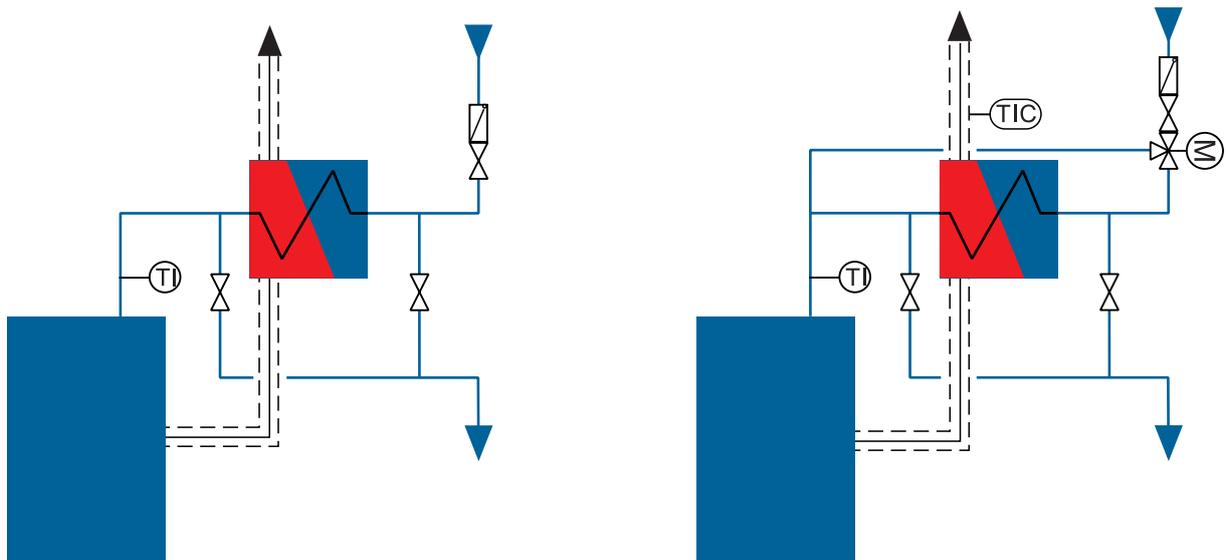


Fig. 66 Économiseur sans dispositif d'arrêt, non contrôlé (à gauche) et économiseur sans dispositif d'arrêt, contrôlé côté eau (à droite)

- TI** Indicateur de température
TIC Régulateur de température
M Moteur

Avec la variante non contrôlée, La fumée passe toujours par les tuyaux de l'échangeur de chaleur pour garantir une récupération maximale de la quantité d'énergie des fumées dans chaque position de charge. En plus d'atteindre la meilleure efficacité, c'est également la variante la plus rentable et donc la plus couramment utilisée.

→ Fig. 66, page 150, à gauche

Pour éviter que la température des fumées en aval de l'économiseur ne chute pas trop, s'il existe par exemple une température minimale des fumées pour les cheminées en maçonnerie, la variante avec commande côté eau est utilisée. Avec cette variante, une partie ou la totalité du débit d'eau d'alimentation est acheminée via une vanne de régulation à trois voies devant l'économiseur jusqu'à ce que la température de gaz de combustion pré-réglée en aval de l'économiseur soit établie.

→ Fig. 66, page 150, à droite



Économiseur Standalone

Les économiseurs autonomes, bien dit Standalone peuvent être installés indépendamment de la chaudière, ce qui permet de les adapter très facilement aux systèmes existants. Ils sont également utilisés lorsque l'économiseur doit être contourné de temps en temps du côté fumées, comme c'est le cas lors de l'utilisation d'un deuxième combustible contenant du soufre (par ex. le fioul lourd).

Les fumées entrent dans la section inférieure de l'économiseur et traversent l'échangeur de chaleur dans la section supérieure où le processus de récupération de chaleur ait lieu. La dérivation des fumées, y compris le clapet motorisé, la tuyauterie pour les raccordements et les vannes, est prête à être assemblée et fait partie, avec l'isolation thermique, de la livraison départ usine. L'économiseur Standalone est équipé d'un tube spécial à double ailette qui facilite le nettoyage des surfaces de chauffe et convient également au fioul lourd ou aux combustibles à forte tendance à l'encrassement.

L'économiseur Standalone autonome est disponible pour toutes les séries de chaudières CSB, U-MB, UL-S, ZFR, HRSB ainsi que pour les chaudières d'autres fabricants.



Fig. 67 Économiseur Standalone en combinaison avec un système à double combustion (gaz/fioul lourd)

3.4 Échangeur de chaleur à condensation

Avec l'utilisation du pouvoir calorifique, non seulement la chaleur sensible qui est directement liée à la température mais aussi la chaleur de condensation (chaleur latente) liée à la vapeur d'eau est partiellement extraite des fumées.

→ Technologie – Chapitre 1.3 : Enthalpie, page 110

Cela produit un condensat acide des fumées qui doit être neutralisé. Des matériaux résistants à la corrosion sont donc nécessaires dans ces échangeurs de chaleur, les tuyaux d'échappement en aval et la cheminée.

→ Technologie – Chapitre 4.2.2 : Évacuation de l'eau - Condensat des fumées, page 192

Les échangeurs de chaleur Standalone en acier inoxydable sont fournis sous forme de modules préassemblés. Ils conviennent donc aussi bien aux nouveaux systèmes qu'à la rénovation des systèmes existants.

→ Efficacité – Chapitre 2.1.2 : Échangeur de chaleur à condensation, page 263

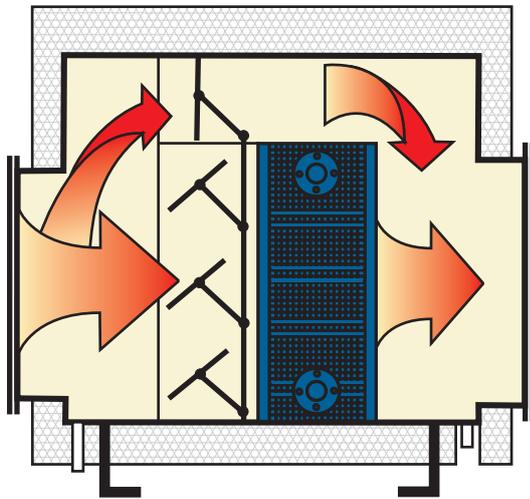


Fig. 68 Échangeur de chaleur à condensation



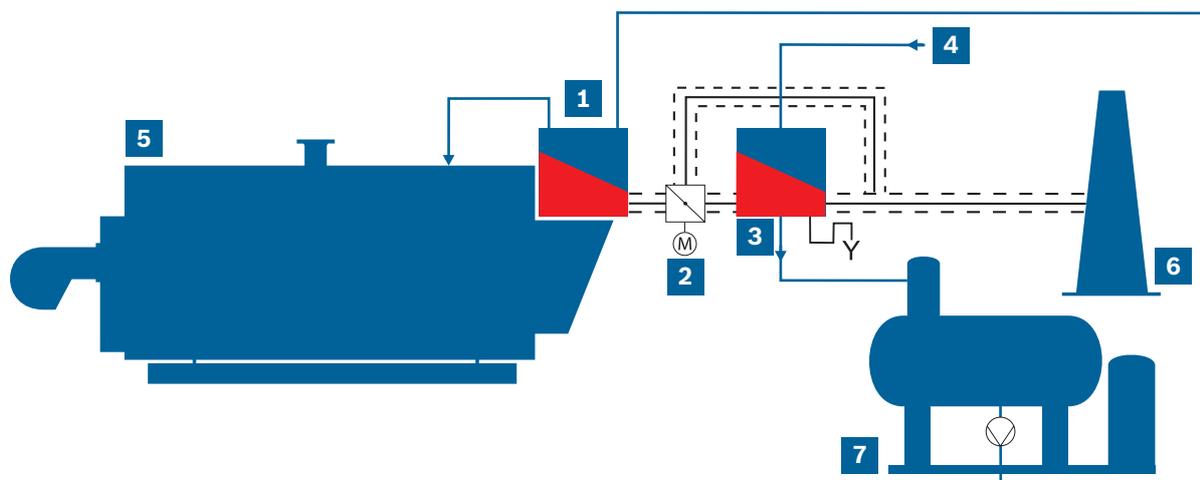


Fig. 69 Schéma simplifié d'un système de chaudière à vapeur avec économiseur intégré et échangeur de chaleur à condensation en aval

- | | |
|--|--|
| 1 Économiseur intégré(acier) | 3 Échangeur de chaleur à condensation(acier inoxydable) |
| 2 Clapet de dérivation des fumées | 4 Eau d'appoint |

→ Rapport technique FB023 : utilisation du pouvoir calorifique

3.5 Préchauffeur d'air

Le préchauffeur d'air utilise l'eau d'alimentation chaude pour préchauffer l'air de combustion et obtenir un flux d'eau froide au retour. Ce flux froid peut maintenant être utilisé dans un ensemble d'économiseurs supplémentaires pour réduire davantage la température des fumées. Cela augmente l'efficacité de 2%, ou des températures de fumées inférieures d'environ 40 K.

Comme le préchauffage d'air utilise l'air de combustion comme dissipateur de chaleur interne, l'augmentation de l'efficacité se reflète pleinement dans la réduction des coûts annuels de combustible.

→ Efficacité – Chapitre 2.1.3 : Préchauffeur d'air, page 265

Construction

Le système de préchauffage d'air Bosch comprend :

- Un deuxième ensemble d'économiseurs qui est livré monté sur la chaudière ou livré en vrac avec la chaudière en fonction des dimensions de transport
- Un échangeur de chaleur pour le préchauffage de l'air
- Les vannes et les capteurs nécessaires à la fermeture et au contrôle du système

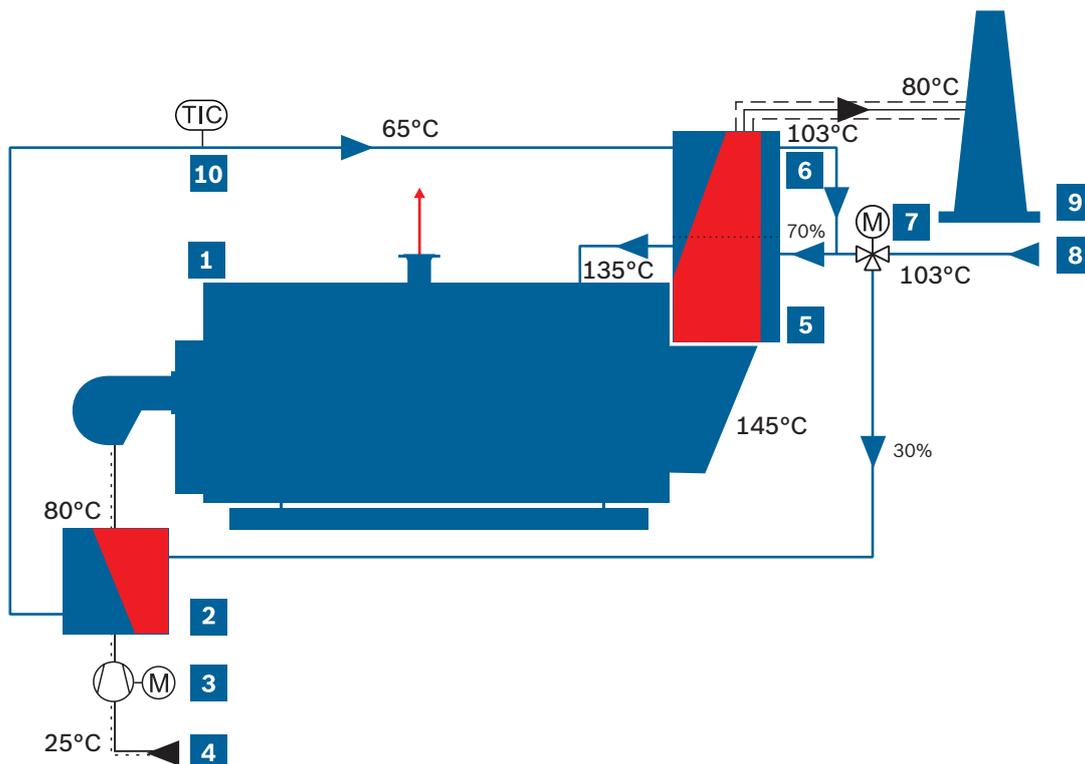


Fig. 70 Système de préchauffage d'air Bosch

- | | |
|--|--|
| 1 Chaudière à vapeur | 6 Échangeur de chaleur des fumées, niveau 2 |
| 2 Échangeur de chaleur, air de combustion | 7 Vanne à 3 positions |
| 3 Ventilateur | 8 Eau d'alimentation |
| 4 Air de combustion | 9 Cheminée |
| 5 Échangeur de chaleur des fumées, niveau 1 | 10 Régulateur de température |



3.6 Refroidisseur d'eau d'alimentation

Dans le module de refroidissement de l'eau d'alimentation (FWM), l'eau d'appoint froide est chauffée par l'eau d'alimentation chaude dans un échangeur de chaleur.

Le refroidissement de l'eau d'alimentation entraîne une plus grande différence de température entre l'eau et les fumées dans l'économiseur. L'amélioration du transfert de chaleur dans l'économiseur réduit la température d'évacuation des fumées.

Cela améliore l'efficacité de combustion jusqu'à 1,8%, ou jusqu'à 3% si la chaudière est équipée d'un 4^{ème} parcours.

La température d'entrée de l'eau d'alimentation dans l'économiseur est contrôlée pendant ce processus, ce qui réduit la condensation des fumées et protège donc l'économiseur en acier de la corrosion.

Le module de contrôle de l'eau d'alimentation est une mesure efficace et fiable pour réduire les coûts énergétiques.

→ Efficacité – Chapitre 2.1.4 : Refroidisseur d'eau d'alimentation, page 267

Construction

Le module de refroidissement de l'eau d'alimentation se compose d'un échangeur de chaleur à plaques, y compris l'isolation, les vannes, les adaptateurs de tuyauterie et les capteurs de température, et est fourni sur un cadre de base prêt à être raccordé. Le dimensionnement du module et le paramétrage de la commande sont réalisés spécifiquement sur commande et sont adaptés au mode de fonctionnement du système.

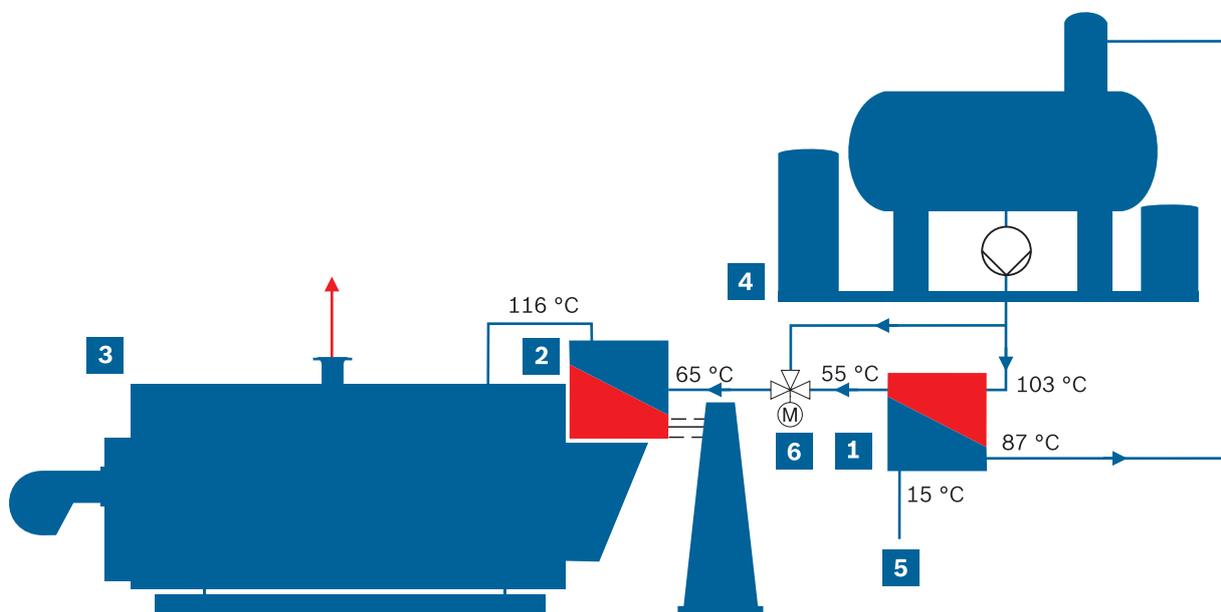


Fig. 71 Intégration du refroidisseur d'eau d'alimentation dans un système de chaudière

- | | |
|---|------------------------------|
| 1 Module de refroidissement de l'eau | 4 Bâche alimentaire |
| 2 Economiseur | 5 Eau d'appoint |
| 3 Chaudière à vapeur | 6 Vanne à 3 positions |

3.7 Préchauffeur d'eau d'alimentation

Le préchauffeur d'eau d'alimentation est utilisé lorsque des combustibles contenant du soufre sont utilisés en combinaison avec un économiseur. Pour empêcher l'acide sulfurique de se condenser sur les tubes de l'économiseur, l'eau d'alimentation est chauffée à des températures supérieures au point de rosée de l'acide après la désaération. Des températures de 120 – 140 °C sont nécessaires, dépendant de la teneur en soufre du combustible.

→ Outils – Chapitre 3.2 : Point de rosée des gaz de combustion, page 395

Le préchauffeur d'eau d'alimentation est conçu comme un échangeur de chaleur tubulaire chauffé à la vapeur équipé des éléments de commande, de sécurité et d'affichage nécessaires.

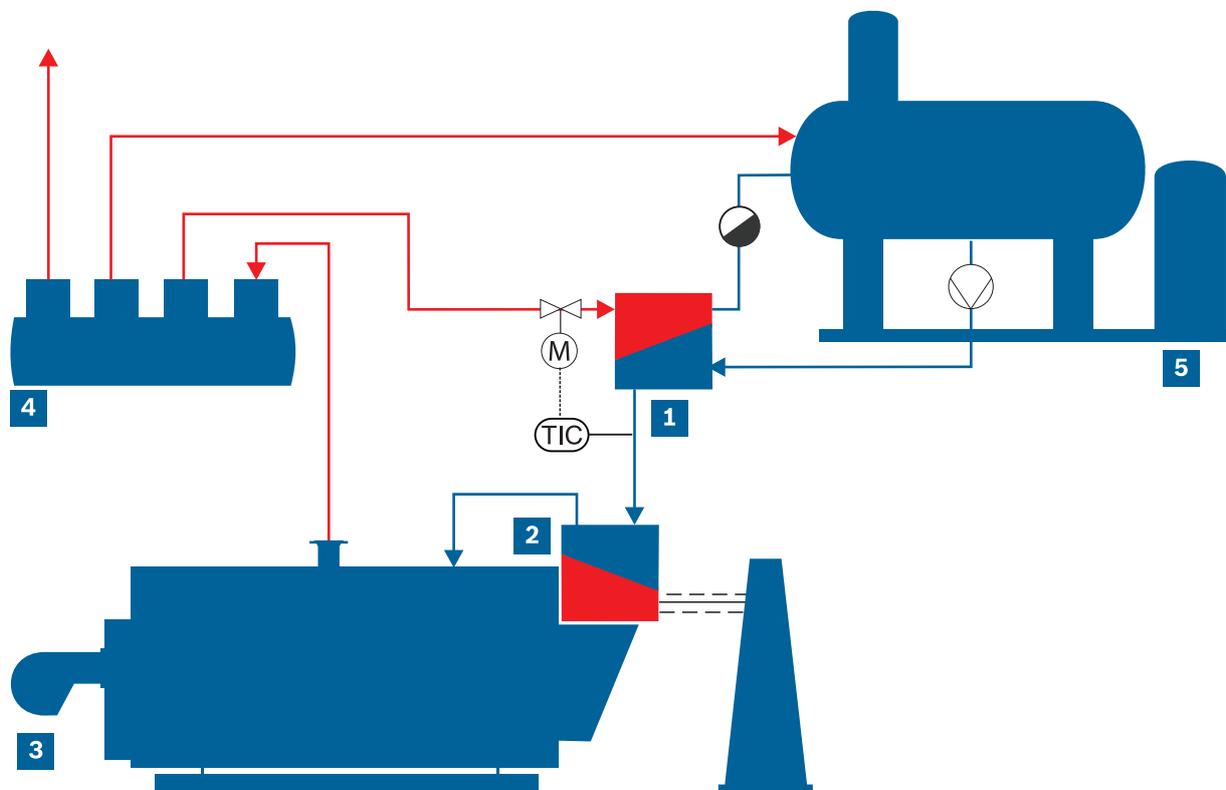


Fig. 72 Schémas simplifiés du système montrant l'intégration d'un préchauffeur d'eau d'alimentation

- 1** Préchauffeur d'eau d'alimentation
- 2** Economiseur
- 3** Chaudière
- 4** Distributeur de vapeur
- 5** Bûche alimentaire

3.8 Surchauffeur

Le surchauffeur est utilisé pour chauffer la vapeur d'eau au-dessus de sa température d'évaporation. Cette vapeur est appelée vapeur surchauffée ou vapeur chaude. La température de la vapeur est supérieure à la température de saturation.

La vapeur surchauffée est principalement utilisée dans des réseaux de vapeur complexes et étendus pour entraîner des moteurs à vapeur et des turbines à vapeur qui produisent de l'énergie ou pour le chauffage des centrales électriques. Dans le cas des chaudières à tubes de fumée, le surchauffeur est monté sur la chambre d'inversion frontale, en aval du premier passage du tube de fumée. Selon le niveau de pression de la chaudière, des températures de vapeur surchauffée de 100 K au-dessus de la température de vapeur saturée et jusqu'à un maximum de 300 °C peuvent être atteintes.

→ Fig. 35, page 104

→ Technologie – Chapitre 1.1.3 : Vapeur surchauffée, page 105



Fig. 73 Chaudière à double foyer avec un surchauffeur monté au-dessus

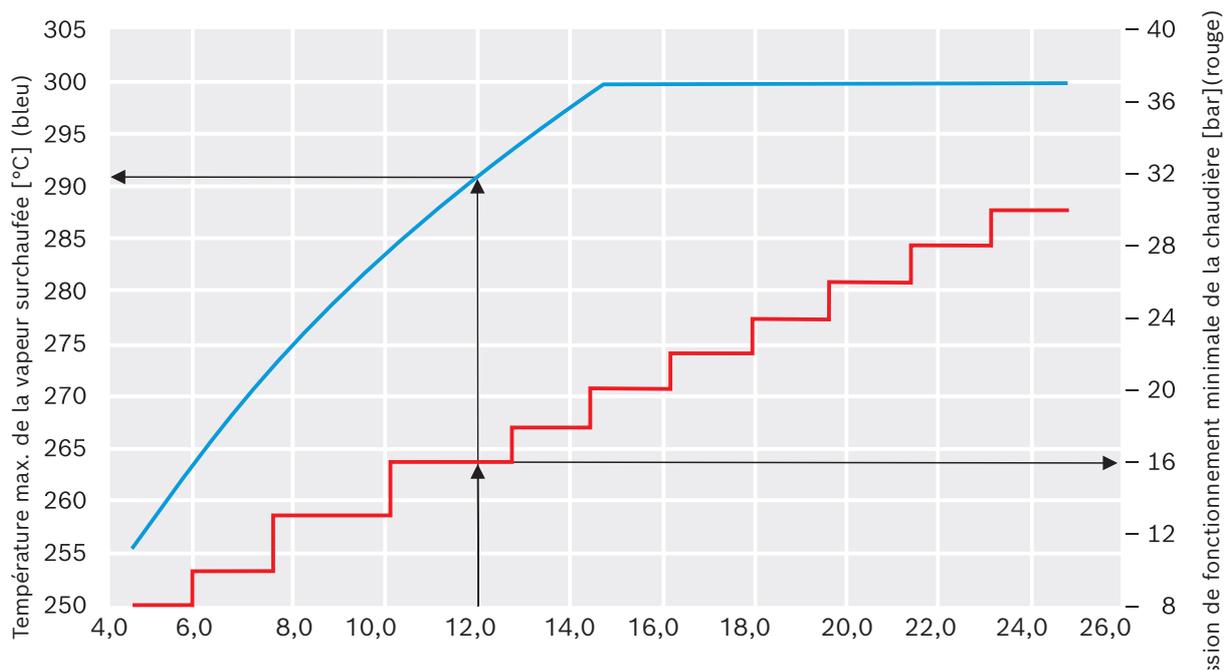


Fig. 74 Températures possibles de la vapeur surchauffée et niveau de pression minimum requis en référence à la pression de vapeur requise en aval du surchauffeur

- Max. de température de vapeur surchauffée [°C]
- Min. de pression de service de la chaudière [bar]

Exemple :

Pression de vapeur en aval du surchauffeur = 12 bar. Résultats : température de vapeur surchauffée maximale possible de 291 °C et pression minimale de la chaudière de 16 bar

Construction

Le module de surchauffe est monté sur la chambre d'inversion avant. Une partition avec un volet de contrôle des fumées pour la dérivation des fumées du premier au deuxième passage du tube de fumée est installée dans la chambre d'inversion avant. Le fonctionnement est donc entièrement automatique et garantit une température contrôlée de la vapeur surchauffée du côté des fumées. Les surchauffeurs sont conçus en fonction des exigences spécifiques du client afin d'atteindre la température de la vapeur surchauffée dans une plage de charge de chaudière donnée (par. ex 50 – 100%).

Le surchauffeur est démarré à sec à la charge la plus faible. La puissance de combustion augmente progressivement dès qu'un flux partiel de vapeur traverse le surchauffeur. Le fonctionnement a lieu une fois que le contrôle de la température de la vapeur surchauffée et de la combustion a été activé. Pour pouvoir garantir la température de la vapeur surchauffée et éviter les dépôts dans le surchauffeur côté eau, des devésiculeurs sont utilisés pour réduire l'humidité résiduelle de la vapeur.

→ Fig. 103, page 192

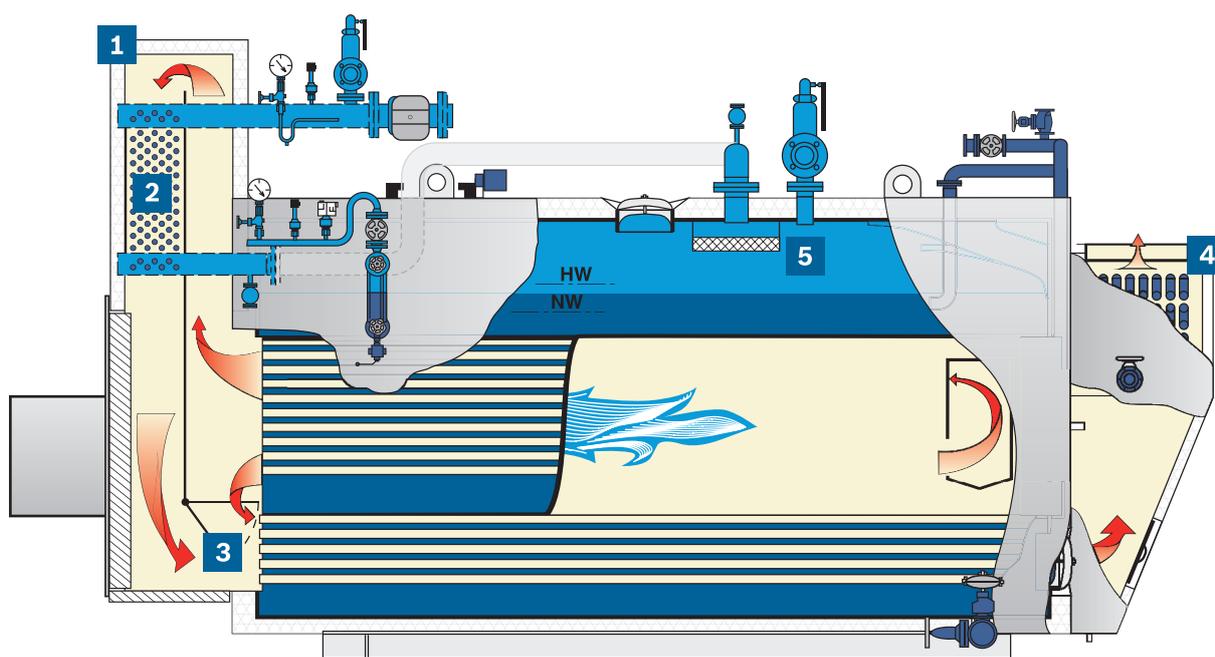


Fig. 75 UL-S avec un surchauffeur monté

- 1** Module de surchauffeur
- 2** Ensemble des tubes de surchauffeur
- 3** Clapet de contrôle de température de vapeur surchauffée
- 4** Economiseur
- 5** Alimentation en vapeur saturée à la chaudière avec devésiculateur

3.9 Pompes d'alimentation de la chaudière

La pompe d'alimentation équilibre la quantité de vapeur fournie par la chaudière à vapeur ainsi que l'eau perdue lors de la purge de surface et de la purge inférieure avec une quantité appropriée d'eau d'alimentation. Pour ce faire, le niveau d'eau dans la chaudière à vapeur est maintenu constant, ce qui permet des fluctuations dans une plage d'environ 100mm. En raison des réglementations régissant le fonctionnement des chaudières à vapeur, des exigences particulières s'appliquent dès le départ à la conception des pompes d'alimentation des chaudières, car un manque d'eau dans la chaudière est une condition de fonctionnement critique qui doit être évitée sans faute.

La norme EN 12953-6 n'impose aucune exigence particulière sur le débit de la pompe et la pression de refoulement, à condition que deux indicateurs d'eau fiables d'un type spécial soient installés, qui coupent le chauffage si le niveau bas de l'eau (LW) dans la chaudière est sous-évalué. De plus, une distance minimale entre les conduits de fumée les plus élevés et le point inférieur de l'eau de moins 50 mm doit être maintenue pour garantir que les surfaces chauffantes ne ressortent pas à la suite d'une réévaporation en raison de l'énergie thermique stockée dans les conduits de fumée.

Comme toutes les chaudières à tubes de fumées de Bosch satisfont à ces conditions, aucune exigence particulière ne s'applique aux pompes d'alimentation.

Outre des obligations découlant de la réglementation, les pompes d'alimentation doivent également satisfaire aux exigences d'un fonctionnement économique. Il s'agit en particulier de maintenir un niveau d'eau aussi constant que possible dans la chaudière et de maintenir un débit d'eau d'alimentation uniforme à travers l'économiseur existant afin que la chaleur des fumées puisse également être libérée en continu dans l'eau d'alimentation.

De même, la sortie électrique pour entraîner les pompes doit être maintenue aussi faible que possible et les pertes d'étranglement via les vannes de régulation minimisées.

Différentes conceptions de modules de pompe sont disponibles afin de répondre à ces exigences. Les pompes utilisées sont des pompes centrifuges verticales à haute pression à plusieurs étages avec un moteur refroidi par air entièrement encapsulé. Les pompes avec une puissance d'entraînement jusqu'à 22 kW peuvent être équipées d'un module onduleur intégré pour le contrôle de la vitesse. Ils sont spécialement conçus pour être utilisés dans des chaudières à tube de fumées.

Caractéristique de la pompe et caractéristiques du système

Une chaudière équipée d'un économiseur avec $m_s = 4\,000$ kg/h débit de vapeur nominal $p_m = 13,3$ bar La pression de service est utilisée comme exemple et explication de la caractéristique d'une pompe d'alimentation de chaudière à vitesse contrôlée.

→ Fig. 76, page 161

La plage admissible des caractéristiques de la pompe (fond gris foncé) est définie à gauche par la courbe de débit minimum V_{min} . Elle est obtenue à partir de la quantité minimale requise pour refroidir la pompe.

La caractéristique de la pompe est définie à droite par un débit maximal V_{max} , en haut par la courbe de vitesse à 100% et en bas par les têtes minimales des courbes de vitesse individuelles.

Les quatre courbes du système sont dessinées (lignes pointillées colorées) pour indiquer la pression statique que la pompe doit surmonter à différentes pressions de fonctionnement dans la chaudière et la composante de pression dynamique en raison des pertes de pression d'écoulement via la tuyauterie, les vannes et l'économiseur. Étant donné qu'il n'y a normalement que de courtes sections de tuyauterie, quelques vannes et la faible résistance à l'écoulement de l'économiseur à surmonter dans la chaufferie, la composante de pression dynamique de la caractéristique du système est très faible. Au débit maximal de cette chaudière de $4,4\text{m}^3/\text{h}$ ce n'est que $\Delta p_v = 0,53$ bar.



La composante de pression statique, d'autre part, qui est définie par la pression régnante dans la chaudière à vapeur, est $p_m = 13,3$ bar. La composante statique l'emporte donc de loin sur la composante dynamique. Il oscille toujours entre la pression minimale d'allumage du brûleur $p_{B,on} = 12$ bar et la pression maximale spécifiée par le limiteur de pression $p_{PL} = 15$ bar.

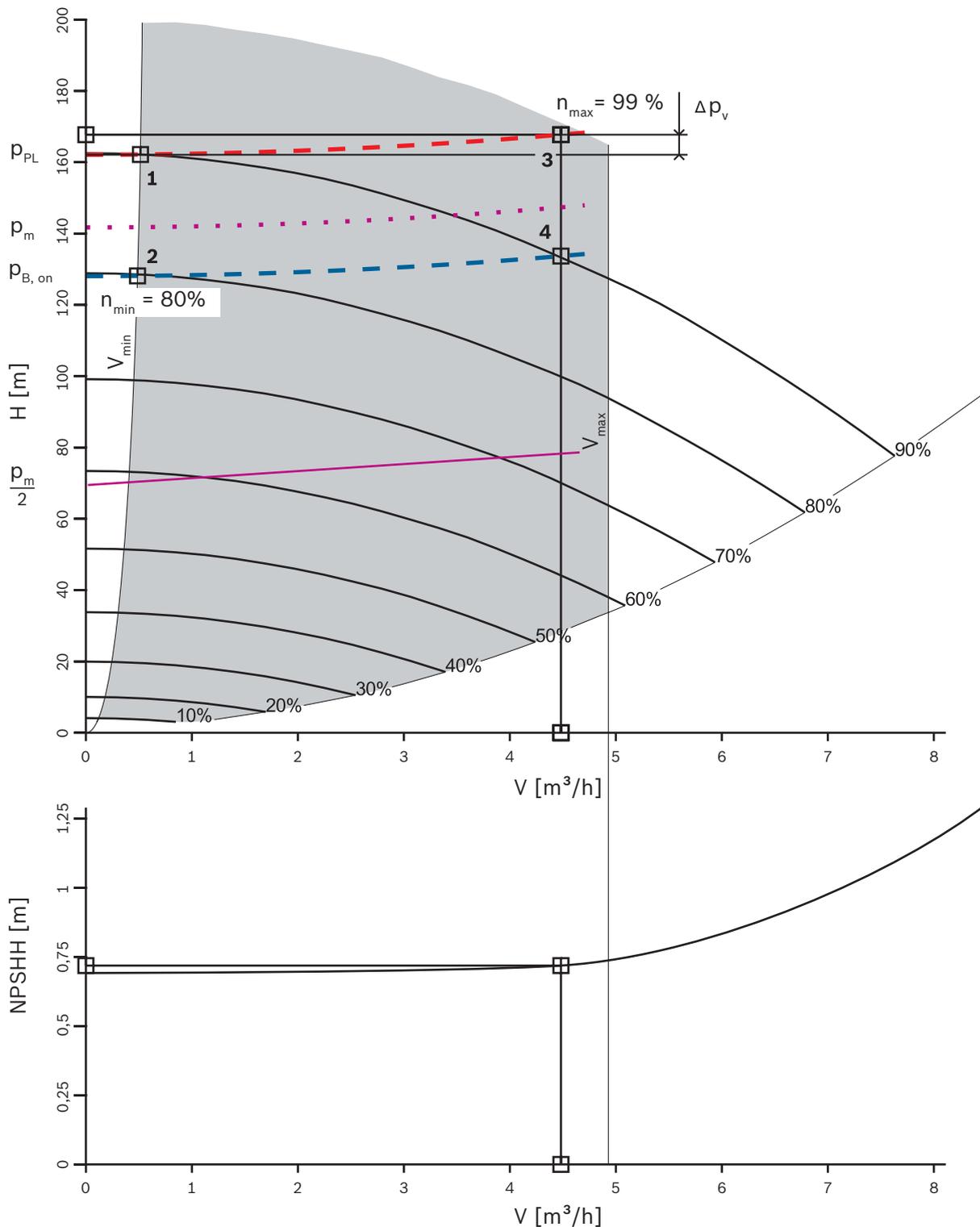


Fig. 76 Exemple de la caractéristique d'une pompe d'alimentation à vitesse contrôlée de la chaudière

Économie d'énergie

Étant donné que le même débit est requis pour la pompe à vitesse variable et une pompe tout-ou-rien avec vanne de commande, les économies d'énergie ne sont réalisées qu'en raison de la pression de refoulement inférieure et non du débit inférieur, comme c'est le cas dans les systèmes d'eau chaude.

Les économies d'énergie varient donc en fonction de l'utilisation de la capacité et de la pression de fonctionnement réelle du système :

- De quelques points de pourcentage en cas d'utilisation élevée de la capacité et de fonctionnement à la pression configurée
- Jusqu'à 60% en cas de fonctionnement fréquent avec une pression de service réduite et une utilisation de la capacité plus faible.

Contrôle de vitesse

En raison de la dominance de la contre-pression statique, le régulateur de vitesse doit limiter la vitesse maximale et minimale de la pompe en fonction de la pression de la chaudière et donc maintenir le point de fonctionnement actuel dans la plage de la carte des caractéristiques de la pompe (zone surlignée en gris).

→ Fig. 76, page 161

Une comparaison entre les points 1 et 4 montre à quel point cela est difficile. Alors que la pompe ne délivre que le débit minimum (point 1) à 90% de la vitesse de la pompe avec $p_{PL} = 15$ bar, elle délivre déjà le débit nominal total de l'eau d'alimentation (point 4) à la même vitesse que $p_{(B,on)} = 12$ bar.

La caractéristique du système pour la pression de service réduite $p_{m/2}$ le démontre avec encore plus d'insistance.

Valeur NPSH (hauteur d'aspiration positive nette)

La valeur NPSH indique la pression statique minimale à l'orifice d'admission de la pompe à laquelle la cavitation ne se produit pas encore. Cette valeur est prédéfinie par la conception de la pompe qui dépend du débit et augmente très fortement avec des débits plus élevés. La plage à droite du débit maximum de $4,9 \text{ m}^3/\text{h}$ ne peut donc pas être utilisée sans risquer d'endommager la pompe par cavitation.

Module de pompe PM

Avec le module de pompe, la pompe d'alimentation de la chaudière est montée sur un support et livrée ex works entièrement montée avec l'affichage de la pression, les vannes d'arrêt, les vannes de filtre et les clapets anti-retour. Pour garantir la disponibilité opérationnelle de l'installation de la chaudière en cas de défaillance de la pompe d'alimentation, deux modules de pompe avec commutation en cas de défaillance sont souvent installés.

Module de pompe à vitesse contrôlée

Les pompes d'alimentation sont également équipées d'un module onduleur. Parce que le contrôle de la fréquence est adapté au fonctionnement de la chaudière, la vitesse du moteur de la pompe peut être contrôlée en continu. Cela modifie la courbe de la pompe, ce qui signifie que le débit de la pompe peut être adapté aux conditions de fonctionnement actuelles de la chaudière en ce qui concerne la pression de fonctionnement et le niveau d'eau. Cela permet d'économiser l'énergie d'entraînement électrique, en particulier lorsque la pression dans la chaudière est réduite et en charge partielle.

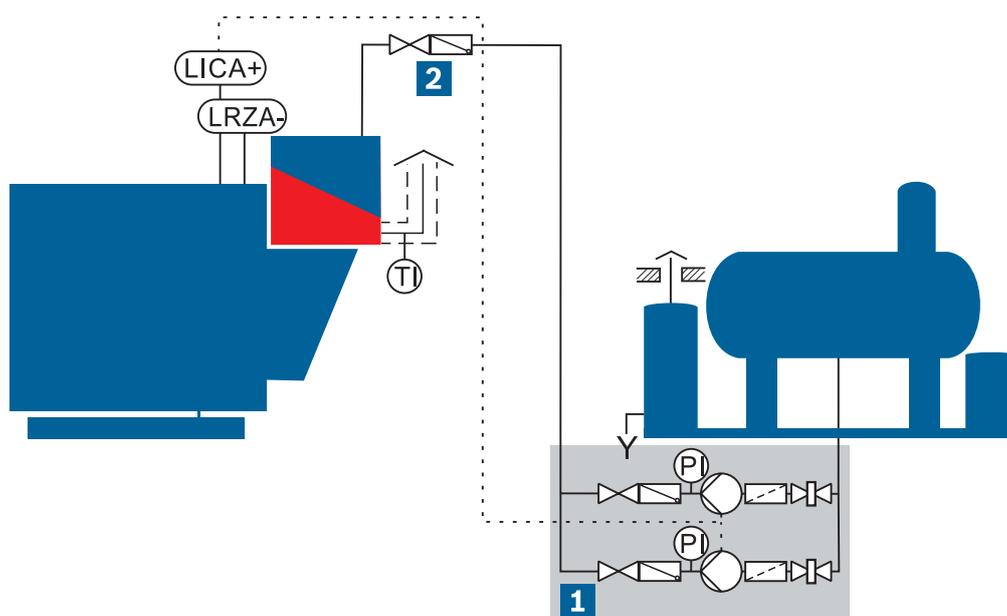


Fig. 77 Schéma du module de la pompe avec toutes les vannes

- 1** Module de régulation d'eau d'alimentation
- 2** Dispositif de coupure en amont de la chaudière
- PI** Indicateur de pression (jauge de pression)
- TI** Indicateur de température
- LICA+** Transmetteur de niveau
- LRZA-** Limiteur de niveau bas de l'eau



Fig. 78 Module de pompe et double module

Avantages :

- Des coûts d'investissement particulièrement bas
- Coûts d'exploitation particulièrement bas
- La courbe de la pompe peut être adaptée à différentes pressions de service.
- Démarrage en douceur et donc pas de pic de pression lors de la mise en marche et de l'arrêt de la pompe.
- Risque de cavitation réduit en cours de fonctionnement en raison des faibles débits.

À considérer :

- Le rapport de contrôle de V_{\min} à V_{\max} devrait être d'au moins 1:4
- Lors de l'utilisation des économiseurs, la plus petite plage de contrôle de fréquence de la pompe d'alimentation doit, dans la mesure du possible, couvrir la plage de contrôle de charge partielle du brûleur. Si nécessaire, une pompe d'alimentation à vitesse variable peut également être combinée avec une vanne de régulation d'eau d'alimentation.

Exemple et explications d'une caractéristique d'une pompe d'alimentation de chaudière à vitesse variable

Une pompe d'alimentation de chaudière à vitesse contrôlée d'une chaudière équipée d'un économiseur avec $m_s = 4\,000$ kg/h débit de vapeur nominal et $p_m = 13,3$ bar La pression de service moyenne en bar est utilisée à titre d'exemple.



Module de pompe avec/sans contrôle de vitesse et d'alimentation

Si une pompe d'alimentation à vitesse contrôlée n'est pas installée, ou si la pompe à vitesse contrôlée ne peut pas couvrir la plage de régulation nécessaire, une commande modulante avec le module de régulation de l'eau d'alimentation RM est recommandée pour toutes les chaudières équipées de brûleurs modulants et d'échangeurs de chaleur des fumées. Le module assure des temps d'écoulement plus longs dans l'échangeur de chaleur des fumées et donc une récupération optimale de la chaleur des fumées de la chaudière. En même temps, il garantit la quantité minimale requise pour le refroidissement de la pompe d'alimentation via le module de contrôle de l'eau d'alimentation. Le module préassemblé est utilisé à un endroit approprié de la conduite d'eau d'alimentation. Le module de régulation d'eau d'alimentation pour une alimentation continue de la chaudière se compose d'une vanne de régulation d'eau d'alimentation, d'une unité de drainage, d'un collecteur d'impuretés et une dérivation avec des vannes d'arrêt correspondantes.

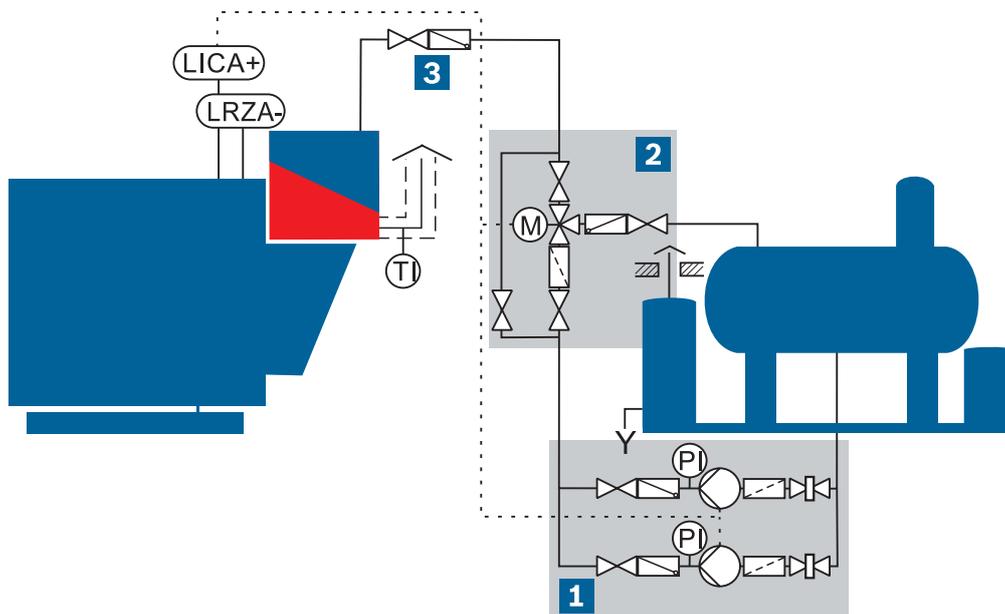


Fig. 79 Schéma de principe d'un module de pompe et d'un module de commande d'eau d'alimentation avec toutes les vannes

1	Module de pompe	PI	Indicateur de pression (jauge de pression)
2	Dispositif de coupure en amont de la chaudière	TI	Indicateur de température
3	Module de régulation d'eau d'alimentation	LICA+	Transmetteur de niveau
		LRZA-	Limiteur de niveau bas de l'eau

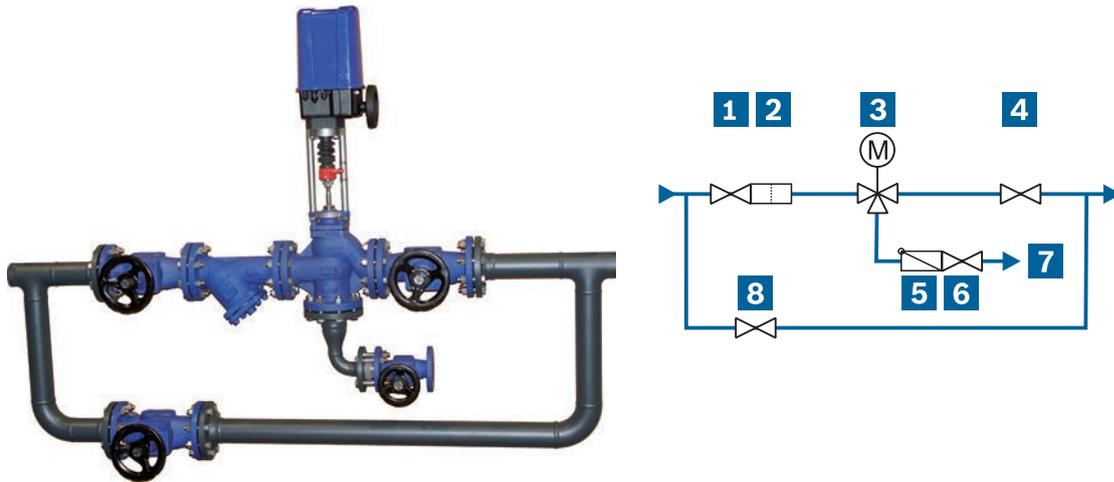


Fig. 80 Module de controle de l'eau de l'alimentation

- | | |
|--|---|
| 1 Vanne d'arrêt | 5 Clapet anti-retour |
| 2 Collecteur d'impuretés | 6 Vanne d'arrêt |
| 3 Vanne de régulation d'eau d'alimentation avec pompe de dérivation | 7 Dérivation de la pompe pour alimenter le réservoir d'eau |
| 4 Vanne d'arrêt | 8 Vanne d'arrêt de dérivation |

Avantages :

- Débit minimal garanti pour le refroidissement de la pompe d'alimentation
- Efficacité améliorée de l'échangeur de chaleur des fumées
- Réduction du nombre d'opérations de changement de pompe
- Niveau d'eau constant dans la chaudière



3.10 Contrôle de la chaudière

La commande de la chaudière continue de jouer un rôle déterminant pour assurer un fonctionnement sûr, fiable et économique.

Il convient donc de respecter les exigences de sécurité des différentes réglementations relatives à l'installation et au fonctionnement sûr des systèmes de chaudière.

Toutefois, outre la sécurité et la fiabilité du fonctionnement, d'autres exigences en matière de gestion de l'énergie, telles que l'enregistrement des données et l'optimisation continue du fonctionnement de la chaudière, sont tout aussi importantes.

En outre, toutes les options de gestion de la production à partir d'un système d'automatisation central doivent être disponibles en tant que fonctionnement. La performance économique globale n'est possible que par une communication interne entre les consommateurs de vapeur et les générateurs de vapeur.

Les tâches de base de l'armoire de commande sont :

- Fonctions de sécurité
- Fonctions de régulation
- Messages de fonctionnement et de panne
- Enregistrement et évaluation des données
- Interface de contrôle
- Maintenance par des tiers

Depuis 2001, Bosch Industriekessel GmbH a été le premier fabricant de chaudières à utiliser des systèmes de contrôle basés sur des automates programmables en standard dans les chaudières à tubes de fumée. Ce concept a connu un succès éclatant sur le marché et est devenu entre-temps un équipement standard.

Les systèmes de contrôle sont en développement continu. Un haut degré de transparence et de connectivité des données d'exploitation est atteint grâce à des écrans tactiles dotés d'une interface utilisateur graphique intuitive, combinés aux automates programmables.

Outre la commande de la chaudière, un certain nombre de tâches de commande supplémentaires doivent également être exécutées dans un système de chaudière. Celles-ci sont traitées avec la mise en réseau des commandes dans le chapitre Contrôle du système.

→ Technologie – Chapitre 4.6 : Système de contrôle SCO,
page 206

Systèmes de contrôle



Fig. 81 Appareillage Bosch

Aujourd'hui, le matériel du domaine des automates programmables, qui a fait ses preuves dans les applications industrielles, est utilisé plus ou moins partout dans les systèmes de commande les plus modernes pour effectuer les tâches de commande nécessaires sur la chaudière et dans la chaufferie.

Les appareils exécutent toutes les fonctions de commande de la chaudière ou du système de chaudière et peuvent communiquer avec d'autres contrôles (par exemple, les systèmes de gestion des brûleurs, les contrôles séparés des modules de la chaufferie et les systèmes de contrôle de processus de niveau supérieur) via des systèmes de bus ou des réseaux. En raison des exigences très élevées en termes de fiabilité, la chaîne de sécurité est normalement mise en œuvre à l'aide de la technologie classique des contacteurs et des relais.

Tout le logiciel de contrôle est stocké sur une carte micro-mémoire. Il n'est donc pas nécessaire d'utiliser des batteries de secours ou des EPROMs pour se prémunir contre les pannes de courant. Les appareils sont compacts, modulaires et se visent sur un rail profilé pour former un ensemble robuste conforme à la norme CEM. Selon les besoins, des dispositifs optionnels tels que des entrées et des sorties supplémentaires ou un processeur de communication, par exemple pour Profibus DP, peut être combiné pour l'interfaçage avec le système d'automatisation central. Des options supplémentaires sont disponibles, telles qu'un réseau Ethernet industriel pour la connexion de plusieurs modules de commande ou la préparation pour l'accès à distance MEC Remote.

→ Produits – Chapitre 6.6 : MEC Remote, page 376

→ Produits – Chapitre 6.4 : MEC Optimize, page 374

→ Technologie – Chapitre 4.6 : Système de contrôle SCO, page 206

Les exigences complexes et strictes en matière de sécurité d'exploitation des chaudières sont satisfaites à l'aide de modules fonctionnels logiciels testés en usine et spécialement adaptés aux commandes de la chaudière et du système de chaudière concernés.

Le client bénéficie de systèmes comportant un large éventail de variantes dans lesquels les différents modules logiciels ont déjà été utilisés et testés à de nombreuses reprises dans la pratique. Une programmation individuelle spéciale n'est effectuée que dans des cas exceptionnels.

3.11 Contrôle de chaudière BCO

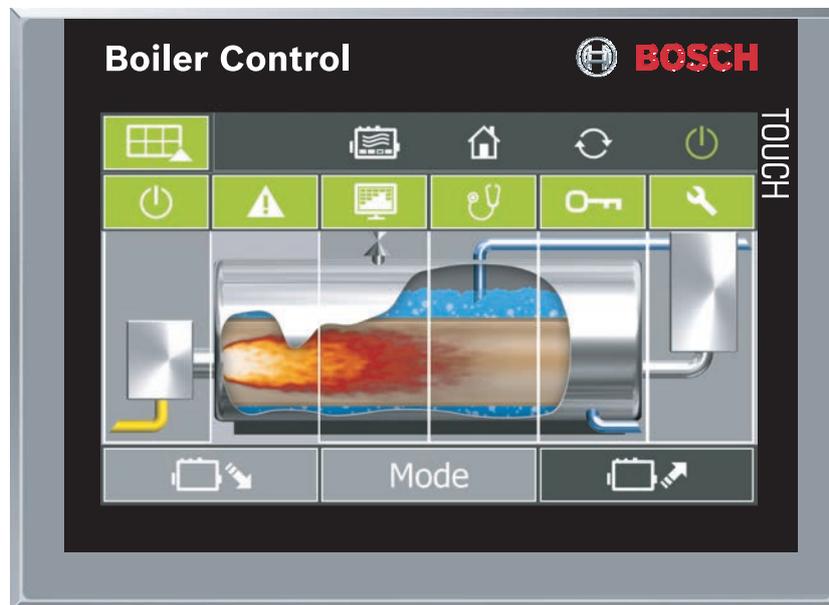


Fig. 82 Contrôle de chaudière BCO – exemple d'affichage pour les chaudières à vapeur

Un écran graphique TFT avec interface tactile est utilisé pour l'affichage et la commande. Sa durée de vie extrêmement longue, ainsi que son intensité lumineuse et son contraste, le rendent éminemment adapté aux applications industrielles les plus exigeantes.

Les structures des menus graphiques ainsi que les indicateurs d'état et l'archivage des valeurs de processus sont stockés sur une carte multimédia (MMC) qui est insérée dans l'unité de commande.

Guide graphique d'utilisateur avec une transparence exceptionnelle des données d'exploitation



Fig. 83 Exemples de conseils d'utilisation au contrôle de la chaudière BCO

Pour faciliter l'utilisation, la conception des symboles, des graphiques et du guidage de l'utilisateur sur les écrans tactiles est basée sur les dernières connaissances en matière d'ergonomie et d'exploitabilité. Toutes les fonctions de commande disponibles peuvent être appelées de manière intuitive et les valeurs réelles et de consigne peuvent être affichées ou modifiées sur l'écran à affichage couleur.

De nombreuses conditions de fonctionnement, données de fonctionnement et mesures du système de chaudière sont déjà indiquées sur l'écran graphique de la commande de chaudière BCO avec l'équipement standard. Cela inclut toujours les heures de fonctionnement de la chaudière et du brûleur et le nombre de démarrages du brûleur, entre autres. Tous les points de commutation, différentiels de commutation et contacts de fin de course spécifiés peuvent être affichés.

Les données importantes du processus sont enregistrées sur la carte mémoire de la chaudière ou de la commande du système dans un intervalle défini. Les archives ont une structure roulante : lorsque la mémoire est pleine, les données de processus les plus anciennes sont supprimées et les données les plus récentes sont archivées. Celles-ci peuvent alors être représentées graphiquement sous forme de courbes sur les écrans. Les archives de processus peuvent également être lues par le service clientèle. Les données peuvent être traitées dans un logiciel de traitement de texte ou de tableaux. L'analyse de la consommation du combustible, de la vapeur ou de l'évolution de la température peut ainsi être facilement affichée. Le haut degré de transparence des données de fonctionnement permet d'optimiser facilement les paramètres de régulation, ce qui réduit la consommation d'énergie, les émissions polluantes et l'usure générale du système de chaudière.

Fonctions dans les systèmes de chaudières

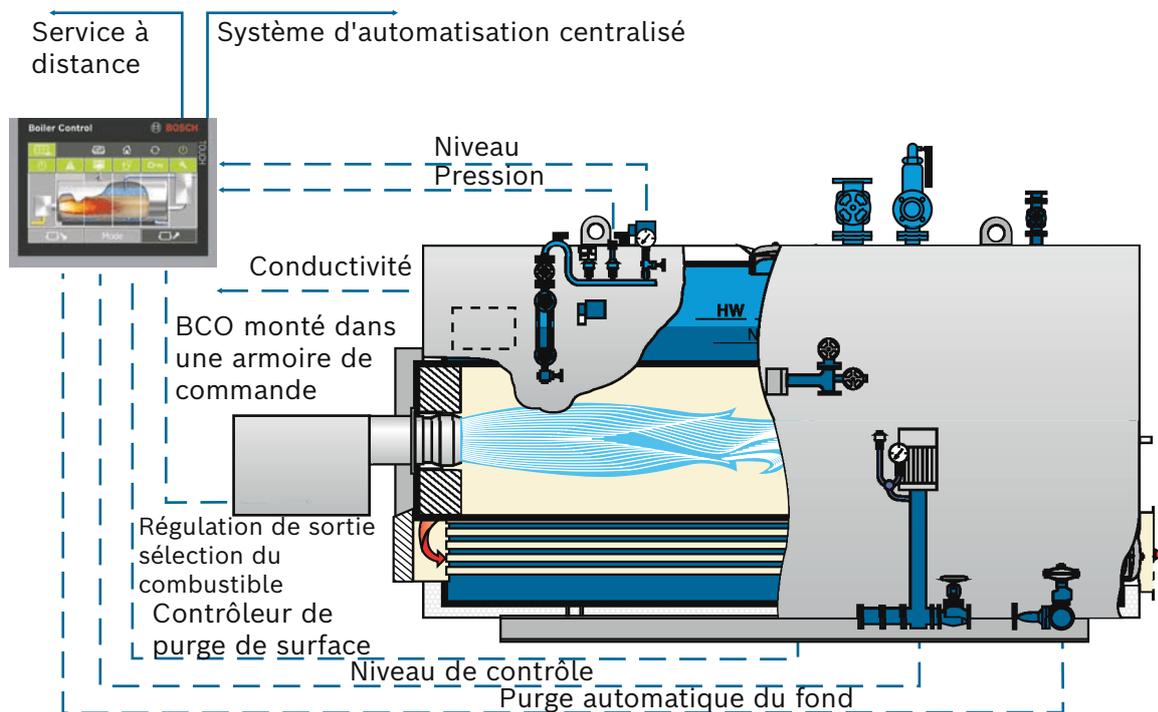


Fig. 84 Fonctions standard de la commande de chaudière BCO pour les chaudières à vapeur

Contrôle de chaudière BCO pour les systèmes de chaudières à vapeur

En plus du débit standard, niveau, qualité d'eau, purge et des fonctions de contrôle de la chaîne de sécurité qui équipent en standard chaque chaudière à vapeur, le contrôle de la chaudière BCO peut également être étendu pour inclure les options et fonctions supplémentaires suivantes :

- Démarrage automatique à froid
- Mesure et contrôle de la température des fumées pour chaudière avec économiseur
- Mesure et contrôle de la température de vapeur surchauffée pour les chaudières avec surchauffeur
- Mesure des débits de vapeur, d'eau d'alimentation et de combustible
- Commutation automatique de la pompe d'alimentation via pression, temps ou défaut
- Mode de maintien de la chaleur à durée contrôlée avec réduction de pression
- Affichage des heures de fonctionnement, fréquence de démarrage, nombre de démarrages à froid dans le temps
- Détection des conditions de démarrage défavorables



- Détection de salissures côté eau et fumées ou condensation indésirable
- Génération de messages de service selon les besoins
- Affichage des pertes d'énergie résultant de la purge du fond et de surface
- Affichage de la consommation du carburant et de l'eau dans le temps
- Affichage du taux d'élimination de la vapeur au fil du temps
- Affichage du profil de charge de la chaudière au fil du temps
- Interfaçage avec des systèmes de contrôle de niveau supérieur
- Télégestion via MEC Remote
- Interfaçage avec un système d'automatisation central

→ Technologie – Chapitre 3.2 : Système de maintien de la chaleur, page 145

→ Rapport technique FB029 : contrôle automatique du démarrage des chaudières à vapeur

Surveillance de l'état (CM)

CM permet aux clients de surveiller leurs systèmes pour s'assurer qu'ils fonctionnent efficacement et fonctionnent normalement. Pour ce faire, les données du système sont analysées, évaluées et affichées de manière transparente selon un modèle de feu de circulation.

→ Efficacité – Chapitre 4.3.2 : Surveillance de l'état, page 296

3.12 Contrôle de la chaudière à vapeur compacte CSC

La régulation pour la plus petite gamme de débit de vapeur allant jusqu'à 4 000 kg/h est un produit convaincant en raison de la facilité de manipulation et est fournie en usine avec toutes les fonctions importantes pour le fonctionnement semi-automatique de la chaudière.



Fig. 85 Armoire de commande compacte de CSC pour les chaudières à vapeur dans la plus petite gamme de puissance

Le contrôleur logique programmable compact CSC est la solution idéale pour les chaudières à vapeur d'une puissance allant jusqu'à 4 000 kg/h. Il est doté de toutes les fonctions standard importantes pour une commande pratique. Il est doté de toutes les fonctions standard importantes pour un contrôle et un fonctionnement pratiques. Comparé au contrôle de chaudière BCO qui est conçu pour des systèmes plus complexes, le CSC est une alternative abordable pour les chaudières à vapeur autonomes.

Avantages :

- Rapport qualité-prix attractif pour les chaudières à vapeur avec des débits de vapeur allant jusqu'à 4 000 kg/h
- Écran tactile en couleur pour un fonctionnement simple et une visualisation claire des conditions de fonctionnement
- Installation flexible et peu encombrante car le CSC est fourni d'ex-works déjà installé sur la chaudière ou comme armoire de commande murale précâblée et testée
- Électronique de puissance pour l'alimentation en combustible, la pompe d'eau d'alimentation, la purge de fond et la purge de surface
- Conditions d'eau idéales grâce à la purge de surface et à la purge de fond entièrement contrôlées par la conductivité de façon automatique

**Équipement, fonctions standards :**

- Limiteur de niveau bas et du niveau haut de l'eau
- Limiteur de pression pour une pression positive maximale
- Contrôle du niveau d'eau, en 2 étapes ou en continu
- Dispositif de protection contre l'ébullition pour la pompe d'alimentation
- Contrôle de sortie, en 2 étapes ou en continu
- Messages d'alarme et de panne avec mémoire de messages

Équipements optionnels :

- Fonction externe du niveau haut de l'eau
- Contrôleur de pompe de secours
Contrôle et limitation de la conductivité
Purge de fond et purge de surface automatiques
Maintien de la chaleur par le système de combustion
Contrôle de la production avec deux combustibles

Construction :

L'automate programmable est équipé d'un écran tactile intuitif. Il est intégré dans une armoire de commande de chaudière et est monté de façon permanente sur la chaudière, avec le câblage des capteurs, des actionneurs et du brûleur. L'installation murale de l'armoire de commande est disponible en option.

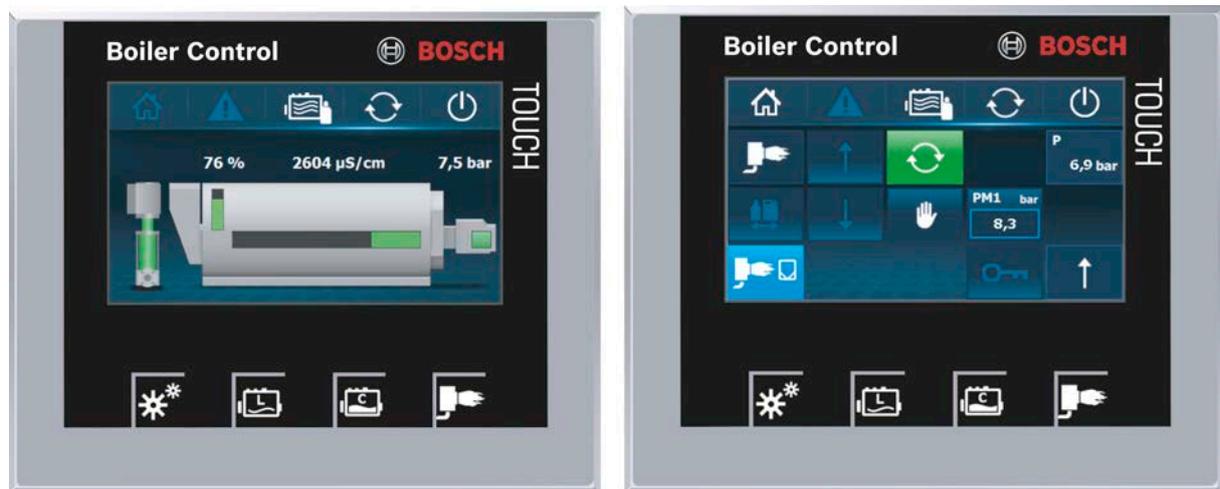


Fig. 86 Exemples de conseils d'utilisation au contrôle de chaudière CSC





4 Chaufferie

La chaufferie est un bâtiment ou une partie du bâtiment dans lequel une ou plusieurs chaudières à vapeur sont installées. Les systèmes auxiliaires nécessaires au fonctionnement de la chaudière à vapeur sont également normalement installés dans la même pièce.

Ce sont des systèmes spécifiques pour :

- Le traitement de l'eau
- L'évacuation de l'eau
- Traitement, distribution et stockage de la vapeur et de condensat
- Surveillance de la qualité de l'eau
- Technologie d'automatisation et de régulation
- Récupération de la chaleur

Des règlements spéciaux s'appliquent dans cette région.

→ Étude et conception – Chapitre 6 : Législation, page 63

Le diagramme suivant montre un exemple de bilan massique eau-vapeur. Les débits massiques doivent être réglés individuellement pour chaque chaufferie en fonction des composants du système et des conditions de fonctionnement et sont essentiels à toute étude et conception.

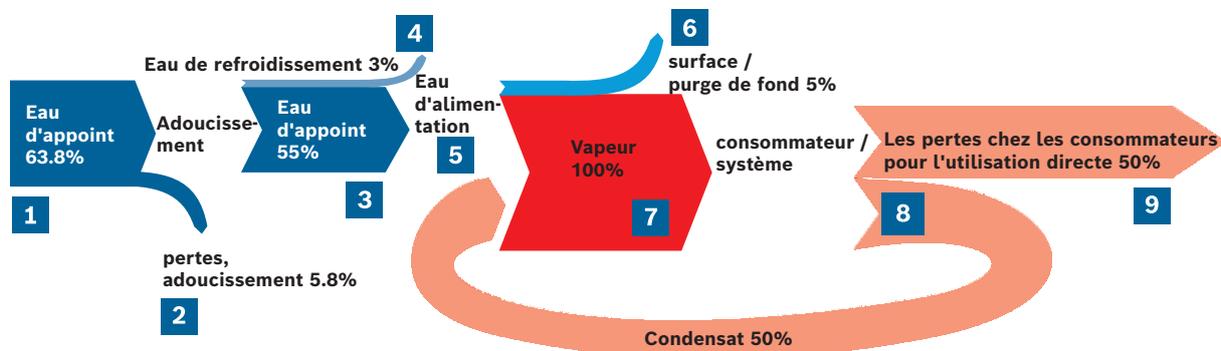


Fig. 87 Bilan massique dans un système de vapeur (les valeurs indiquées sont des exemples)

- 1** Eau fraîche pour adoucir
- 2** Pertes lors d'adoucissement dues à la régénération
- 3** Eau d'appoint pour la désaération
- 4** Eau de refroidissement pour la cuve de purge inférieure
- 5** Alimentation en eau de la chaudière à vapeur
- 6** Pertes dues à la purge du fond / de la surface
- 7** Vapeur vers les consommateurs
- 8** Condensat
- 9** Pertes chez les consommateurs (par exemple en raison d'une utilisation directe)

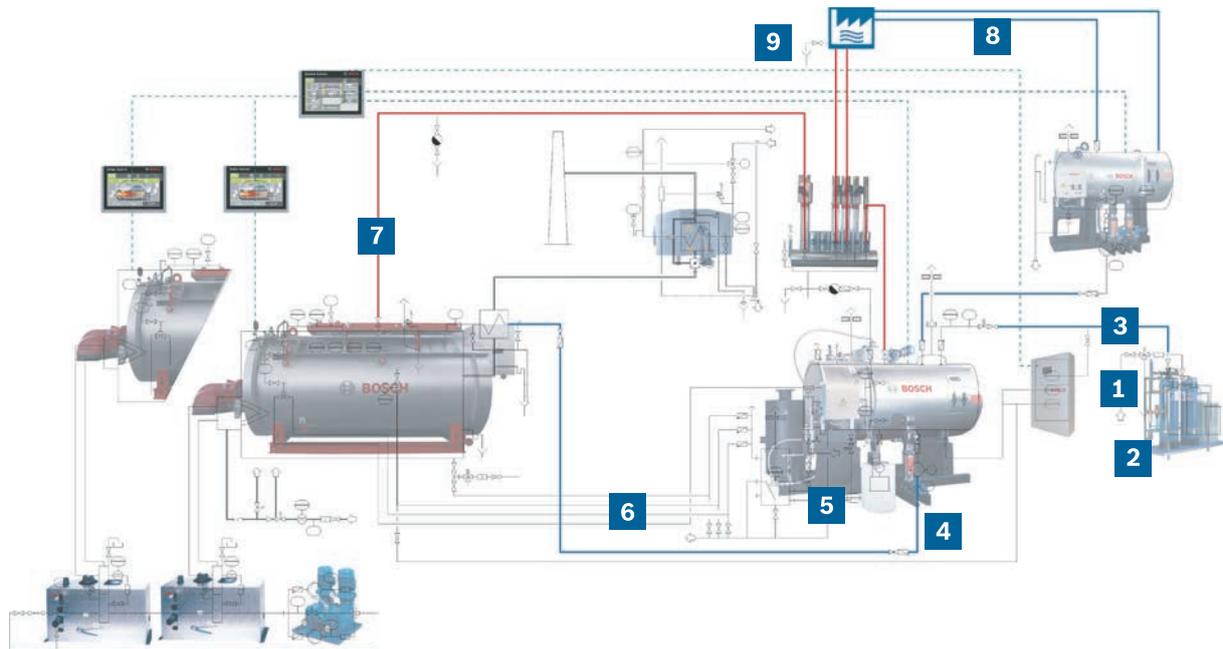


Fig. 88 Exemple d'une chaufferie

- 1** Eau fraîche pour adoucir
- 2** Pertes lors d'adoucissement dues à la régénération
- 3** Eau d'appoint pour la désaération
- 4** Alimentation en eau de la chaudière à vapeur
- 5** Eau de refroidissement pour la cuve de purge inférieure
- 6** Pertes dues à la purge du fond / de la surface
- 7** Vapeur vers les consommateurs
- 8** Condensat
- 9** Pertes chez les consommateurs (par exemple en raison d'une utilisation directe)



4.1 Traitement de l'eau

Un traitement correct de l'eau est l'une des conditions fondamentales les plus importantes pour un fonctionnement sûr et à long terme d'un système de chaudière. Il existe donc des exigences strictes en ce qui concerne la qualité de l'eau des systèmes de chaudières.

Les termes utilisés en relation avec les systèmes de chaudières et leurs synonymes correspondants pour les différents débits d'eau sont expliqués brièvement ci-dessous.

Terme	Explication
Eau fraîche (eau de rame)	Eau non traitée obtenue à partir des sources suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • Système public (eau de ville) • L'eau de puits • L'eau de source Cette eau est introduite pour remplir le système et reconstituer l'eau perdue et est normalement admise à des températures d'environ 10 °C.
Eau adoucie	Eau dont le calcium (Ca^{2+}) et les ions magnésium (Mg^{2+}) ont été retirés à l'aide d'un échangeur d'ions.
Eau partiellement déminéralisée	Eau qui ne contient aucun sel. Il a une conductivité de $< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$ et est normalement obtenu par une combinaison d'échangeurs d'anions et de cations.
Eau partiellement déminéralisée	Eau qui ne contient aucun sel. Il a une conductivité de $< 1 \mu\text{S}/\text{cm}$ et est normalement obtenu par une combinaison d'échangeurs d'anions et de cations.
Eau d'appoint	Eau adoucie, partiellement ou complètement déminéralisée qui est introduite dans le réservoir d'eau d'alimentation pour le dégazage.
Condensat sans oxygène	Condensat qui s'accumule dans des réservoirs fermés à des pressions $> 0,2$ bar.
L'eau d'alimentation	Eau adoucie, dégazée et chimiquement conditionnée qui est envoyée à la chaudière via des pompes d'alimentation.

Tab. 11 Termes des différents débits d'eau avec explications

Les erreurs commises lors du traitement de l'eau, dans l'analyse accompagnant le traitement de l'eau et le contrôle insuffisant de la qualité de l'eau sont toujours les raisons les plus courantes pour lesquelles le fonctionnement est interrompu ou le système de chaudière à vapeur est endommagé.

Pour cette raison, de nombreuses règles et réglementations ont été adoptées au niveau européen qui définissent précisément les exigences en matière de qualité de l'eau d'alimentation et de l'eau de chaudière.

L'EN 12953-10 définit des lignes directrices spécifiques pour l'apparence, la conductivité, la valeur du pH, la dureté globale, la capacité acide et le fer, le cuivre, l'acide silicique, l'huile /la graisse, la concentration de phosphate et d'oxygène. L'eau doit également être exempte de substances organiques.



Ces exigences relatives à l'eau d'alimentation admise dans les chaudières à vapeur et à l'eau de chaudière conduisent à la réduction ou à l'élimination des causes de dommages et de défauts suivantes :

- Corrosion
- Dépôts côté eau
- Moussage de l'eau de chaudière
- Formation de boues

L'eau fraîche doit être traitée pour garantir le respect des valeurs de l'eau et ainsi éviter les dommages dus à une concentration accrue de substances problématiques dans l'eau.

Diverses mesures sont prises pendant le traitement de l'eau, en fonction de la puissance du système de la chaudière, du taux d'accumulation de condensat et des ingrédients dans l'eau fraîche disponible, pour garantir que l'eau est adaptée à une utilisation pendant le fonctionnement de la chaudière.

L'illustration suivante donne un aperçu du contenu de l'eau douce ou du condensat, des dangers qu'ils présentent pour la chaudière à vapeur et le système de chaudière et des mesures de traitement de l'eau correspondantes qui doivent être prises.

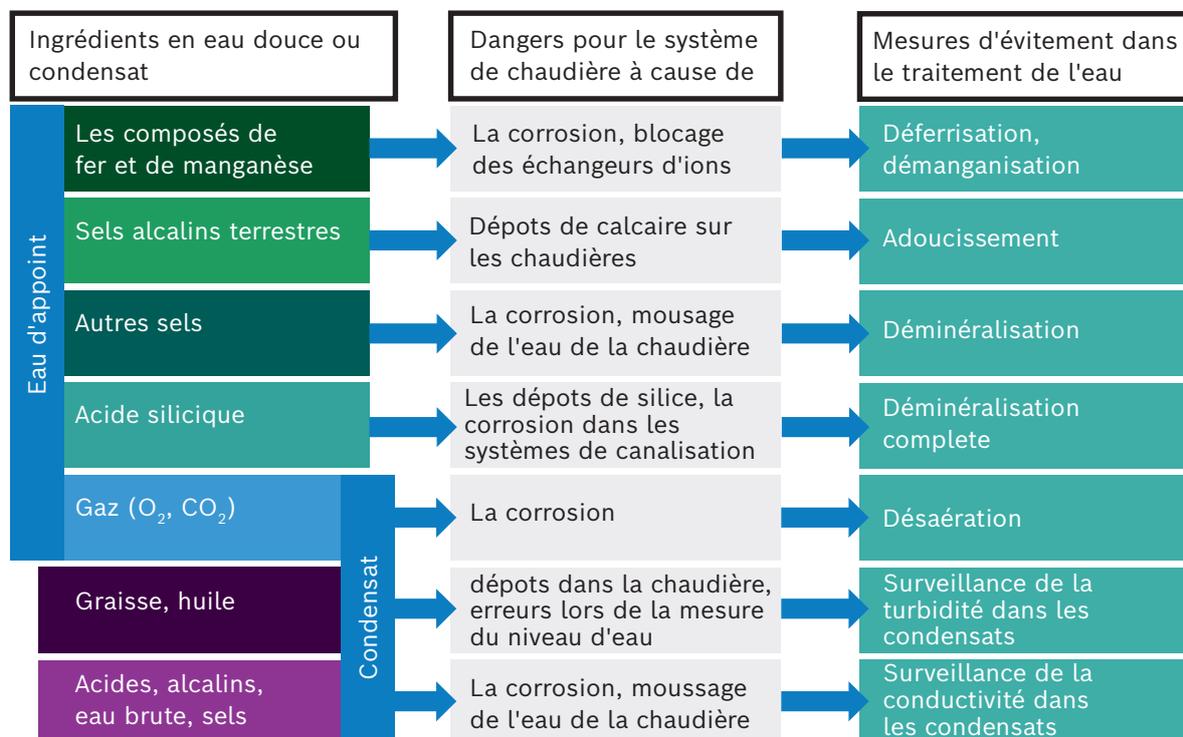


Fig. 89 Ingrédients de l'eau fraîche et du condensat

Le point de départ de la conception d'un système de traitement de l'eau doit toujours être une analyse détaillée de la qualité de l'eau fraîche disponible.



4.1.1 Déferrer et démanganiser

Pendant le déferrage et la démanganisation, le fer (II) (Fe^{2+}) et manganèse (II) (Mn^{2+}) les ions dissous dans l'eau sont initialement oxydés pour former des ions de meilleure qualité. L'oxydation peut être effectuée à l'aide d'oxygène (O_2), d'autres produits chimiques oxydants tels que le permanganate de potassium ($KMnO_4$) ou par catalyse. Les sous-produits résultants sont ensuite filtrés via un granulat filtrant.

4.1.2 Adoucissement

Parmi les substances dissoutes dans l'eau, la dureté est particulièrement nocive pour le fonctionnement d'un système de chaudière. La dureté comprend principalement les ions calcium et magnésium (Ca^{2+} ; Mg^{2+}). Si ces métaux dits alcalino-terreux sont présents dans l'eau d'alimentation, ils peuvent précipiter en raison du chauffage dans la chaudière et former du calcaire qui se dépose comme une couche sur les surfaces de chauffage.



Fig. 90 Formation de couches dans la chaudière avec endommagement du tube de flamme

Si la formation d'une couche ou d'un enrobage n'est pas identifiée au début, cela entraînera une détérioration de l'efficacité car le transfert de chaleur est limité. Si les couches continuent de s'épaissir, cela peut entraîner une surchauffe des surfaces chauffantes et des dommages avec de graves conséquences, ce qui pourrait également signifier une perte totale de la chaudière.

Pour éviter cela, les composants de dureté doivent être retirés de l'eau.

Principe de fonctionnement de l'échangeur d'ions :

Le remplacement des ions est la méthode d'adoucissement de l'eau la plus courante. Cela implique de remplacer les substances formant la dureté, le calcium et le magnésium, par du sodium, qui est inoffensif.

Le remplacement des ions est une méthode d'adoucissement de l'eau simple et efficace qui n'implique que le faible coût d'utilisation d'un sel de régénération spécial.

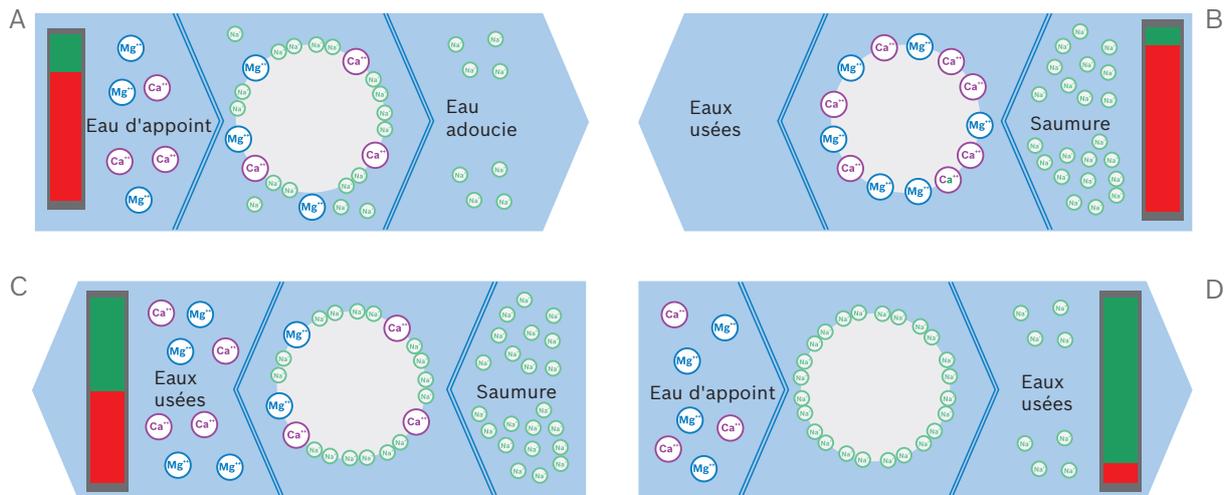


Fig. 91 Principe de fonctionnement d'un échangeur d'ions pour l'adoucissement de l'eau

Condition de fonctionnement A : Adoucissement de l'eau

Une réaction d'équilibrage chimique se produit lors de l'adoucissement de l'eau par échange d'ions. Les ions sodium adhèrent à la résine échangeuse dans le réservoir sous pression. Lorsque l'eau calcifère s'écoule à travers l'adoucisseur d'eau, les ions calcium et magnésium dans l'eau sont liés à la résine d'échange. Les ions sodium sont libérés en échange.

Condition de fonctionnement B : début de la régénération

La résine échangeuse continue d'accepter de nouveaux composants de dureté jusqu'à ce qu'elle soit saturée. La résine échangeuse d'ions doit ensuite être régénérée. Un sel adoucissant spécial est nécessaire pour cela qui se dissout dans l'eau pour former de l'eau salée.

La résine échangeuse est rincée avec l'eau salée pendant la régénération. En raison du surplus de sodium dans l'eau salée, la résine libère à nouveau les ions calcium et magnésium et absorbe les ions sodium.

Condition de fonctionnement C : fin de régénération

La résine se lie principalement aux ions calcium et magnésium, elle ne peut pas être entièrement régénérée. Il est donc recommandé de n'utiliser que des adoucisseurs d'eau à l'eau salée dite économique.

Condition de fonctionnement D : l'adoucissement de l'eau recommence

Une fois le processus de régénération terminé, l'échangeur d'ions est rincé à l'eau et est prêt pour un autre cycle d'adoucissement de l'eau.

Avec des unités d'adoucisseur d'eau plus grandes, il est recommandé d'utiliser des systèmes doubles. Ceux-ci peuvent être exploités en alternance.

→ Fig. 92, page 181

De cette façon, un échangeur d'ions peut produire de l'eau adoucie tandis que l'autre se régénère. Ainsi, il est possible de s'assurer que de l'eau adoucie est toujours disponible.

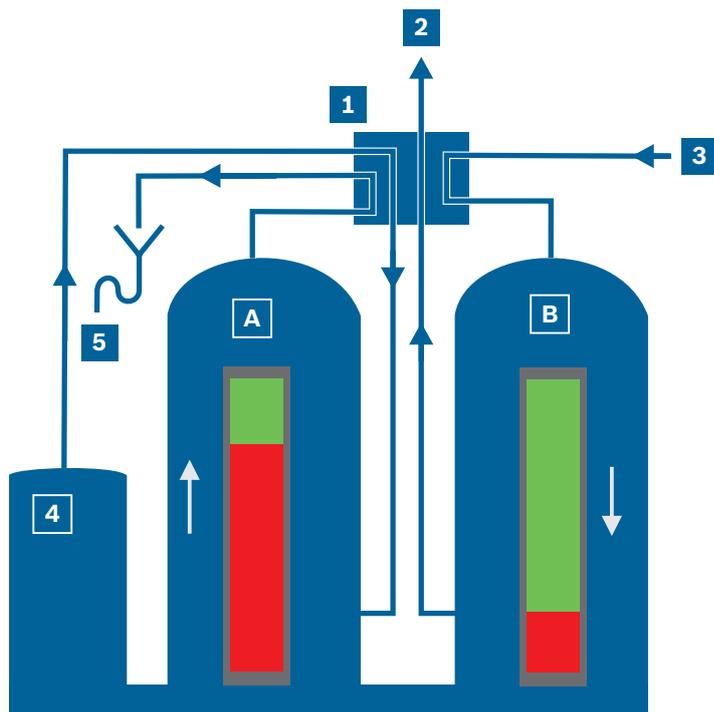


Fig. 92 Schéma et représentation visuelle d'un double adoucisseur d'eau

- A** Condition de fonctionnement A : l'échangeur d'ions est régénéré dans le sens du contre-courant
- B** Condition de fonctionnement B : échangeur d'ions en fonctionnement
- 1** Raccord inverseur : affichage du sens d'écoulement actuel
- 2** Eau d'appoint adoucie
- 3** Eau fraîche
- 4** Récipient pour solution régénérante
- 5** Eaux usées

4.1.3 Déminéralisation

L'eau dans la chaudière s'évapore laissant les sels dissous dans l'eau derrière ce qui signifie que la concentration de sel dans l'eau de chaudière restante augmente. Pour éviter de dépasser la concentration de sel autorisée, le sel doit être retiré en continu, ce qui s'accompagne de pertes d'énergie et d'eau.

Pour réduire le taux de purge en surface, une déminéralisation de l'eau fraîche est recommandée, en particulier avec de faibles taux d'accumulation de condensats < 50% et une conductivité élevée dans l'eau fraîche. La déminéralisation a lieu après adoucissement. Une des méthodes les plus courantes est l'osmose inverse.

Calcul du taux de purge de surface

Le taux de purge de surface requis peut être calculé sur la base de la conductivité mesurée dans la bêche alimentaire ou des paramètres de l'eau d'appoint et du taux de cumul des condensats (la conductivité des condensats est normalement négligeable) :

$$a = \frac{L_{FW}}{L_{boi} - L_{FW}} \approx \frac{L_{MW} \cdot (1 - c)}{L_{boi} - L_{MW} \cdot (1 - c)}$$



F19. Équation de calcul du taux de purge de surface

- a Taux de purge de surface de la quantité d'eau de la bêche alimentaire [%]
- L_{FW} Conductivité dans la bêche alimentaire [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- L_{MW} Conductivité dans l'eau d'appoint [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- L_{boi} Conductivité admissible de l'eau de la chaudière [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
- c Taux d'accumulation du condensat

En plus de la conductivité, le taux de purge de surface est déterminé par d'autres paramètres de l'eau tels que la teneur en acide silicique SiO_2 ou la dureté (carbonate) avec la valeur limite 8,2. Dans ce cas, la plus grande valeur calculée est toujours déterminante pour le taux de purge de surface réel.

Ces paramètres peuvent être calculés de la même manière que la formule ci-dessus pour la conductivité :

	Unité	Conductivité	SiO_2	Capacité acide 8,2
Quantité de vapeur	[kg/h]	10 000	10 000	10 000
Taux de purge de surface (en fonction de la quantité de vapeur)¹⁾	[%]	3,27	2,56	3,00
Proportion de condensat c	[%]	50	50	50
Proportion d'eau douce	[%]	50	50	50
Valeur en eau douce	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	380	7,5 [mg/l]	0,7 [mmol/l]
Limite, eau de la chaudière	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	6 000	150 [mg/l]	12 [mmol/l]
Valeur dans la bêche alimentaire	[$\mu\text{S}/\text{cm}$]	190	3,75	0,35
Quantité de purge de surface	[kg/h]	327	256	300
Quantité dans la bêche alimentaire	[kg/h]	10 327	10 256	10 300

Tab. 12 Calcul du taux de purge de surface

1) Le taux de purge de surface est déterminé par la plus grande valeur. Dans cet exemple, la valeur de la conductivité 3,27%.



Osmose inverse

L'osmose inverse est basée sur le principe que la résistance à la diffusion des pores des membranes de séparation est significativement plus faible pour les petites molécules d'eau que la résistance des plus gros ions dissous dans l'eau. Si le système est en équilibre, la pression côté concentré (rétentat) est supérieure à la pression côté eau pure (perméat). Ceci est également appelé pression osmotique et ressort d'une différence de hauteur.

La déminéralisation de l'eau pour les opérations techniques est réalisée à l'aide de membranes artificielles grâce auxquelles le processus d'osmose naturelle est inversé par une charge de pression côté concentré. Les sels dissous ainsi que les substances organiques sont plus ou moins complètement retenus au cours de ce processus.

→ Fig. 93, page 183, [B]

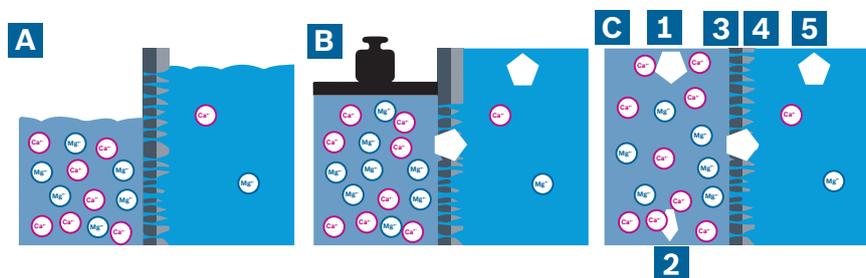


Fig. 93 Visualisation de la pression osmotique (A), de l'osmose inverse par chargement de pression côté concentré (B) et du processus d'osmose inverse continu (C)

- A** Illustration de la pression osmotique
- B** Osmose inverse par pression de charge côté concentré
- C** Processus d'osmose inverse continu
- 1** Eau fraîche
- 2** Retentat
- 3** Membrane semipermeable
- 4** Couche porteuse
- 5** Perméat

Processus de séparation	Filtration par crépine	Filtration fine	Filtration des particules	Micro filtration	Ultra filtration (UF)	Nano filtration (NF)	Osmose Inverse (RO)
Limites de séparation	> 500 µm	5 – 500 µm	1 – 10 µm	0,1 – 1 µm	0,01 – 0,1 µm	0,001 – 0,01 µm	< 0,001µm
substances séparables	Grains, Sable, Fibres	Plus grandes particules, algae	Petite particules, germs, bacteria, virus	Micro-particules, germs, bacteria, virus	Virus et des substances moléculaires	Substances de faible poid moléculaire et substances humiques	Ions
Procédure dans la technologie de l'eau	cyclones, cyclones, sédimentation, clarification	Filtre du tissu, Filtre du tissu	Multi-couche Filtre rapide, membrane, de filtration (MF)	Multi-couche Filter lent,, membrane filtration (MF)	Membrane de filtration (UF)	Membrane de filtration (NF)	Osmose inverse (RO)
Limites de séparation	> 1 mm	500 µm	10 µm	1 µm	100 nm	10 nm	1 nm

Tab. 13 Aperçu général des limites de séparation et des méthodes de séparation dans le traitement de l'eau

L'eau pure générée est disponible en permanence et le condensat qui s'accumule peut être introduit dans le système d'égout sans traitement supplémentaire.

La condition préalable à l'utilisation d'un système d'osmose inverse est que l'eau soit préalablement adoucie. L'eau doit également être claire et exempte de matières étrangères insolubles et il est particulièrement important qu'elle soit également exempte de contaminants organiques pour éviter de bloquer les membranes.

L'eau adoucie est admise dans les modules équipés d'une membrane à pression < 40 bar. De l'eau fine et une très faible proportion de petits ions de sel diffusent à travers la membrane et forment le perméat (latin : permeare = retenir), qui est alors disponible sous forme d'eau partiellement déminéralisée. La proportion de perméat dans l'eau filtrée est de 80 à 95%. Le reste (5 à 20%) du volume d'eau d'origine est le concentré salé, également appelé rétentat (latin : retinere = retenir), qui est rejeté.

Le processus d'osmose inverse a lieu alors que le système fonctionne en continu, est pratiquement exempt de produits chimiques et élimine environ 98% des sels de sorte que la conductivité du perméat est inférieure à 15 µS /cm. Le système est surveillé tout au long de ce processus pour s'assurer qu'il fonctionne correctement en mesurant la conductivité dans le perméat.

Afin de maintenir les systèmes qui effectuent l'osmose inverse aussi petits que possible, un récipient de collecte de perméat est recommandé. Celui-ci alimente ensuite le dégazeur du réservoir d'eau d'alimentation.

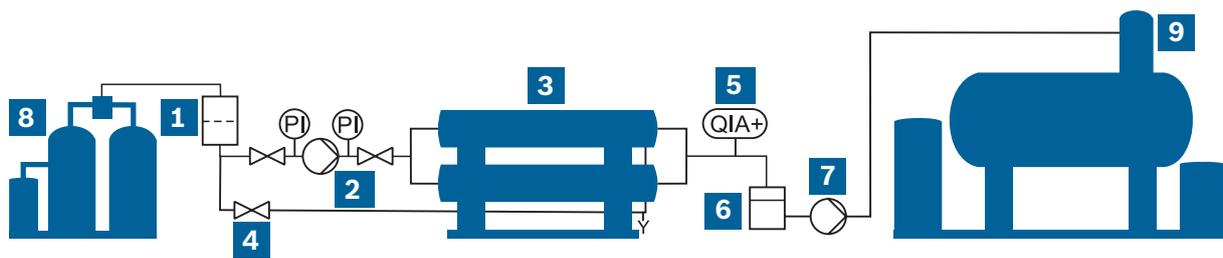


Fig. 94 Représentation schématique de traitement d'eau par osmose inverse avec récipient perméable

- | | |
|---|--|
| 1 Filtre | 6 Récipient de perméat |
| 2 Pompe à haute pression | 7 Pompe à perméat |
| 3 Module d'osmose inverse | 8 Module de traitement de l'eau WSM |
| 4 Bypass | 9 Module de traitement de l'eau WSM-V |
| 5 Surveillance de la conductivité (QIA+) | |

Déminéralisation complète

La déminéralisation complète de l'eau avec une conductivité $< 0,2 \mu\text{S} / \text{cm}$ est obtenue par un échange ionique complet avec un percolateur à CO_2 , à condition qu'un filtre à lit mixte soit également installé en aval de l'échangeur d'anions. Les échangeurs de cations et d'anions sont combinés dans le filtre. Pour optimiser le processus de déminéralisation complet et réduire la consommation d'agent de régénération, des échangeurs d'anions faiblement acides et alcalins faibles sont installés en amont des échangeurs fortement acides ou fortement alcalins. L'eau complètement déminéralisée est également appelée eau déminéralisée.

4.1.4 Désaération thermique

Les composants corrosifs de l'eau d'alimentation ou du condensat peuvent endommager le réservoir d'eau d'alimentation, la chaudière, l'économiseur ou la tuyauterie. Cela est principalement dû à l'oxydation ou à la corrosion par l'acide carbonique.

L'oxydation provoque la formation de trous d'épingle à divers endroits dans le matériau de base. Avec le temps, le matériau s'érode plus profondément. « La corrosion par piqûres », un schéma typique de dommages, apparaît.



Fig. 95 Dommages dus à l'oxydation dans la chaudière et sur la tuyauterie

D'autre part, le signe extérieur de corrosion par l'acide carbonique (corrosion par le CO_2) est presque toujours une érosion de surface relativement uniforme du matériau. La désaération thermique est un moyen efficace de maintenir en permanence les niveaux d'oxygène et de dioxyde de carbone dans l'eau d'alimentation en dessous de la plage nocive.

Cette méthode utilise le fait que les gaz deviennent moins solubles dans l'eau à mesure que sa température augmente. Leur solubilité tombe pratiquement à zéro à $100 \text{ }^\circ\text{C}$.

Les valeurs sont basées sur l'équilibre de la solubilité. Afin de réaliser réellement le dégazage, il doit y avoir un échange actif entre les gaz dissous dans l'eau et l'espace de vapeur du réservoir d'eau d'alimentation qui est réalisé en utilisant des dégazeurs à goutte ou à pulvérisation. Ici, une grande limite de phase est générée pour faciliter le transport rapide du matériau dans la phase gazeuse.

De plus, l'eau doit rester dans le récipient pendant un certain temps afin de chasser les gaz restants.

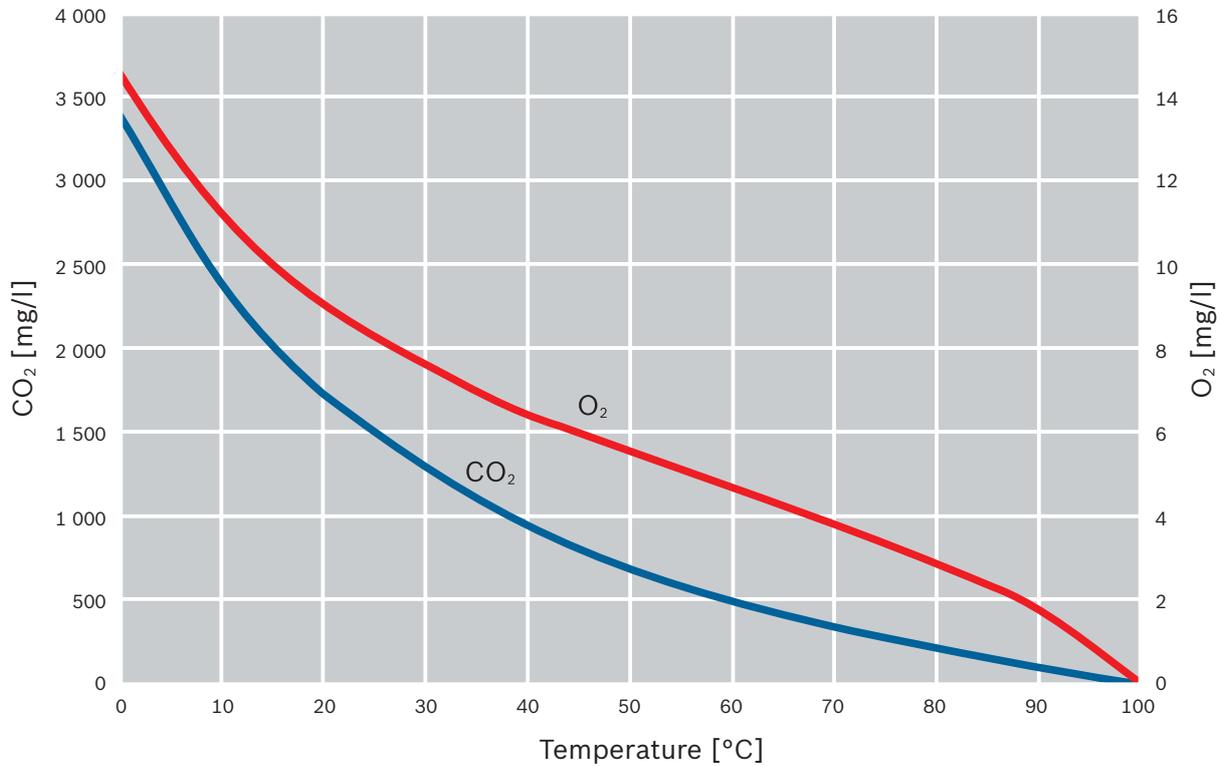


Fig. 96 Solubilité de l'oxygène et du dioxyde de carbone dans l'eau



Fig. 97 Un module de service d'eau, composé d'un réservoir d'eau d'alimentation avec dégazeur à ruissellement, de modules de pompes d'alimentation, d'un vase d'expansion de purge, de réservoirs de dosage et d'une armoire de commande correspondante



Le condensat d'eau douce ou d'oxygène est introduit par le haut dans le dôme du désaérateur et finement distribué, soit par des buses de pulvérisation, soit par des gouttières. Il est chauffé jusqu'à la température d'ébullition par la vapeur de chauffage qui s'écoule à travers le désaérateur dans le sens à contre-courant de bas en haut. Les gaz libérés pendant l'échauffement sont évacués avec les vapeurs d'échappement nécessaires à l'extrémité supérieure du dôme de désaération.

La majorité de la chaleur contenue dans les vapeurs d'échappement peut être transférée à l'eau d'appoint via un échangeur de chaleur à vapeur d'échappement (VC) et est donc retenue par le système de vapeur.

→ Efficacité – Chapitre 3.3 : Déminéralisation, page 282

→ Efficacité – Chapitre 4.8 : Refroidisseur de vapeurs VC, page 352

Désaération complète

Une désaération complète se produit lorsque la teneur maximale en oxygène de 0,02 mg O₂/l et la teneur maximale en CO₂ de 1 mg CO₂/l peuvent être maintenues de manière fiable à des pressions de fonctionnement de 0,1 à 0,3 bar et donc à des températures supérieures à 100 °C.

Les liaisons chimiques de l'oxygène ne sont utilisés que dans une mesure très limitée dans ce cas pour garantir que l'eau d'alimentation ne contient aucun oxygène.

	Spray deaerator	Trickle deaerator
Les coûts d'investissement	++ Très compact	– Le dôme dégazant s'étend vers le haut
Les coûts d'investissement	+ Légèrement plus bas	– Légèrement supérieur
Les conditions de fonctionnement s'écartent des conditions de conception (flux de condensats)	– Charge partielle à peine possible	++ Très bon comportement en charge partielle
Utilisation du contrôle continu de l'eau d'appoint 1¹⁾	– Charge partielle à peine possible	++ Très bon comportement en charge partielle

Tab. 14 Comparaison entre le désaérateur à pulvérisation et le désaérateur à gouttière

1) Recommandé pour la récupération de chaleur avec de l'eau d'appoint

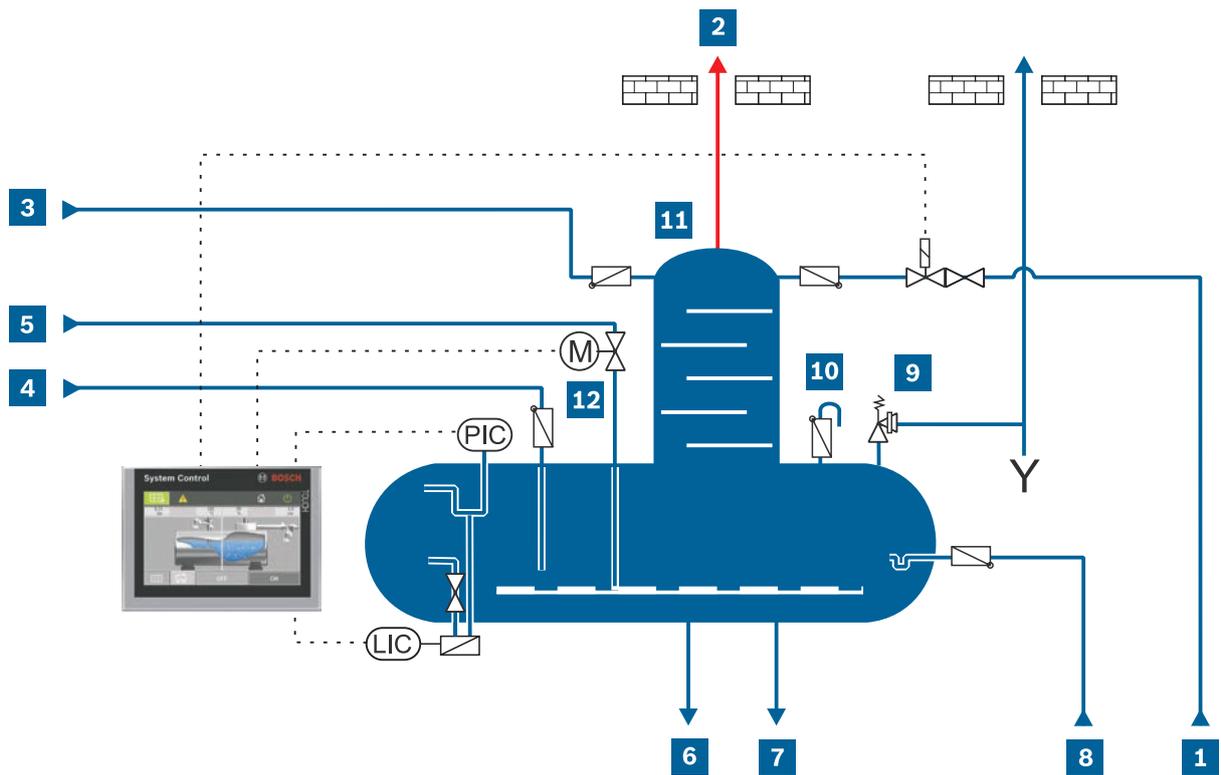


Fig. 98 Organigramme de la tuyauterie et de l'instrumentation pour une désaération complète avec dégazeur à goutte

LIC Transmetteur de niveau
PIC Transmetteur de pression

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Eau d'appoint | 7 Drainer |
| 2 Vapeur d'échappement | 8 Doseur |
| 3 Condensat oxygéné | 9 Soupape de sécurité |
| 4 Condensat sans oxygène | 10 Vanne anti-aspiration |
| 5 Vapeur surchauffée | 11 Désaérateur à goutte |
| 6 Eau d'alimentation | 12 Vanne de régulation de vapeur surchauffée |

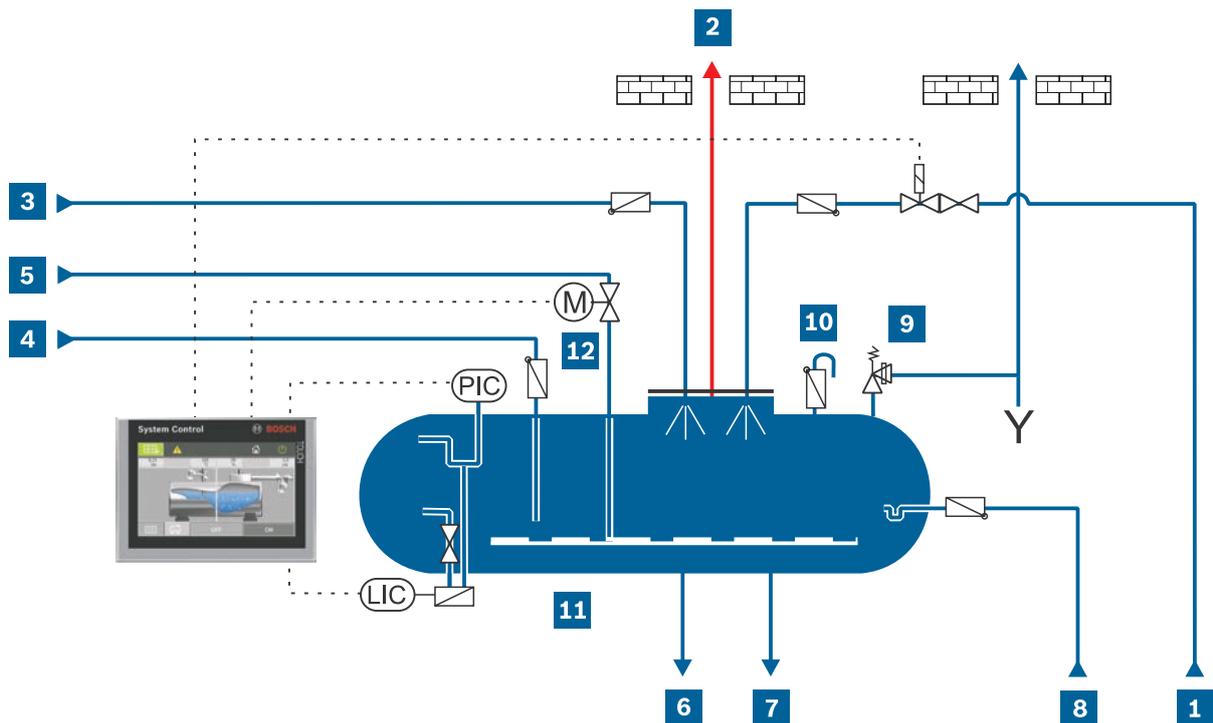


Fig. 99 Organigramme de la tuyauterie et de l'instrumentation pour une désaération complète avec désaérateur à pulvérisation

LIC Transmetteur de niveau
PIC Transmetteur de pression

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1 Eau d'appoint | 7 Drainer |
| 2 Vapeur d'échappement | 8 Doseur |
| 3 Condensat oxygéné | 9 Soupape de sécurité |
| 4 Condensat sans oxygène | 10 Vanne anti-vide |
| 5 Eau d'alimentation | 11 Désaérateur à pulvérisation |
| 6 Eau d'alimentation | 12 Vanne de régulation de vapeur surchauffée |

Désaération partielle

Si la désaération n'a lieu qu'à environ 90 °C, on parle de désaération partielle car une quantité résiduelle des gaz liés peut encore rester dans l'eau. Dans ce cas, l'utilisation de liants chimiques à oxygène doit être intensifiée afin de lier avant tout chimiquement l'oxygène restant dans l'eau d'alimentation pour éviter la corrosion dans la chaudière et le reste du système de vapeur.

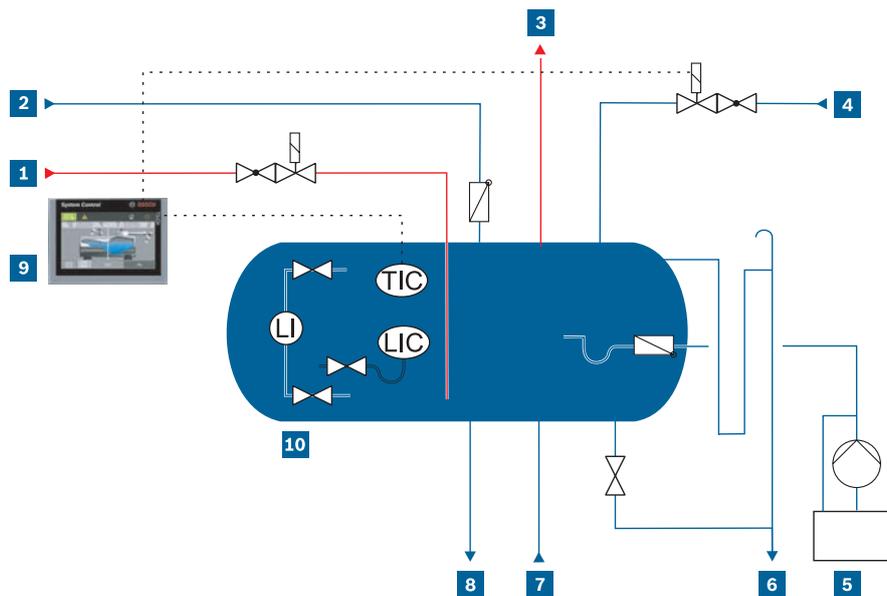


Fig. 100 Alimentation en eau - désaération partielle

LI Indicateur de niveau
LIC Régulateur de niveau
TIC Contrôleur de température

- | | |
|---|--|
| 1 Tuyau de vapeur surchauffée | 6 Ligne de vidange et débordement |
| 2 Conduite d'alimentation des condensats | 7 Dérivation de la pompe d'alimentation |
| 3 Tuyau de vapeur d'échappement | 8 Conduite d'eau d'alimentation |
| 4 Eau d'appoint | 9 Système de contrôle |
| 5 Doseur chimique | 10 Récipient d'eau d'alimentation |

4.1.5 Dosage chimique

Pour être absolument sûr que les qualités d'eau requises sont atteintes et contrôlées, un traitement supplémentaire doit être effectué pour améliorer les caractéristiques spécifiques de l'eau d'alimentation et de l'eau de la chaudière.

Ce dosage chimique permet d'assurer les éléments suivants :

- Liaison de l'oxygène résiduel
- Réduction de la corrosion en réglant la valeur du pH
- Stabilisation de la dureté résiduelle
- Prévention des dépôts et de la formation de calcaire

Cela implique l'ajout d'agents de dosage dans le récipient d'eau d'alimentation de sorte qu'un temps de réaction suffisant d'environ 30 minutes soit atteint.

Le sulfite de sodium est normalement utilisé comme agent piègeur d'oxygène et le phosphate de trinatium est utilisé pour lier la dureté résiduelle et augmenter la valeur du pH.

→ Rapport technique FB026 : traitement et analyse modernes de l'eau

4.2 Évacuation de l'eau

Les conditions d'introduction des eaux usées dans le réseau d'égouts public sont normalement définies par les autorités locales. En Allemagne, le pH des eaux usées se situe normalement entre 6,5 et 10 et elles sont normalement introduites dans le réseau d'égouts à une température de 35 °C.

4.2.1 Eaux usées chaudes

Les eaux usées sous pression chaude de la chaudière pendant la purge par le bas et la purge en surface doivent être refroidies avant d'être introduites dans le système d'égout. Cela a lieu dans un récipient dit de purge inférieure dans lequel les eaux usées chaudes sont admises via deux connecteurs (un connecteur pour les eaux usées au-dessus et en dessous de 100 °C respectivement). La vapeur d'expansion s'accumule dans le récipient qui est évacuée par le toit dans l'atmosphère. Les eaux usées restantes sont refroidies à la température admissible à laquelle elles peuvent être introduites dans le réseau d'égouts en ajoutant de l'eau froide.



Fig. 101 Module d'expansion et de refroidissement par purge BEM

- 1 Tuyau de vapeur d'expansion à travers le toit
- 2 Capteur de mesure de température
- 3 Connexion pour l'eau de refroidissement (incl. Vanne de régulation de température)
- 4 Sortie pour drainage
- 5 Raccord pour eaux usées < 100 °C
- 6 Vidange à l'égout
- 7 Raccord pour eaux usées > 100 °C

Comme les eaux usées transportent une grande quantité d'énergie qui peut être utilisée à des températures d'environ 100 °C, l'utilisation d'un module de récupération de chaleur doit être envisagée, notamment en raison de la faible durée d'amortissement.

→ Efficacité – Chapitre 3.1 : Purge de surface et purge de fond, page 277

4.2.2 Évacuation de l'eau - Condensat des fumées

Le condensat des fumées se forme de temps en temps lors du démarrage du système de chaudière à l'état froid et en continu pendant l'utilisation du pouvoir calorifique avec un échangeur de chaleur à condensation. Ce condensat est acide (valeur $\text{pH} < 4$) et, pour respecter les conditions d'introduction des eaux usées dans le réseau d'égout public, doit être neutralisé avant d'être rejeté dans l'égout.

En fonction de la quantité de condensat, des systèmes contenant des granules ou des liquides de neutralisation sont utilisés à cet effet.



Fig. 102 Neutralisateurs de condensats de fumées gauche : système à base de granulés, droite : système à base de liquide)

4.3 Traitement, distribution et stockage de vapeur

4.3.1 vapeur séchée

La qualité de vapeur est déterminée par la quantité d'humidité résiduelle dans le flux de vapeur. Il est avantageux que la teneur en eau soit aussi faible que possible. Les sécheurs de vapeur peuvent séparer les petites gouttelettes d'eau entraînées dans la vapeur. Cela élimine également les sels ou la contamination qu'ils contiennent de la vapeur.

À cet effet, une plaque de déflecteur de vapeur est déjà installée sur le connecteur d'alimentation en vapeur des chaudières à vapeur. La déviation du flux de vapeur sépare les gouttelettes d'eau qui retombent dans la chambre à eau. Cela réduit déjà la teneur en humidité résiduelle à 1 - 3% en fonctionnement normal. C'est suffisant pour la plupart des applications.

Une réduction supplémentaire de l'humidité de la vapeur n'est nécessaire que si les fluctuations de charge côté consommateur sont très rapides ou si un module de surchauffage est utilisé. Un antibuée équipé d'un grillage métallique spécial peut être utilisé à cet effet et est également situé sous le connecteur d'alimentation en vapeur. L'humidité résiduelle peut alors être réduite à environ 0,1%.



Fig. 103 Un antibuée, tel qu'il est installé dans la chaudière à vapeur sous l'alimentation en vapeur

En raison des pertes de chaleur dans le tuyau de vapeur, l'humidité de la vapeur le long de la tuyauterie augmente, c'est pourquoi un sécheur à vapeur peut être utilisé directement en amont des consommateurs de vapeur, en particulier lors de l'utilisation de vapeur à des fins de séchage. Dans les sécheurs de vapeur, la vapeur humide est admise tangentiellement dans le sécheur et les forces centrifuges poussent les gouttelettes plus lourdes vers l'extérieur contre la paroi où elles sont séparées. La vapeur est ensuite déviée de 180° dans la partie inférieure où les plus petites gouttelettes d'eau sont séparées, puis s'écoule avec une teneur en humidité résiduelle < 0,5%.

4.3.2 Réduction de la pression de vapeur

Une réduction de la pression de vapeur peut se produire pour plusieurs raisons :

- Pour compenser les fluctuations de pression dans la chaudière à vapeur, ce qui garantit un niveau de pression extrêmement constant pour les consommateurs de vapeur
- Séparer le contrôle de sortie de la chaudière des variations de charge soudaines chez le consommateur
- Les consommateurs ont besoin de différents niveaux de pression
- La pression positive maximale admissible des consommateurs est inférieure à celle de la chaudière à vapeur

La pression de vapeur est réduite en utilisant des stations dites de réduction de pression qui sont motorisées, pneumatiquement ou à commande à fluide. Les stations de réduction à commande à fluide ne nécessitent ni énergie auxiliaire ni composants électriques, mais leur qualité de contrôle est parfois inférieure à celle des vannes commandées par moteur ou à commande pneumatique.

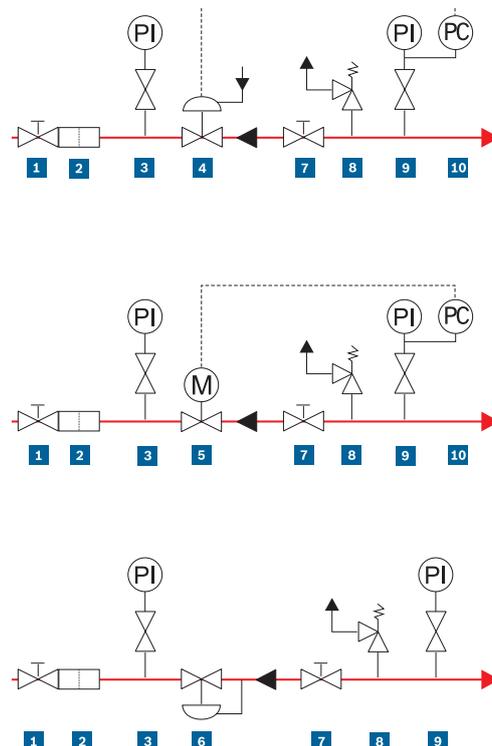


Fig. 104 Station de réduction de la pression de vapeur (pneumatique. Moteur ou commandé par fluide)

- | | |
|--|--|
| 1 Vanne d'arrêt (côté pression primaire) | 6 Vanne de régulation (à régulation à fluide) |
| 2 Piège à saleté | 7 Vanne d'arrêt (côté pression secondaire) |
| 3 Indicateur de pression (côté pression primaire) | 8 Soupape de sécurité |
| 4 Vanne de commande (à commande pneumatique) | 9 Indicateur de pression |
| 5 Vanne de commande (commandée par moteur) | 10 Transmetteur de pression |

4.3.3 Distribution de vapeur

Les distributeurs de vapeur sont utilisés pour combiner la vapeur générée par une ou plusieurs chaudières dans un emplacement central (normalement la chaufferie) puis la répartir entre les différents consommateurs du local d'exploitation, ainsi que le chauffage de l'eau d'alimentation.

La vapeur est également séchée, c'est-à-dire que la teneur en humidité résiduelle est réduite, en raison de la déviation de 180 ° de la vapeur entre le générateur et le consommateur. La pression au niveau du distributeur de vapeur est également normalement mesurée dans le but de contrôler la séquence de chaudière sous pression contrôlée.

Avantages :

- Combinaison de la vapeur des générateurs de vapeur
- Répartition parmi les consommateurs
- Contrôle du contrôle de séquence de la chaudière
- Séchage à la vapeur et déshydratation

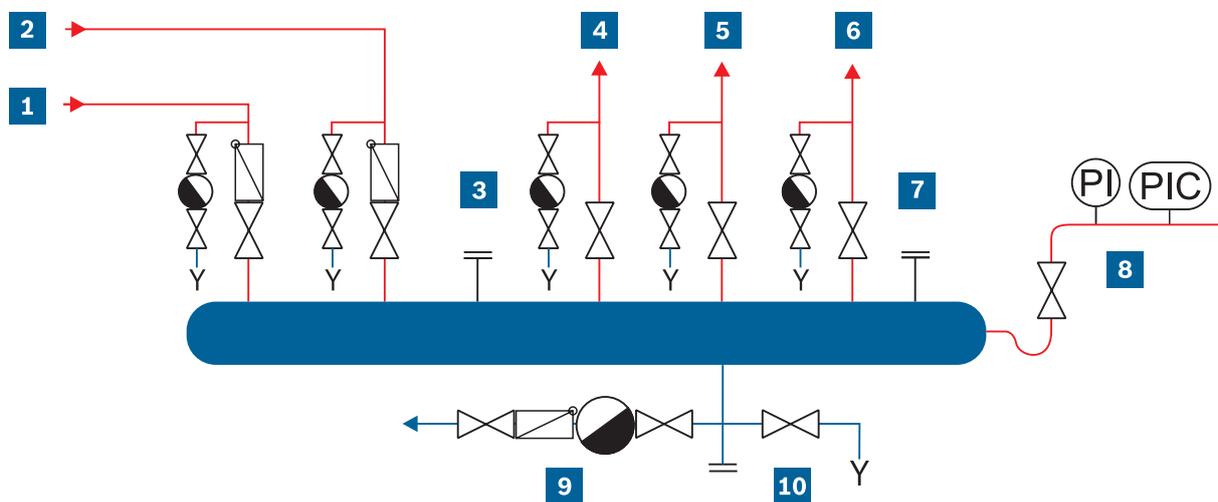


Fig. 105 Représentation schématique d'un distributeur de vapeur

- | | |
|--|--|
| 1 Alimentation du tuyau de vapeur de la chaudière 1 | 6 Ligne de vapeur sortante pour alimenter la désaération de l'eau |
| 2 Alimentation du tuyau de vapeur de la chaudière 2 | 7 Connecteur de réserve pour un consommateur supplémentaire |
| 3 Connecteur de réserve pour une chaudière supplémentaire | 8 Tube de manostat avec indicateur de pression (PI) et transmetteur de pression (PIC) |
| 4 Ligne de vapeur sortante vers le consommateur 1 | 9 Conduite de condensat vers le réservoir de condensat |
| 5 Ligne de vapeur sortante vers le consommateur 2 | 10 Drainer |

4.3.4 Stockage de vapeur

Le but de l'accumulateur de vapeur est de stocker une quantité limitée d'énergie qui est disponible sous forme de vapeur d'expansion lorsque la pression est réduite.



L'accumulateur de vapeur a le domaine d'application suivant :

- Fournit une couverture de charge maximale lorsque la capacité des générateurs de vapeur installés est brièvement dépassée (par exemple lors de démarrage des processus des consommateurs, avec des autoclaves, quelques grands processus par lots)
- Amortissement des fluctuations de charge rapides des consommateurs avec de fortes demande cycliques de vapeur (par exemple avec de courts pics de consommation de vapeur récurrents, de nombreux petits processus par lots))



Fig. 106 Affichage d'un module accumulateur de vapeur

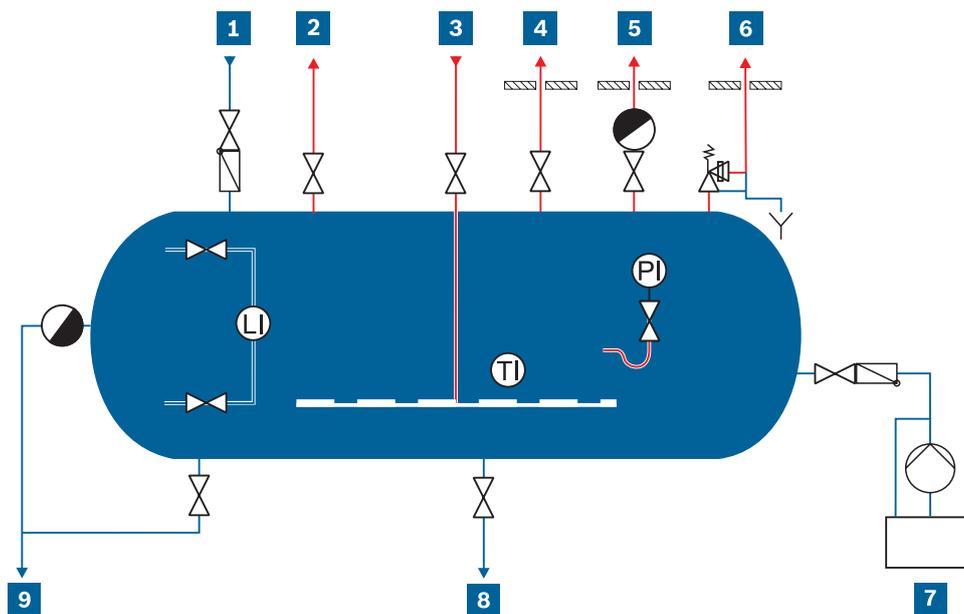


Fig. 107 Représentation schématique de la tuyauterie, module accumulateur de vapeur SAM

- LI** Indicateur de niveau
PI Indicateur de pression
TI Indicateur de température

- | | |
|--|--|
| 1 Ligne d'alimentation | 6 Ligne d'évacuation de la pression |
| 2 Tuyau à vapeur pour les consommateurs | 7 Dosage chimique |
| 3 Tuyau de vapeur surchauffée | 8 Ligne d'échantillonnage de l'eau |
| 4 Ligne de démarrage | 9 Vidange et débordement |
| 5 Ligne de ventilation | |

Lorsqu'il est utilisé correctement, un accumulateur de vapeur présente les avantages suivants :

Pour la chaudière :

- Fluctuation réduite de la pression de la chaudière. Cela réduit les contraintes mécaniques et augmente la durée de vie de la chaudière
- Fréquence de commutation inférieure du système de combustion. Cela réduit les pertes de pré-ventilation et augmente la durée de vie de la chaudière.

Pour les consommateurs :

- Couvre particulièrement les pics de charge élevés. La chaudière à vapeur peut donc être plus petite
- Moins d'entraînement de l'eau. Cela conduit à une amélioration de la qualité de la vapeur

L'accumulateur de vapeur est un récipient à paroi épaisse spécialement conçu pour faire face aux fortes contraintes de changement de pression. Comme pour les chaudières à vapeur, elle est également soumise à des tests de pression réguliers par l'organisme notifié agréé.

L'accumulateur de vapeur est rempli à 50% de sa capacité avec de l'eau bouillante et est chauffé jusqu'à la pression de charge avec de la vapeur provenant de la chaudière.

L'accumulateur est déchargé en ouvrant les vannes d'arrêt côté consommateur. Cela réduit la pression dans l'accumulateur. En raison de la réduction de la pression, une partie de l'eau bouillante s'évapore en produisant ce que l'on appelle la vapeur d'expansion. Plus la teneur en eau de l'accumulateur est grande et plus la réduction de pression est importante, plus la vapeur sera produite.

→ Technologie – Chapitre 1.1.7 : Vapeur d'expansion, page 106

Lors du réchauffement, la même quantité de vapeur est fournie à l'accumulateur qui avait été précédemment retiré. Il n'est donc normalement pas nécessaire de fournir de l'eau d'alimentation supplémentaire à l'accumulateur de vapeur pendant le fonctionnement.

La faisabilité de l'utilisation d'un accumulateur de vapeur peut être étudiée lors de l'étude et conception de nouveaux systèmes de chaudière et également comme mesure de modernisation pour améliorer les processus existants. Lors de l'utilisation d'accumulateurs à vapeur, une attention particulière doit être accordée à l'intégration globale dans le système de vapeur, de la chaudière à vapeur au consommateur, car le seul moyen de profiter pleinement des avantages est d'assurer une interaction optimale de tous les composants. La figure suivante montre quels paramètres de processus et de système sont déterminants pour l'accumulateur de vapeur.

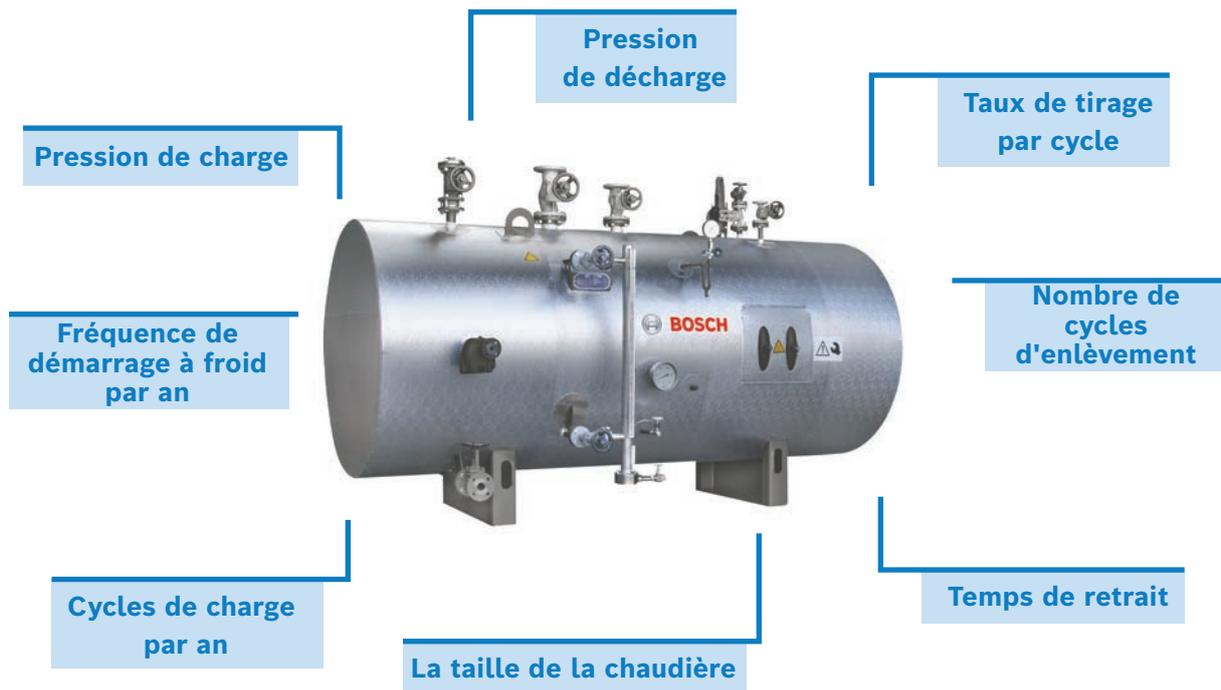


Fig. 108 Paramètres d'influence dans l'étude et conception et le dimensionnement d'un accumulateur de vapeur

Dépassement de la puissance installée du générateur de vapeur (exemple 1)	Amortissement d'une demande cyclique de vapeur (exemple 2)
<ul style="list-style-type: none"> • Chaudière 9 000 kg/h 	<ul style="list-style-type: none"> • Chaudière 9 000 kg/h
<ul style="list-style-type: none"> • Pic de consommation 15 000 kg/h, environ 350 kg au total sur une période de 260 s 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation maximale de 11 500 kg/h, soit environ 28 kg au total par pic sur une période de 51 s, répétée toutes les 92 s
<ul style="list-style-type: none"> • 20 m³ accumulateur de vapeur rempli à 65% d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • 5 m³ accumulateur de vapeur rempli à 50% d'eau
<ul style="list-style-type: none"> • Une teneur en humidité résiduelle dans la vapeur jusqu'à 5% est autorisée 	<ul style="list-style-type: none"> • Teneur en humidité résiduelle dans la vapeur < 2%
<ul style="list-style-type: none"> • Accumulateur chargé après 700 s 	<p>–</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Accumulateur pression de charge 13 bar et décharge s 9,3 bar 	<ul style="list-style-type: none"> • Pression de charge de l'accumulateur 12 bar et décharge s 10,5 bar
Calcul simplifié et idéalisé	Calcul simplifié et idéalisé

Tab. 15 Exemples d'applications d'un accumulateur de vapeur

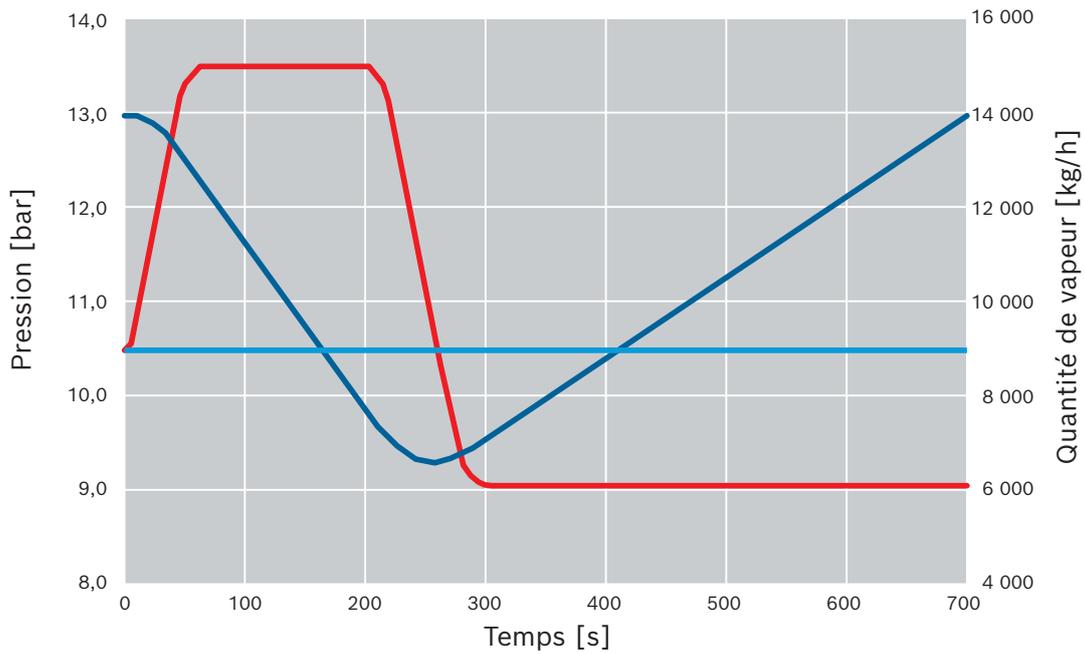


Fig. 109 Progression de la pression dans un accumulateur de vapeur (exemple 1)

- Pression dans l'accumulateur de vapeur
- Vapeur évacuée par le(s) consommateur(s)
- Sortie de vapeur de la chaudière

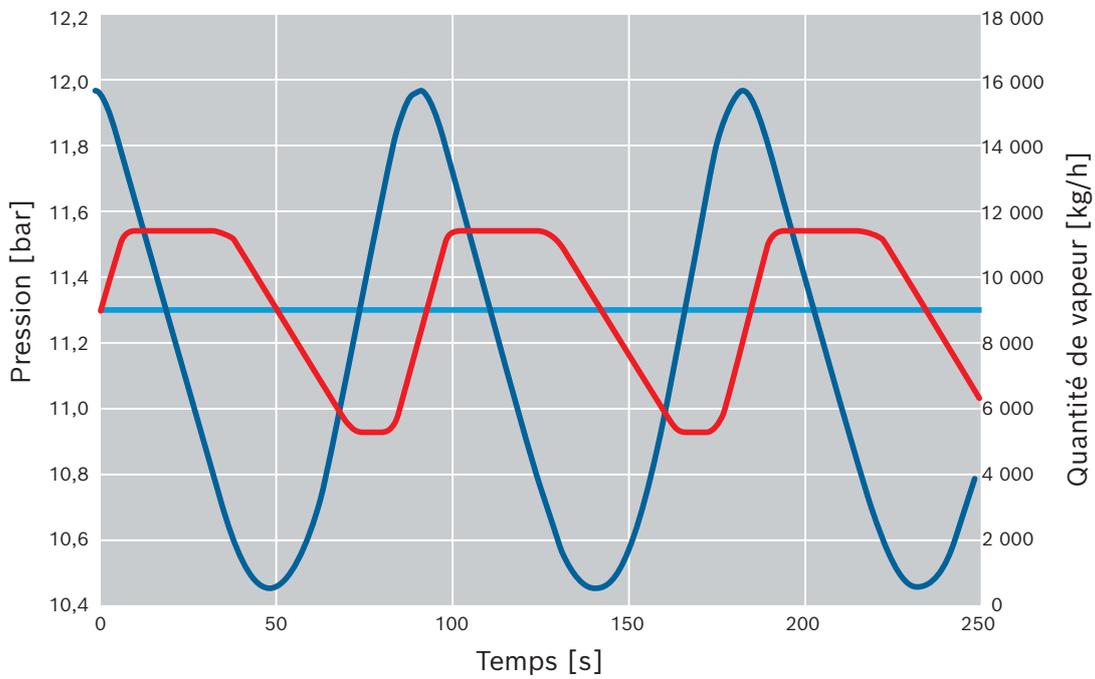


Fig. 110 Progression de la pression dans un accumulateur de vapeur exemple 2)

- Pression dans l'accumulateur de vapeur
- Vapeur évacuée par le(s) consommateur(s)
- Sortie de vapeur de la chaudière



4.4 Management de condensat

Partout où de la vapeur est utilisée pour le chauffage indirect dans les échangeurs de chaleur, du condensat se forme également et doit, dans la mesure du possible, être renvoyé au circuit de la chaudière à vapeur ou utilisé à d'autres fins.

La réutilisation du condensat accumulé est l'une des mesures clés qui peuvent être prises pour assurer un fonctionnement rentable et économe en énergie d'un système de chaudière.

Le condensat a deux caractéristiques qui le rendent particulièrement précieux :

- **Hautes températures**

Le condensat en aval de l'échangeur de chaleur n'est normalement que légèrement sous-refroidi, c'est-à-dire qu'il est à une température élevée. En recirculant le condensat, ce contenu énergétique reste dans le système et ne doit pas être dépensé à nouveau.

- **Eau traitée**

Le condensat est déjà traité sans eau de dureté avec une faible conductivité. Le retour des condensats dans le circuit vapeur économise donc de l'eau d'appoint. Cela signifie que moins d'adoucissement ou de déminéralisation de l'eau est nécessaire, ce qui réduit la quantité d'énergie et de produits chimiques utilisés et ces systèmes de traitement peuvent être plus petits dès le départ.

Le condensat peut être réutilisé de différentes manières :

- **Comme eau d'alimentation de chaudière préchauffée :**

En le renvoyant dans le réservoir d'eau d'alimentation via des tuyaux et des réservoirs de condensat ou en l'introduisant directement dans la chaudière.

- **Comme eau chaude**

Pour chauffer des procédés à basse température, par ex. pour le nettoyage.

- **Comme vapeur**

En utilisant la vapeur de détente dans un réseau de vapeur secondaire à basse pression pour les consommateurs nécessitant des températures plus basses.

Avant de pouvoir réutiliser le condensat, il faut d'abord vérifier sa contamination et le collecter dans un réservoir. Cela peut être fait dans un système de collecte des condensats ouvert ou fermé.

→ Technologie – Chapitre 4.5 : Surveillance de la qualité de l'eau, page 203

Les différences entre les deux systèmes sont mises en évidence dans le tableau suivant :

	Système ouvert Condensat basse pression	Systeme fermé Condensat haute pression
Container type	Récepteur basse pression(0,5 - 1 bar) connecté à l'atmosphère via une conduite de ventilation	Récepteur haute pression Pression dans le récepteur maintenue par la vapeur de chauffage ou le régulateur de débordement
Oxygène dans les condensats	Condensats oxygéné	Condensats non-oxygéné
Température des condensats au retour	≤ 100 °C	> 100 °C
Recirculation	Via le réservoir d'eau d'alimentation	Pompes d'alimentation haute température
Transport des condensats	Pompes à condensats	Non requis
Nuages de vapeur	Possible (surtout avec une température de condensation élevée des consommateurs)	Aucun
System integration	Simple	Plus complexe
Coûts d'investissement	Faible	Plus important
Économie d'énergie	Acier inoxydable	Grande
Matériel de tuyauterie	Acier inoxydable	Acier
Utilisation de condensat	Eau d'alimentation de chaudière	Eau d'alimentation de chaudière
Utilisation de vapeur d'expansion	Principalement inutilisé Dans l'échangeur de chaleur à vapeur d'échappement pour le préchauffage de l'eau d'appoint ou de traitement	Dans le réseau de vapeur basse pression Pour le chauffage du réservoir d'eau d'alimentation

Tab. 16 Comparaison de différents systèmes de collecte de condensats

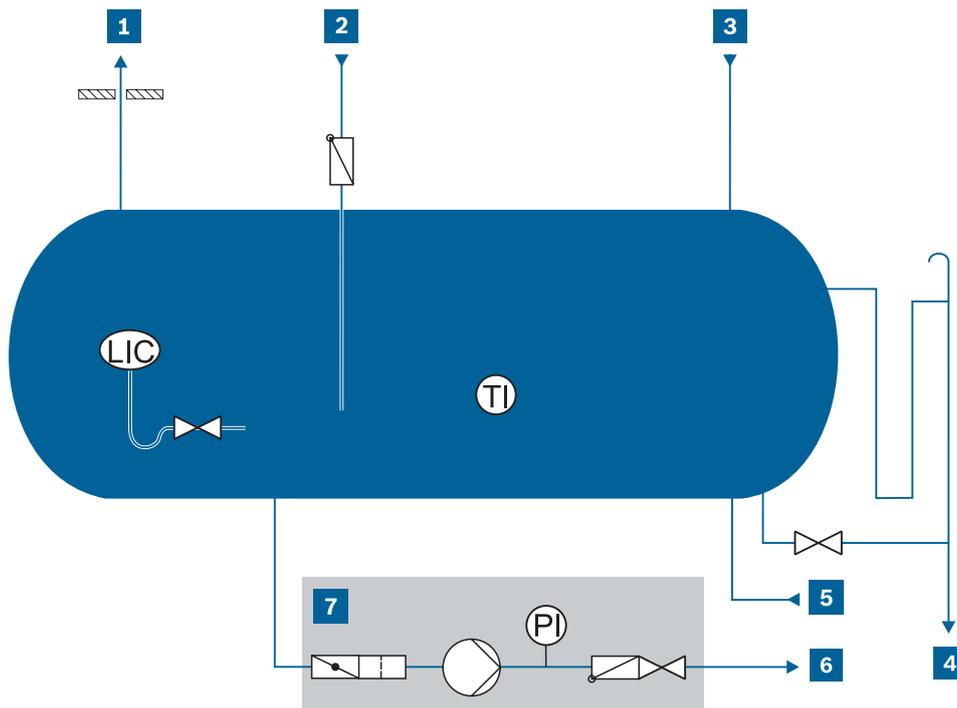


Fig. 111 Schéma de principe du réservoir de condensat - basse pression

LIC Régulateur de niveau
TI Indicateur de température
PI Indicateur de pression

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 Ligne d'évent | 5 Tuyau de dérivation de pompe |
| 2 Conduite de condensat menant directement au module d'alimentation en eau | 6 Ligne vers la chaudière |
| 3 Conduite de condensat, sans pression | 7 Module de pompe à condensats |
| 4 Vidange et débordement | |

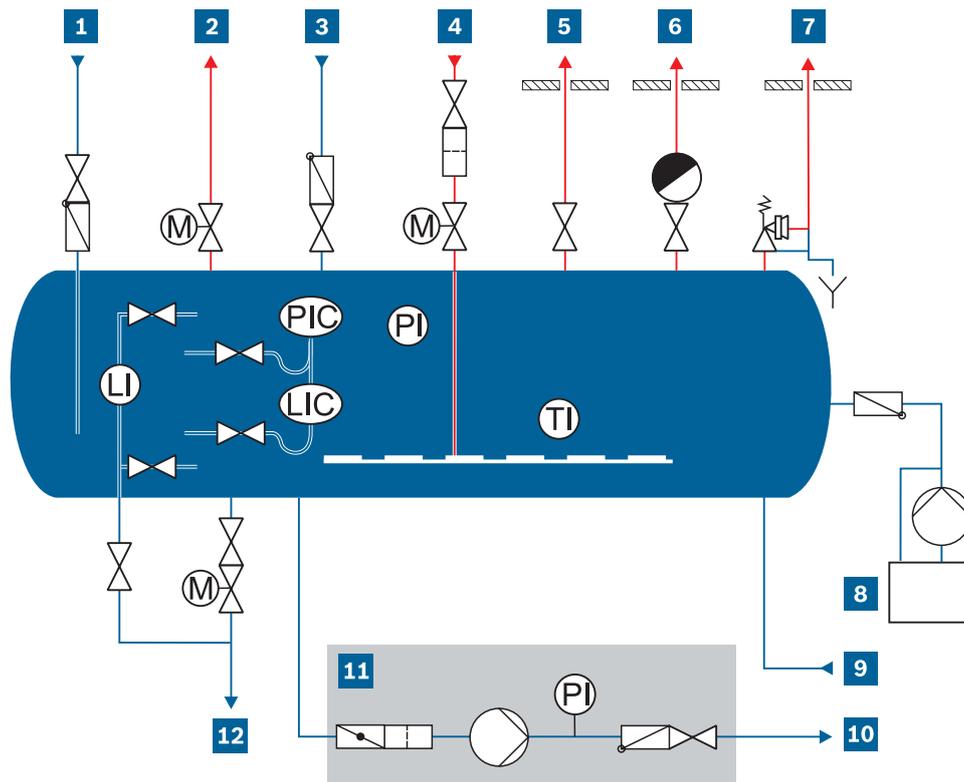


Fig. 112 Schéma de principe du réservoir de condensat - haute pression

LI Indicateur de niveau
LIC Régulateur de niveau
M Moteur
PI Indicateur de pression
PIC Régulateur de pression

- | | |
|---|---|
| 1 Conduite d'alimentation en condensats haute pression | 7 Ligne d'évacuation de la pression |
| 2 Ligne de refoulement de vapeur | 8 Dosage chimique |
| 3 Ligne d'alimentation en eau d'appoint | 9 Tuyau de dérivation de pompe |
| 4 Tuyau de vapeur surchauffée | 10 Ligne vers la chaudière |
| 5 Ligne de démarrage | 11 Module de pompe à condensats haute pression |
| 6 Ligne de ventilation | 12 Ligne de drain |



4.5 Surveillance de la qualité de l'eau

La qualité de l'eau est un facteur critique pour un fonctionnement sans problème et en toute sécurité d'un système de chaudière à vapeur. Il doit être surveillé dans les domaines suivants :

- Chaudière
- L'eau d'alimentation
- Eau d'appoint
- Condensat

C'est pourquoi des contrôles continus en cours de fabrication et des inspections périodiques de la qualité de l'eau à différents points du système sont effectués :

- Dans la chaudière (via l'analyse du pH, de la conductivité et de l'oxygène)
- Dans l'eau d'alimentation (via l'analyse du pH, de la conductivité et de l'oxygène)
- Dans l'eau d'appoint (via l'analyse de l'acide silicique et l'analyse continue de la dureté)

→ Technologie – Chapitre 2.2 : Équipement et contrôle, page 121

4.5.1 Condensat

Lors de la recirculation du condensat, il y a un risque de condensation qui est contaminée à la suite de l'entrée de produit dans l'échangeur de chaleur entrant dans la chaudière à vapeur. Cela peut causer des dommages considérables qui peuvent être évités en surveillant la qualité de l'eau. Ce faisant, une distinction est faite entre les substances :

- qui affectent la conductivité électrique du condensat et sont contrôlés via des électrodes de conductivité
- qui provoquent une opacité ou une réfraction de la lumière qui est surveillée à l'aide de ce que l'on appelle un turbidimètre

4.5.2 Surveillance de la conductivité

L'invasion de matières étrangères dans le système de condensation qui augmente la conductivité peut être détectée rapidement et de manière fiable et signalée par un système de surveillance de la conductivité (par exemple, alcalins, acides, eau douce, eau de bains bouillants). Les mesures nécessaires sont automatiquement introduites. Ces systèmes fonctionnent avec une compensation de température automatique pour garantir que les fluctuations de température n'entraînent pas de messages d'erreur.

Ils sont utilisés dans les systèmes de chaudières à vapeur, par ex. pour surveiller les condensats ou l'eau d'alimentation.

Si la conductivité dans le condensat d'environ 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est dépassée, le condensat doit être immédiatement jeté (par exemple via une vanne à trois voies). Cela exclut la possibilité de contamination de l'eau d'alimentation, et par la suite également de la chaudière à vapeur, avant qu'elle n'entre dans le réservoir d'eau d'alimentation. Le fonctionnement de la chaudière lui-même ne doit donc pas être interrompu et le dépannage dans le système de condensation ou les échangeurs de chaleur peut être effectué sans pression de temps. Cependant, il convient de noter que le capteur de conductivité détecte tous les flux de condensats.

4.5.3 Surveillance de la dureté résiduelle

L'eau adoucie est surveillée par un dispositif de surveillance de la dureté résiduelle. Mauvaise régénération ou le dépassement de l'adoucisseur d'eau pourrait entraîner une invasion de dureté dans les composants du système en aval. Pour éviter cela, la dureté résiduelle est surveillée en continu ou par intermittence. Si la limite de 0,01 mmol/l est dépassée pendant une certaine période, un affichage de défaut apparaît automatiquement afin de protéger les composants du système en aval.

4.5.4 Surveillance de la turbidité

S'il existe également un risque que de l'huile, de la graisse ou d'autres émulsions pénètrent dans le système de condensation, un système de surveillance de la turbidité doit être installé en plus d'un système de surveillance de la conductivité. La teneur en particules des matières étrangères est surveillée en continu à l'aide de méthodes de mesure optiques. Dans la mesure du possible, celui-ci doit être installé en amont du réservoir de condensat car la vapeur fraîche ou la réévaporation peut affecter la mesure. Si la valeur définie est dépassée, il est également judicieux d'éliminer le condensat dans ce cas jusqu'à ce que la turbidité redescende en dessous de la valeur définie.

4.5.5 Analyse continue de l'eau



Fig. 113 Analyseur d'eau WA

Le bon fonctionnement de la chaudière dépend de la bonne qualité de l'eau. Le dispositif d'analyse de l'eau mesure et surveille en continu les paramètres suivants :

- pH dans l'eau de la chaudière
- Valeur pH, teneur en oxygène et la conductivité dans l'eau d'alimentation de la chaudière
- pH et conductivité de la teneur en eau du condensat ou de l'accumulateur de vapeur

Toutes les données sont transférées au système de contrôle SCO via le système de bus. Tous les paramètres d'eau pertinents, ainsi que la conductivité de l'eau de la chaudière et les conductivités des différents débits de condensats, sont donc disponibles dans le système de contrôle SCO . Les tâches de contrôle basées sur la demande peuvent être effectuées de manière entièrement automatique.

Lorsque les limites définies sont dépassées, tous les paramètres sont transférés dans la mémoire de défauts du système de contrôle SCO de la commande de l'installation. Les données peuvent également



être enregistrées en continu. Celui-ci peut être transféré via le système de bus à un système de commande de niveau supérieur pour un traitement ultérieur.

Les fonctions de l'analyseur d'eau sont :

- Activation continue du système de dosage pour le liant d'oxygène
- Activation en continu du système de dosage pour l'alcalinisation
- Activation de la vane de vapeur d'échappement avec affichage de l'énergie économisée de la vapeur d'échappement [kWh]

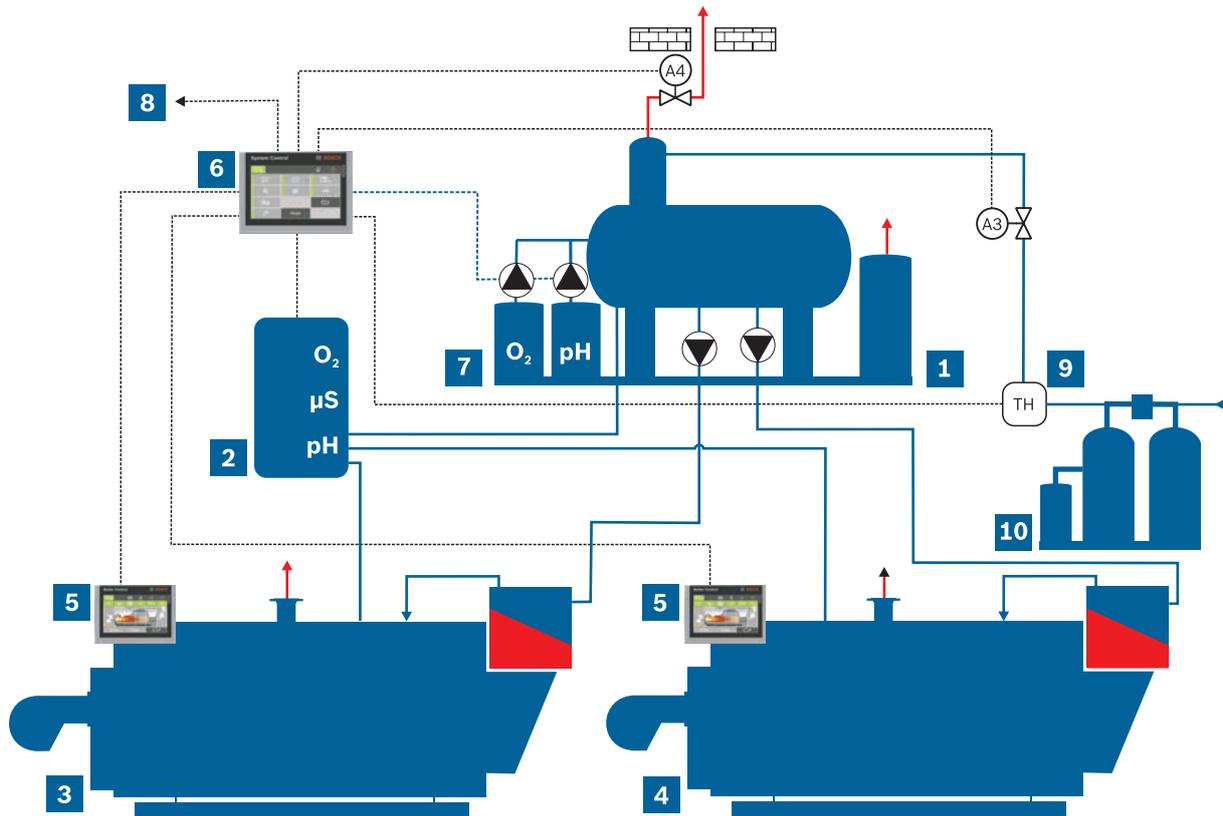


Fig. 114 Représentation schématique du principe de fonctionnement du traitement de l'eau

- | | |
|--|---|
| 1 Module de service d'eau WSM-V | 6 Système de contrôle SCO |
| 2 Analyseur d'eau WA | 7 Dosage chimique |
| 3 Chaudière à vapeur 1 | 8 Système d'automatisation |
| 4 Chaudière à vapeur 2 | 9 Le softcontrol TH |
| 5 Contrôleur chaudière BCO | 10 Module de traitement de l'eau |

→ Produits – Chapitre 4.15 : Analyseur d'eau WA, page 359

4.6 Système de contrôle SCO

Système de contrôle SCO pour le contrôle du système de chaudière

La commande du système SCO combine les commandes des chaudières à vapeur et/ou des chaudières à eau chaude ainsi que les contrôleurs de modules individuels dans un système de gestion de niveau supérieur et ouvre un large éventail de nouvelles possibilités. Les BCO de commande de la chaudière individuelle, toutes les commandes supplémentaires et le SCO communiquent via un système de bus haute performance. Cela supprime le besoin de travaux de câblage complexes et d'isolement des signaux. La connexion à des systèmes de visualisation et d'automatisation de niveau supérieur peut être établie via divers protocoles de système d'automatisation, par ex. Profibus, Modbus TCP/IP et BACnet. En option, le système peut être surveillé à distance via MEC Remote.

Construction

Contrôle logique programmable hautes performances avec interface opérateur comme écran de couleur TFT avec écran tactile.

Equipment

- Contrôle séquentiel des systèmes multi-chaudières
- Intégration de l'analyse de l'eau
- Intégration de systèmes de désaération
- Intégration de systèmes de condensats
- Intégration de systèmes de surveillance des matières étrangères
- Intégration de systèmes d'approvisionnement en fioul
- Bande de commandes de pression et de température extrêmement large
- Contrôle de la pompe de réserve avec commutation automatique pour plusieurs chaudières

Aperçu des avantages

- Interface simple avec des systèmes de visualisation et d'automatisation de niveau supérieur
- Fonctions de surveillance et de sécurité intégrées pour éviter les dysfonctionnements
- Stockage complet des paramètres de fonctionnement et des messages d'état du système
- Interfaçage avec MEC Remote possible : les paramètres de fonctionnement et les messages d'état du système sont accessibles via un routeur VPN en option
- Fonctionnement intuitif à l'aide de symboles graphiques et de représentations sur les écrans tactiles

→ Produits – Chapitre 6.4 : MEC Optimize, page 374



Fig. 115 SCO de contrôle du système multi-composants - exemple d'affichage

Contrôle de l'eau de l'OMD pour le contrôle du module de service d'eau

Cette commande particulièrement économique pour le module de service d'eau offre toutes les fonctions de commande de base pour les systèmes de désaération totale ou partielle.

Construction

Le contrôleur logique programmable est équipé d'un texte convivial et d'un affichage graphique et de touches de commande. Il est intégré dans une armoire de commande et monté en permanence sur le module de service d'eau complet avec câblage aux capteurs et actionneurs.

Équipement, fonctions standard :

- Contrôle de la pression ou de la température du système de désaération
- Contrôle du niveau du système de désaération (en plusieurs étapes ou en continu, y compris la protection contre l'ébullition et la fonction d'eau élevée)
- Affichage des courbes de valeurs mesurées (pression ou température, niveau)

Équipement, en option

- Contrôle de la température du module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM
- Surveillance de la pression de pulvérisation pour les systèmes de dégazage à pulvérisation
- Indicateur de température du réservoir d'eau d'alimentation
- Activation de la vanne de vapeur d'échappement pour éviter les pertes de vapeur d'échappement en mode en veille

Avantages en un coup d'oeil

- Rapport qualité-prix attractif pour le contrôle du module de service d'eau complet
- Fonctionnement convivial via affichage texte et graphique avec touches de commande
- Transfert de données via Ethernet ou Profibus DP

Master Energy Control MEC Remote pour la maintenance à distance

Le système de télémaintenance Bosch MEC Remote (Master Energy Control) remplace l'ancien téléservice pour les chaudières industrielles. Cela a permis à Bosch Industrial Service d'accéder directement aux systèmes de chaudières.

Le nouveau MEC Remote permet désormais aux opérateurs de surveiller à distance leur système de manière pratique et fiable à l'aide de terminaux standard prêts pour Internet.

MEC Remote est donc la solution idéale pour les entreprises :

- lorsque les superviseurs et le personnel concerné ne peuvent pas être sur place en permanence
- avec des systèmes multi-chaudières soumis à une surveillance obligatoire
- avec service de veille le week-end

Les commandes de chaudière Bosch sont compatibles avec les systèmes d'automatisation disponibles dans le commerce. MEC Remote peut également être utilisé avec des systèmes sans interface de système d'automatisation.

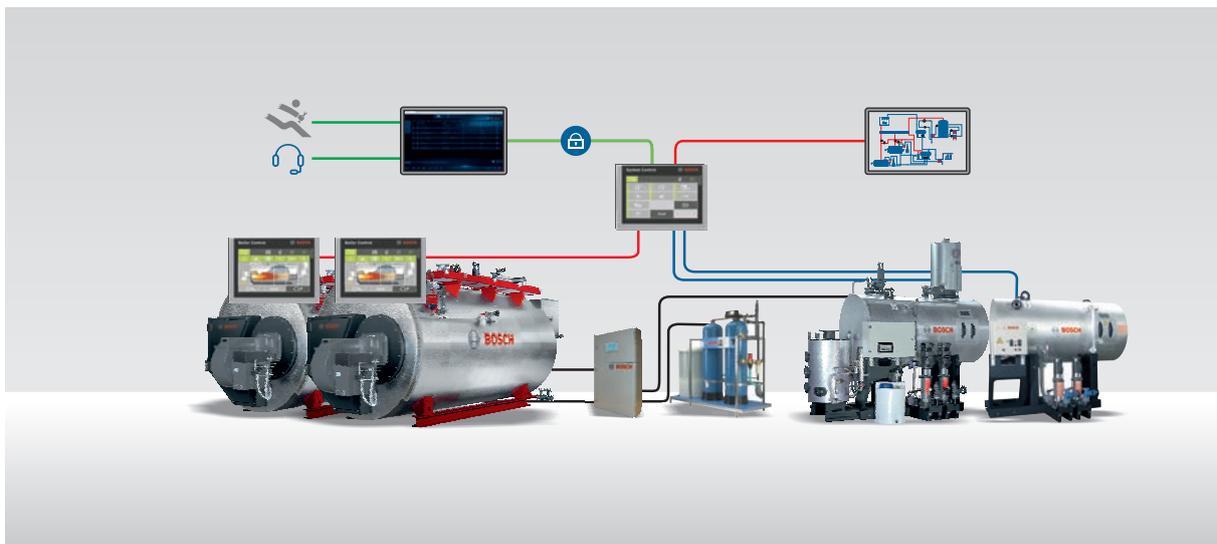


Fig. 116 MEC Remote - accès à distance pour la maintenance et la visualisation des données de système

Grâce à une carte générale, plusieurs systèmes dans le monde peuvent également être surveillés en même temps. En combinaison avec MEC Optimize, l'opérateur peut, sur demande, être automatiquement informé des anomalies et des défauts sous la forme d'un court message sur son téléphone portable ou par e-mail. Cela réduit considérablement l'effort de supervision pour les systèmes ayant des exigences de fiabilité élevées (par exemple pendant un fonctionnement continu).

→ Brochure sur les commandes et la connectivité



Un autre avantage pour les opérateurs est le support à distance en option qui est disponible auprès de Bosch Industrial Service. Les experts Bosch peuvent effectuer des réglages de paramètres avancés, la programmation (PLC) et le dépannage directement via le système de maintenance à distance. Lorsque les composants tombent en panne, les experts du service peuvent analyser et réduire la cause à distance, puis se déplacer avec le bon équipement jusqu'à l'emplacement d'exploitation. Cela peut réduire au minimum les temps d'arrêt et les coûts de maintenance de la chaudière.

L'une des exigences les plus importantes pour la connexion à distance est une sécurité maximale. Ceci est assuré par le concept de rôle ingénier qui contrôle les droits d'accès et les interventions de contrôle autorisées. L'accès à distance lui-même a un concept de sécurité à plusieurs niveaux. La connexion de données externe peut être activée ou désactivée dans la chaufferie côté matériel via une clé.

En plus de se connecter avec un nom d'utilisateur et un mot de passe via un transfert de données crypté (https), une procédure mobile TAN est utilisée. Comme pour la banque en ligne, les données d'accès sont envoyées sur le téléphone portable de l'opérateur. Au lieu d'être stockées dans un Cloud, les données de fonctionnement de la chaudière industrielle sont stockées localement sur le système. Les concepts de sécurité pour MEC Remote ont été conçus par ESCRYPT GmbH. Un audit de sécurité régulier est effectué par Cirosec GmbH.



Fig. 117 Armoires de commande SCO et système MEG



0.5 MPa - 20°C
DEMINODA 171 (GHCIUBRUCI)

BOS

5 Périphériques

5.1 Tuyauterie

Lors de l'installation de systèmes de tuyauterie, les termes diamètre nominal (DN) et pression nominale (PN) sont utilisés pour identifier les caractéristiques de la tuyauterie dans le but de définir des pièces compatibles, par ex. raccords à bride. Le diamètre nominal et la pression nominale sont normalisés en fonction de l'incrément géométrique.

Lors du dimensionnement de la tuyauterie, c'est-à-dire la définition du diamètre nominal et de la pression nominale pour la tuyauterie et les vannes, un équilibre doit toujours être trouvé entre les exigences techniques, telles que le maintien de la perte de pression ou de la chaleur aussi faible que possible, et les coûts d'investissement et d'exploitation associés. L'équilibre de coûts global optimal entre les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation qui se dégage est différent pour chaque tuyau et système. En raison des caractéristiques de la courbe dans la plage minimale des coûts totaux, deux diamètres nominaux se situent souvent dans la plage optimale.

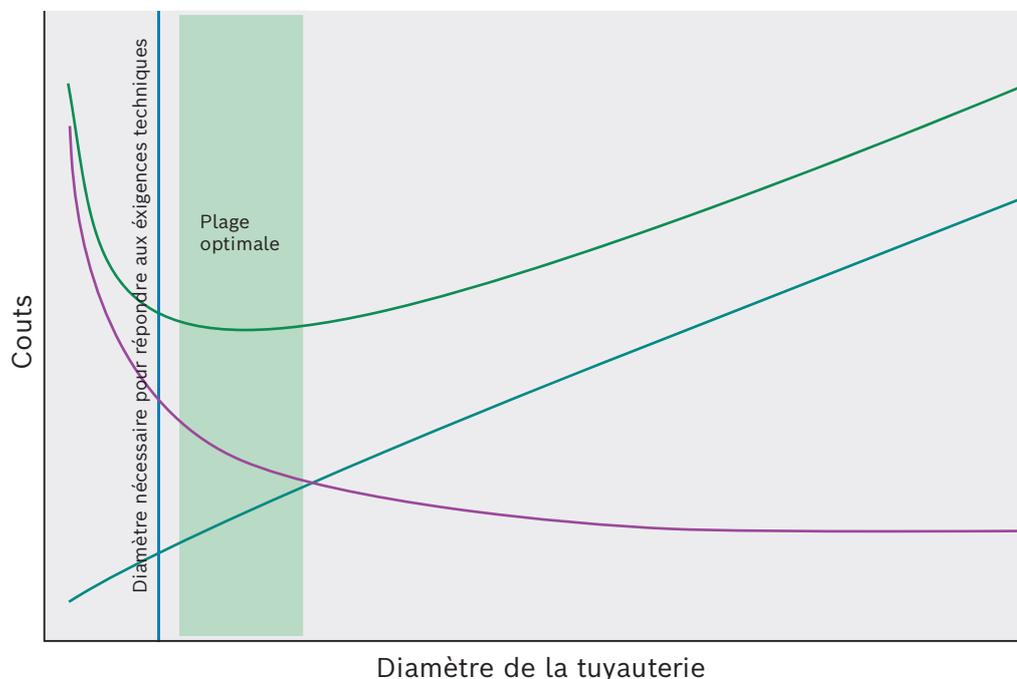


Fig. 118 Exemple de tendance schématisée des coûts pour le dimensionnement de la tuyauterie

- Coûts totaux
- Coûts d'exploitation
- Coûts d'investissement

Les étapes suivantes doivent être respectées lors de la conception de la tuyauterie :

- Définir le diamètre nominal
- Définir la pression nominale
- Sélection du matériau
- Définir les portées
- Tenez compte de la dilatation thermique
- Tenir compte des caractéristiques particulières du support lors de l'installation

Étant donné que de nombreux paramètres individuels spécifiques au système, techniques et commerciaux devraient être pris en compte pour une analyse détaillée, la tuyauterie est normalement conçue pour la vitesse d'écoulement autorisée selon des principes économiquement solides et des nécessités techniques basées sur l'expérience. Selon le support et l'utilisation, les valeurs recommandées se sont avérées conformes à la pratique dans de nombreux systèmes.

Moyen	Domaine d'application	Vitesse recommandé
Vapeur	0 – 1 bar	20 – 25 m/s
	1 – 40 bar	30 – 40 m/s
Eau	Ligne d'aspiration	0,4 (0,25 – 0,6) m/s
	Conduite de pression	2 (1,5 – 3) m/s
Condensat	Fraction de vapeur	15 m/s
	Fraction d'eau	2 m/s
Gaz de combustion		16,5 m/s
Combustible	Côté admission fioul léger	0,5 m/s
	Côté décharge de fioul léger	1 m/s
	Côté admission fioul lourd	0,3 m/s
	Côté décharge du fioul lourd	0,5 m/s
Gaz naturel		Aucune spécification (conception via perte de pression)

Tab. 17 Vitesses de conception standard (vitesses recommandées) pour le dimensionnement de la tuyauterie

Définition du diamètre nominal DN

Les diamètres nominaux dans le tableau suivant sont indiqués sans unités. Ils correspondent en grosso-modo au diamètre intérieur de la tuyauterie en mm. Ceci est pour des raisons de production car les outils utilisés dans la fabrication des tuyaux sont définis via le diamètre extérieur et le diamètre intérieur clair varie donc en fonction de l'épaisseur de paroi. Le diamètre nominal suffit normalement comme variable de calcul pour le dimensionnement approximatif du diamètre intérieur.



Diamètre nominal DN	Diamètre extérieur d ₁ [mm]	Diamètre nominal DN	Diamètre extérieur d ₁ [mm]
6	10,2	250	273,0
8	13,5	300	323,9
10	17,2	350	355,6
15	21,3	400	406,4
20	26,9	450	457,0
25	33,7	500	508,0
32	42,4	600	610,0
40	48,3	700	711,0
50	60,3	800	813,0
65	76,1	900	914,0
80	88,9	1 000	1 016,0
100	114,3	1 200	1 219,0
125	139,7	1 400	1 422,0
150	168,3	1 600	1 626,0
200	219,1		

Tab. 18 Diamètre du tuyau (EN 10255:2004+A1:2007, EN 1092-1:2013-04, Table A.1)

Le diamètre nominal nécessaire peut alors être calculé comme suit :

$$DN \geq \sqrt{\frac{\dot{V} \cdot 4}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{\dot{m} \cdot 4}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$

F20. Équation pour le calcul du diamètre nominal requis

- DN Diamètre nominal du tuyau [mm]
- \dot{V} Débit [m³/s]
- \dot{m} Débit massique [kg/h]
- ρ Densité [kg/m³]
- u Vitesse recommandée selon le tableau [m/s]

$$\sqrt{\frac{10\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{3\,600 \frac{\text{s}}{\text{h}}} \cdot 4}{\pi \cdot 4,65 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 40 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 1\,000 \frac{\text{mm}}{\text{m}} = 138 \text{ mm} \leq \text{DN } 150$$

B9. Exemple de calcul pour déterminer le diamètre nominal requis

Pour optimiser les diamètres nominaux qui ont été conçus en fonction d'une vitesse recommandée admissible, il peut être conseillé dans certains cas, par exemple si la tuyauterie est très longue, de recalculer et d'optimiser le diamètre nominal du tuyau en utilisant des programmes de conception spéciaux.

Définition de la pression nominale PN

La pression nominale est un étage de pression normalisé pour la tuyauterie et les vannes. Il représente un paramètre pour les caractéristiques mécaniques et dimensionnelles d'un composant. Les composants ayant le même diamètre nominal et la même pression nominale sont compatibles. La pression nominale correspond à la pression positive maximale admissible [bar] à une température de référence de 20 °C.

Cependant, en plus du matériau, la pression positive maximale admissible d'un composant dépend avant tout de la température. À des températures plus élevées, la pression de service maximale autorisée tombe en dessous de la pression nominale. La tuyauterie ou les vannes ne peuvent alors pas fonctionner à la pression nominale.

L'affectation pression-température des brides est basée sur les groupes de matériaux. Les matériaux et groupes suivants sont habituels dans le domaine des chaudières à vapeur :

Groupe de matériaux	Type de matériaux	Numéro du matériau	Matériau
3E0	Aciers non alliés avec caractéristiques de résistance garanties à des températures plus élevées	1.0352	P245GH
3E1	Aciers non alliés aux caractéristiques définies 400 °C, point de rendement supérieur > 265 N/mm ²	1.0460	P250GH
4E0	Aciers faiblement alliés avec 0,3% de molybdène	1.0426	P280GH
12E0	Teneur en carbone standard, stabilisée avec Ti ou Nb	1.4541 1.4550 1.4941	X6CrNiTi18-10 X6CrNiNb18-10 X6CrNiTiB18-10
15E0	Teneur en carbone standard, alliée au molybdène, stabilisée au Ti ou Nb	1.4571 1.4580	X6CrNiMoTi17-12-2 X6CrNiMoNb17-12-2

Tab. 19 Groupes de matériaux selon EN 1092-1:2013-04 Table 9, G.2.2, G.3.2, Table D.1

Le diagramme suivant montre les courbes pression-température pour différents étages de pression nominale. Dans ce cas, respectez également les informations du chapitre Outils - Affectation pression-température, qui contient les tableaux du diagramme.

→ Outils – Chapitre 5.4.2 : Classement de la pression et température11), page 411

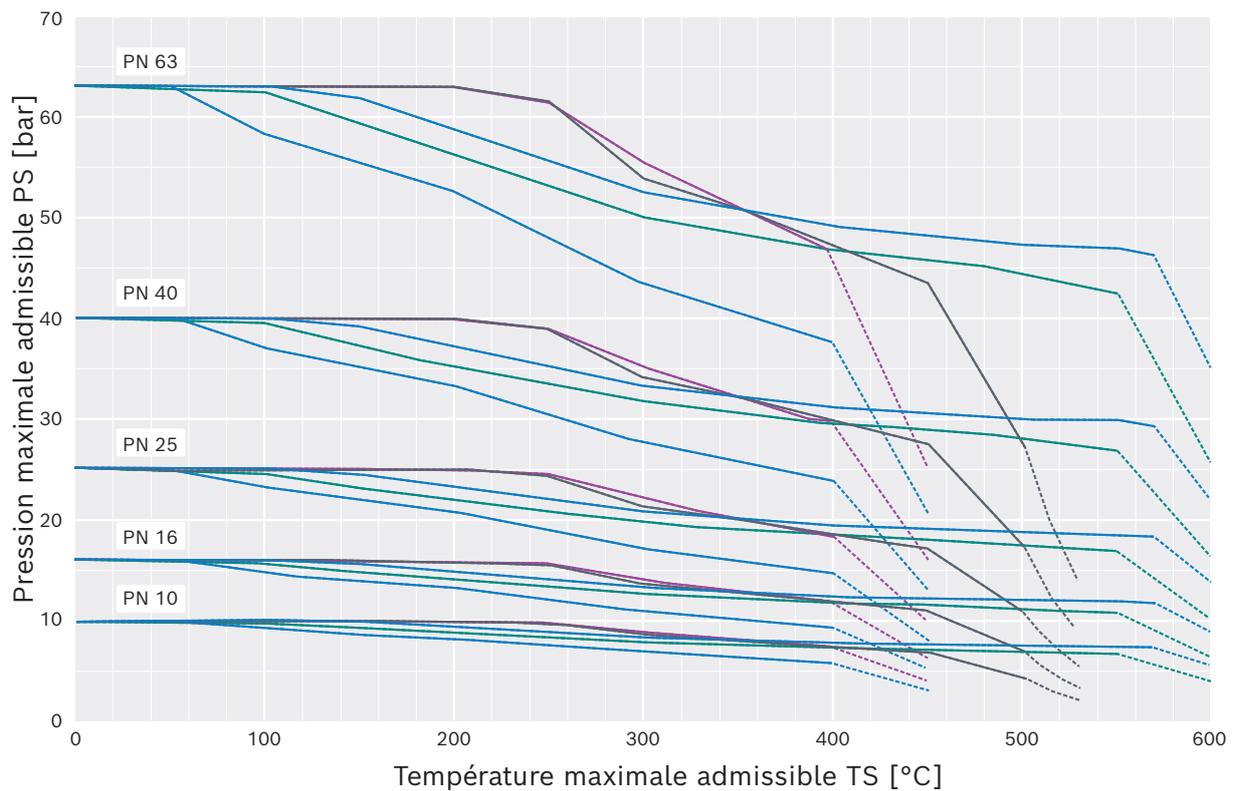


Fig. 119 Affectation pression-température pour brides selon EN 1092-1



Définition du matériau

Le tableau suivant indique uniquement l'exigence minimale pour la sélection des matériaux. D'autres matériaux peuvent également être utilisés lorsque des conditions d'installation spéciales, des exigences du client ou des réglementations nationales ou locales s'appliquent.

Les matériaux contenant du cuivre ne doivent pas être utilisés pour toute tuyauterie à destination et en provenance de la chaudière à vapeur, dans la zone de condensation et d'eau d'appoint.



Champ d'application	Matériel de tuyauterie
Tuyaux à vapeur	Acier ou acier inoxydable avec certificat d'inspection
Lignes d'eau d'alimentation	Acier
Tuyaux de purge des soupapes de sécurité	Acier
Lignes de ventilation et de vidange	Acier
Drainage du siège (soupape de sécurité)	Cuivre ou acier inoxydable
Eau adoucie	Plastique (froid) ou acier inoxydable (après chauffage)
Eau d'osmose	Acier inoxydable

Tab. 20 Exigence minimale pour la sélection des matériaux

Définition des portées

Il doit être assuré par un nombre suffisant et une construction correcte des supports que la tuyauterie ne se déforme pas au-delà des limites acceptables en raison des forces de poids (propre poids, contenu, vannes et isolation) et d'autres forces qui agissent sur elle (par exemple lors de déflexions).

Les exigences pour la tuyauterie sont expliquées dans EN 13480-3.

→ EN 13480-3

**Tuyauterie et brides pour eau et vapeur**

DN	Ø valves	PN 40 S	Max. span L1 ¹⁾
10	17,2	2,0	–
15	21,3	2,0	–
20	26,9	2,3	–
25	33,7	2,6	2,9
32	42,4	2,6	3,2
40	48,3	2,6	3,5
50	60,3	2,9	3,9
65	76,1	2,9	4,7
80	88,9	3,2	5,4
100	114,3	3,6	6,2
125	139,7	4,0	6,9
150	168,3	4,5	7,5
200	219,1	6,3	8,6
250	273	7,1	9,7
300	323,9	8,0	10,6
350	355,6	8,8	11,1
400	406,4	11,0	11,8
500	508	14,2	12,5
600	610	16,0	13,2

Tab. 21 Portées de tuyauterie (distance de support à support)

1) Exigences pour la portée LL

- Selon EN13480-3:2014 - rempli d'eau, épaisseur de l'isolation 80mm
- Avec des ajouts par interpolation
- Limitation LL de la déflexion, jusqu'à ON 50 = 3 mm de déflexion, à partir de DN 65 = 5 mm de déflexion.
- Pour les détails voir EN13480-3

Dilatation thermique

Les substances se dilatent lorsqu'elles sont chauffées et se contractent lorsqu'elles se refroidissent à nouveau.

Cet effet doit être pris en compte à de nombreux points dans un système de chaudière, en particulier dans les endroits où des températures élevées peuvent se produire pendant le fonctionnement.

Les points suivants doivent par exemple être pris en compte lors de l'étude et conception et de l'installation :

Location	Utilisation de – pour absorber l'élongation
Tuyauterie	Compensateurs de tuyauterie <ul style="list-style-type: none"> • Jambes d'expansion (L-legs) • Coudes de dilatation • Coudes en U (avec une longue tuyauterie droite) • Palier à friction
Chaudière et conteneur	Roulements à friction sur les pieds et le cadre de base Jointes et pieds de dilatation sur les tuyauteries entrantes et sortantes

Tab. 22 Emplacement et types de mesures utilisées pour absorber la dilatation thermique

L'équation suivante peut être utilisée pour calculer la dilatation thermique linéaire :

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad \text{ou.} \quad \frac{\Delta l}{l} = \alpha \cdot \Delta T$$



F21. Équation pour le calcul de la dilatation thermique linéaire

Δl	Expansion thermique linéaire [mm]
l	Longueur [mm]
α	Coefficient de dilatation [mm/m]
ΔT	Différence de température [K]

Expansion coefficients of different steels

Acier faiblement allié (ferritique) :
 $\alpha \approx 1 - 1,3 \text{ [mm/m} \cdot 100 \text{ K]} = 10 - 13 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$

Aciers inoxydables (austénitiques) :
 $\alpha \approx 1 - 1,8 \text{ [mm/m} \cdot 100 \text{ K]} = 10 - 18 \cdot 10^{-6} \text{ [1/K]}$



La longueur de jambe nécessaire pour absorber la dilatation thermique doit être déterminée selon les codes généraux de pratique.

Distance minimale par rapport à la structure et aux canalisations adjacentes

Un espace libre d'au moins 50 à 100 mm doit être maintenu afin de pouvoir installer la tuyauterie et l'isolation et effectuer des réparations. La norme technique fréquemment utilisée pour les travaux d'isolation DIN 4140 recommande un dégagement minimum de 100 mm.

Pour minimiser les dégagements, les raccords à brides doivent être disposés de manière décalée sur les ponts de tuyauterie.

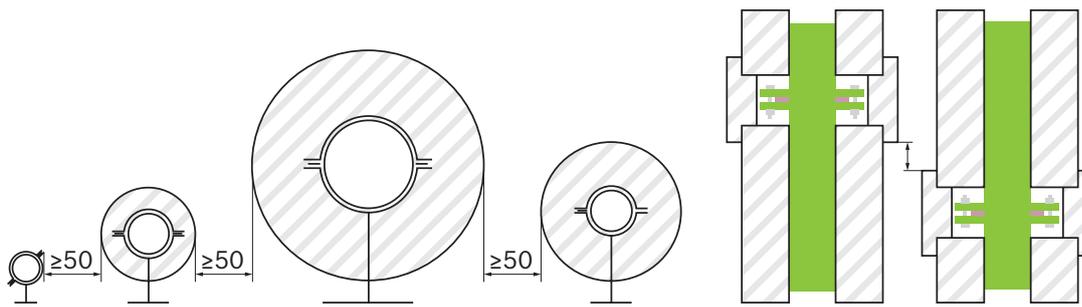


Fig. 120 Les dégagements fonctionnels de la tuyauterie sur les ponts de tuyaux et la disposition décalée des raccords à bride

5.2 Tuyaux de vapeur

Martelage à vapeur ou à condensat

Si les conduites de vapeur ou les éléments d'équipement tels que les échangeurs de chaleur ne sont pas suffisamment vidangés, des dommages importants pourraient se produire en raison de coup de bélier.

Si de la vapeur chaude ou du condensat chaud entre en contact avec de l'eau froide, cela s'accompagne de la rupture soudaine de grosses bulles de vapeur. Cette implosion provoque un afflux d'eau qui entre en collision avec elle-même et provoque des pics de pression.

Le coup de bélier est principalement dû à une évacuation insuffisante du condensat, à une installation inadéquate ou à des dispositifs défectueux et à un mauvais fonctionnement.

Drainage

En raison de la perte de chaleur dans la tuyauterie, le condensat s'accumule dans les conduites de vapeur saturée qui doivent être collectées et éliminées. Il faut donc prévoir une légère pente de 5 à 10 mm par m de longueur de tuyau, soit 0,5 à 1%, dans le sens de l'écoulement pour permettre au condensat de s'écouler vers les raccords de drainage.

Les raccords de drainage sont ensuite installés comme suit :

- Dans des canalisations droites régulièrement tous les 30 à 50 mètres
- Avant chaque point de stagnation (par exemple, les vannes ou les sections de tuyauterie verticales)

Ces derniers doivent être en mesure d'éliminer et de collecter de manière fiable le condensat dans la tuyauterie afin qu'il puisse être efficacement évacué par des drains de condensat. Avec des diamètres nominaux allant jusqu'à DN 100, les raccords de drainage doivent être construits avec le même diamètre nominal que la conduite de vapeur afin de permettre au condensat qui se forme lors de la mise en service d'être également collecté. Avec des diamètres nominaux plus importants, les diamètres nominaux des raccords de collecte peuvent alors être inférieurs au diamètre nominal du tuyau de vapeur. Les raccords de collecte doivent avoir une longueur de 500 mm et les tuyaux de condensat doivent être fixés latéralement pour éviter que des saletés détériorent le fonctionnement de l'évacuation du condensat. En règle générale, le condensat ne doit pas être rejeté dans l'atmosphère en raison de l'enthalpie importante, et doit plutôt être transporté par une conduite de collecte jusqu'au récipient d'eau d'alimentation où il peut être réutilisé.

La quantité de condensat à évacuer est liée, via l'enthalpie d'évaporation, à la perte de chaleur dans la

tuyauterie, les vannes et les autres composants intégrés pour la section de tuyauterie correspondante. La quantité de condensat peut être estimée à l'aide des équations du chapitre Étude et conception - Pertes de chaleur dans les conduites de vapeur.

→ Étude et conception – Chapitre 3.1 : Calcul de consommation, page 36

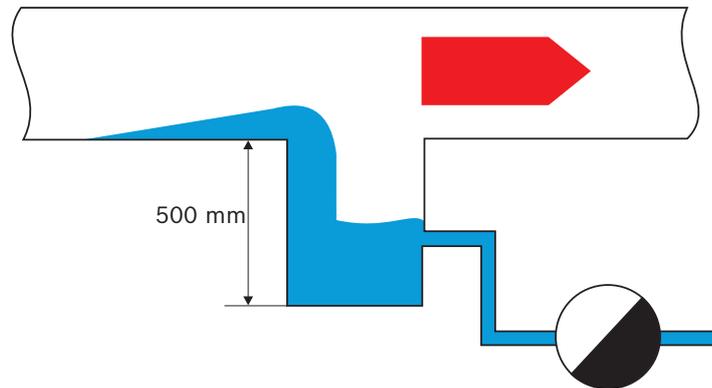


Fig. 121 Raccords de drainage

5.3 Lignes d'eau

Ligne de pression

Dans l'ensemble, il n'y a pas de caractéristiques particulières à observer dans le cas des conduites sous pression. Parfois, une vitesse d'écoulement $\leq 5\text{ m/s}$ est acceptable dans de courtes sections de tuyauterie, à condition que d'autres mesures soient prises pour exclure le danger de coup de bélier.

Coup de bélier

Les coups de bélier se produisent notamment lors de la fermeture des vannes dans les conduites transportant du liquide. La décélération de la colonne d'eau en mouvement et la faible compressibilité des liquides provoquent des pics de pression dus à ce que l'on appelle le « coup de Joukowski ».

Les coups de bélier peuvent être réduits, voire évités, en augmentant le temps de fermeture des vannes et en réduisant la vitesse d'écoulement.

Si des vannes à commande électrique (temps de fermeture normalement > 30 secondes) sont utilisées et que les vitesses de tuyauterie recommandées Tab. 17, page 212) sont respectées, aucun pic de pression inacceptable dû à un coup de bélier ne se produira.



Ligne d'aspiration

Les tuyaux du côté entrée des pompes sont appelés lignes d'aspiration. Dans ce cas, il est particulièrement important de s'assurer que la perte de pression est faible pour éviter une éventuelle cavitation au niveau de la pompe. Cela est particulièrement pertinent pour les tuyaux dans lesquels l'eau chaude est transportée légèrement en dessous du point d'ébullition (par exemple, l'eau des réservoirs l'eau d'alimentation ou les réservoirs de condensat). Cette tuyauterie est dimensionnée pour une faible vitesse d'écoulement et est maintenue aussi courte que possible (quelques mètres) pour minimiser les pertes de charge.



Cavitation

Cavitation (latin : *cavitare* = évider) se produit à la suite de la formation et de la décomposition de petites bulles de vapeur dans les liquides.

Des bulles de vapeur se produisent dans des endroits où la pression statique est faible, comme les roues derrière des pompes centrifuges. Si la pression statique tombe en dessous de la pression de vapeur du liquide, des bulles se forment et implosent après un peu de temps. Lorsque cela se produit, un jet d'eau est produit qui frappe la lame de pompe à une vitesse très élevée. En raison des contraintes de compression élevées impliquées, le matériau durcit initialement puis s'écaille, formant ainsi des trous irréguliers dans les pales qui continuent à s'éroder et finalement à détruire la roue.

La valeur dite NPSH (Net Positive Suction Head) d'une pompe centrifuge spécifie la charge d'eau bouillante en amont requise pour éviter la cavitation au niveau des roues. Les pompes d'alimentation des chaudières à vapeur sont normalement équipées de pompes à « faible NPSH » qui ne nécessitent qu'une hauteur amont d'environ 0,4 à 1,2 m dans la plage de fonctionnement.

Chaque pompe doit avoir sa propre tuyauterie pour éviter les effets réciproques.

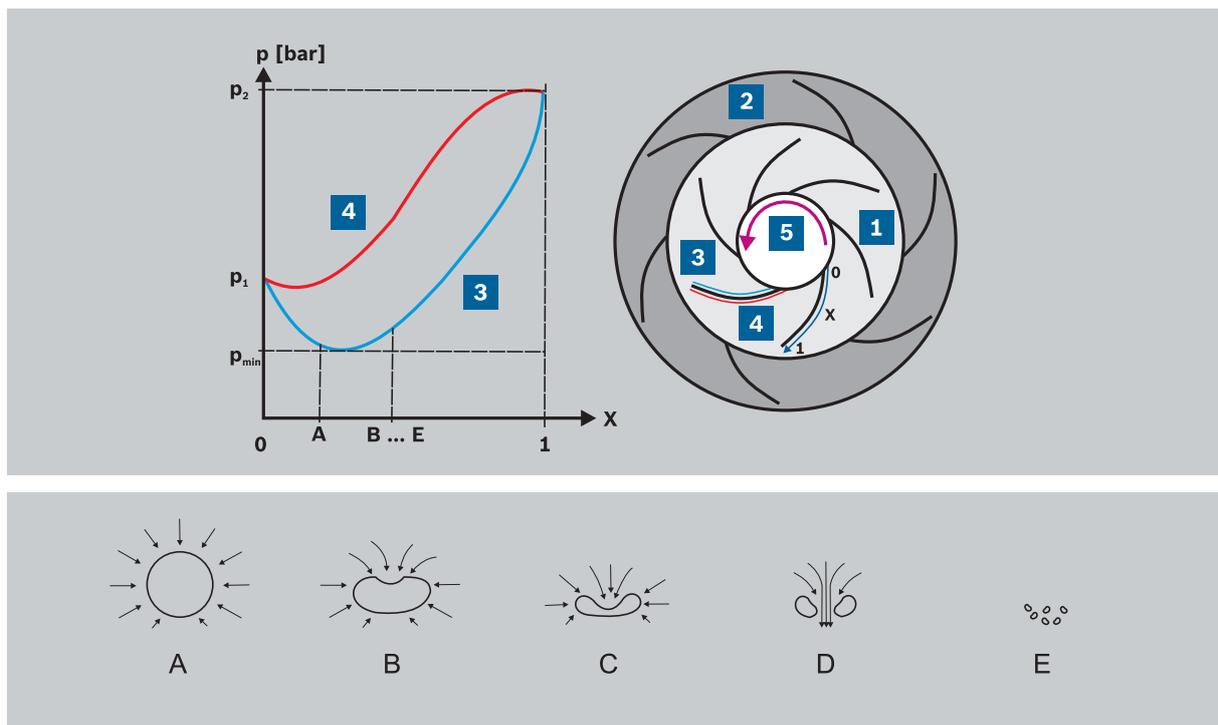


Fig. 122 Cavitation - écoulement le long de la pale de la turbine et effondrement des bulles de gaz

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1 Roue | 4 Côté pression, roue |
| 2 Roue de guidage | 5 Sens de rotation |
| 3 Côté aspiration, roue | |
| A Bulle unique | D Microjet |
| B Début d'aplatissement | E Bulle de gaz effondrée |
| C Effondrement de la bulle de gaz | |

5.4 Conduites de condensat

Acheminement de la tuyauterie

Il est recommandé d'installer des tuyaux de condensat avec une pente continue d'au moins 1% dans le sens du débit pour permettre au condensat liquide de s'écouler facilement et aux échangeurs de chaleur et aux canalisations d'être vidés. Cela facilite le processus de démarrage de l'échangeur de chaleur et réduit le risque de corrosion.

Les poches d'eau en particulier doivent être évitées car elles peuvent entraîner des coups de bélier, en particulier lors du démarrage de l'échangeur de chaleur.

Des sections verticales dans les conduites de condensat sont possibles. En plus de la perte de pression hydrostatique, des pertes de pression d'écoulement plus élevées doivent également être prises en compte dans ce cas. Les sections horizontales doivent toujours être inclinées et des sorties de condensat liquide froid ou de drainage de démarrage appropriées doivent être prévues aux points les plus bas.

Comme le condensat ne s'accumule normalement pas à une hauteur suffisante au-dessus du réservoir d'eau d'alimentation, il doit être collecté dans des réservoirs de condensats et remis en circulation via des pompes/siphons à condensats.

Dimensionnement

Les tuyaux de condensats ne doivent en aucun cas être traités de la même manière que les tuyaux qui ne transportent que de l'eau. Comme le volume augmente de manière significative pendant la réévaporation, la fraction vapeur et la fraction eau doivent être prises en compte lors du dimensionnement.

Si la surface de section transversale requise est nettement inférieure, cela peut entraîner une érosion des gouttelettes d'eau sur les vannes et les coudes en raison de la vitesse d'écoulement élevée qui en résulte.

Érosion des gouttelettes d'eau

L'érosion des gouttelettes d'eau, également appelée impact des gouttelettes, fait référence à l'usure érosive des gouttelettes liquides. L'érosion des gouttelettes d'eau est un coup de bélier microscopique.

Cela se produit lorsque des gouttelettes frappent une surface à grande vitesse. Bien que l'eau ait un aspect « doux », les gouttelettes ont un effet érosif abrasif en raison de leur incompressibilité, de leur impulsion élevée et de leur inertie. Cela conduit à l'usure des surfaces par une exposition continue. Cela se produit lorsque des gouttelettes frappent une surface à grande vitesse. Bien que l'eau ait un aspect « doux », les gouttelettes ont un effet érosif abrasif en raison de leur incompressibilité, de leur impulsion élevée et de leur inertie. Cela conduit à l'usure des surfaces par une exposition continue.



$$A_{\text{req,S}} = \frac{\dot{m}_{\text{Co}} \cdot x_{\text{ES}}}{\rho'' \cdot u_{\text{Co,S}}}$$

$$A_{\text{req,W}} = \frac{\dot{m}_{\text{Co}} \cdot (1 - x_{\text{ES}})}{\rho' \cdot u_{\text{Co,W}}}$$



F22. Equation pour le calcul de la section transversale requise de la tuyauterie



En réarrangeant l'équation pour que le diamètre soit le sujet, on obtient ce qui suit :

$$DN \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot A_{\text{req}}}$$

$$DN = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \dot{m}_{\text{Co}} \cdot \left(\frac{x_{\text{ES}}}{\rho'' \cdot u_{\text{perm,S}}} + \frac{(1-x_{\text{ES}})}{\rho' \cdot u_{\text{perm,W}}} \right)}$$



F23. Équation pour le calcul du diamètre nominal requis pour la tuyauterie

DN	Diamètre nominal du tuyau
\dot{m}_{Co}	Débit massique, condensat [kg/s]
x_{ES}	Rapport entre la vapeur d'expansion lors de la dilatation et la pression du récipient [kg/kg]
ρ''	Densité de la vapeur saturée à la pression du récipient [kg/m ³]
ρ'	Densité de l'eau bouillante à la pression du récipient [kg/m ³]
$u_{\text{Co,S}}$	Vitesse recommandée de la fraction de vapeur [15m/s]
$u_{\text{Co,W}}$	Vitesse recommandée de la fraction d'eau [2m/s]
A_{req}	Section transversale requise pour la tuyauterie [m ²]
$A_{\text{req,S}}$	Section transversale requise de la tuyauterie, fraction de vapeur
$A_{\text{req,W}}$	Section transversale requise de la tuyauterie, fraction d'eau

Exemple :

$T_{\text{Co}} = 130 \text{ °C}$	Température du condensat avant expansion
$p_{\text{Co-tank}} = 0,2 \text{ bar}$	Pression après expansion (pression du récipient)
$x_{\text{ES}} = 5,0\%$	Rapport calculé de la vapeur d'expansion
$\dot{m}_{\text{Co}} = 1\,000 \text{ kg/h}$	Débit massique du condensat

→ Outils – Chapitre 4.2.2 : Expansion de la vapeur, page 404

$$A_{\text{req,S}} = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 5,0\%}{0,673 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 15 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2 = 1\,376 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{req,W}} = \frac{1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot (1 - 5,0\%)}{956 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)^2 = 138 \text{ mm}^2$$

B10. Exemple de calcul pour déterminer la section transversale requise de la tuyauterie

$$DN = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot (1\,376 + 138) \text{ mm}^2} = 43,9 \text{ mm}$$

→ DN 40 oder DN 50

B11. Exemple de calcul pour déterminer le diamètre nominal requis de la tuyauterie

5.5 Tuyau de purge de soupape de sécurité

5.5.1 Tuyau de purge dans la zone vapeur

Les critères suivants doivent être respectés lors de l'installation du tuyau de purge de la soupape de sécurité pour la vapeur :

- Le tuyau de purge doit être dimensionné de manière à ce qu'une contre-pression inhérente correspondant à 10% de la surpression ne soit pas dépassée lors de la décharge.
- Jusqu'à une longueur de tuyauterie de 10 m et un maximum de 5 coudes : 2 DN plus grands que le diamètre nominal de sortie de la soupape de sécurité.
- Si la tuyauterie est plus longue ou si un plus grand nombre de coudes sont utilisés, un calcul détaillé de la perte de pression dans la tuyauterie est recommandé.
- Une section de tuyau en pente (0,5%) doit initialement être monté à la sortie de la vanne pour créer un point bas dans le tuyau de purge à partir duquel le liquide peut s'écouler via un dispositif qui ne peut pas être fermé.
- S'il y a un trou de drainage dans le siège de la soupape de sécurité, un drainage supplémentaire doit être fourni
- Le tuyau de purge doit être isolé des autres tuyauteries (par ex. Conduits de ventilation, conduites de détente, tuyaux de purge des soupapes de sécurité) et protégé contre le gel.
- Le blocage du drainage par la saleté ou des corps étrangers doit être évité.
- Une évacuation inoffensive des condensats doit être assurée.
- Le tuyau de purge doit être installé et fixé de manière à ce que la soupape de sécurité ne soit pas exposée à des forces de cisaillement, de flexion ou de torsion (par exemple en utilisant des supports, des supports de tuyaux à ressort). Les forces de réaction lors de la décharge doivent être prises en considération.

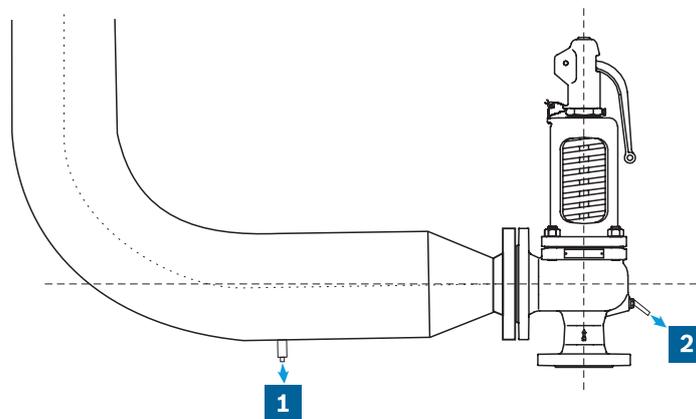


Fig. 123 Vidange du tuyau de purge et de la soupape de sécurité

- 1** Vidange du tuyau de purge de la soupape de sécurité
- 2** Vidange du siège de la soupape de sécurité

La capacité fonctionnelle de la soupape de sécurité et du tuyau de purge est vérifiée sur site par l'organisme notifié agréé lors des tests d'acceptation de la chaudière à vapeur, et normalement à pleine puissance de combustion pendant le fonctionnement réel.

→ Information technique TI024 : exigences pour la chaudière

5.5.2 Tuyau de purge dans la zone liquide

Les critères suivants doivent être respectés lors de l'installation du tuyau de purge de la soupape de sécurité pour les liquides :

- Le tuyau de purge d'une soupape de sécurité raccordée à une chambre à eau doit être équipé d'une chambre de détente et de séparation d'eau.
- Le système du côté refoulement de la soupape de sécurité doit être dimensionné de manière à ce qu'une contre-pression inhérente représentant 10% de la surpression ne soit pas dépassée lors de la décharge.
- La section de tuyau entre la soupape de sûreté et la chambre d'expansion et de séparation d'eau doit être installée avec une pente (0,5%).
- S'il y a un trou de drainage dans le siège de la soupape de sécurité, un drainage supplémentaire doit être fourni.
- Ce faisant, la conduite de vidange doit être installée avec une pente et sans étranglement.
- Le blocage du drainage par la saleté ou des corps étrangers doit être évité.
- Les condensats qui s'accumulent dans la chambre d'expansion et de séparation d'eau doivent être évacués et refroidis en toute sécurité.
- La section de tuyau entre la soupape de sûreté et la chambre d'expansion et de séparation d'eau doit être installée et fixée de manière à ne pas être exposée à des forces de cisaillement, de flexion ou de torsion (par exemple en utilisant des supports, des supports de tuyaux à ressort). Les forces de réaction lors de la décharge doivent être prises en considération.
- Des températures élevées, des vitesses d'écoulement et un bruit d'écoulement se produisent lors de la décharge. Le tuyau de purge de la chambre d'expansion et de séparation de l'eau doit donc être rejeté dans l'atmosphère de manière à ne présenter aucun danger.
- Le tuyau de purge de la chambre d'expansion et de séparation d'eau doit être isolé des autres tuyauteries (par exemple Conduites de ventilation, conduites de détente, tuyaux de purge des soupapes de sécurité) et protégé contre le gel.

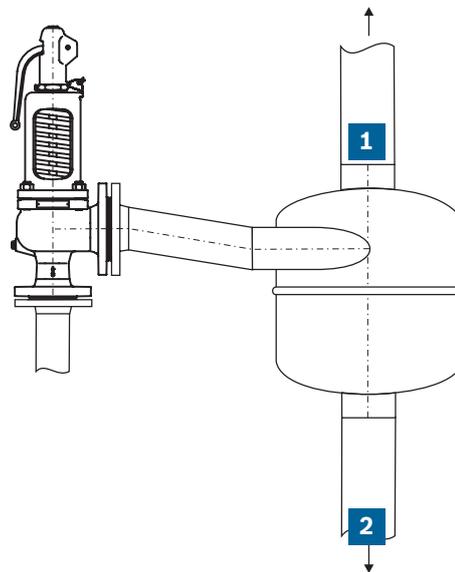


Fig. 124 Soupape de sécurité avec détente et chambre de séparation d'eau

- 1** Tuyau de soufflage sans danger à travers le toit
- 2** Ligne de drainage pour une évacuation et un refroidissement inoffensifs

5.6 Système de fumées

Le système de gaz de combustion démarre là où la chaudière se termine et a pour tâche d'éliminer les fumées produites lors de la combustion dans l'atmosphère en toute sécurité. Cela comprend les tuyaux d'échappement à l'intérieur et à l'extérieur de la chaufferie, la cheminée et les composants intégrés supplémentaires tels que les joints de dilatation, les silencieux ou les registres de fumées.

Tous les composants d'un système de combustion, en commençant par le brûleur avec le ventilateur correspondant jusqu'à la chaudière, l'économiseur, les tuyaux d'échappement, les silencieux jusqu'à la cheminée doivent être soigneusement adaptés. Ce n'est qu'alors qu'un fonctionnement sans problème peut être assuré à long terme dans toutes les conditions de fonctionnement. Si des composants individuels ne correspondent pas ou sont mal exécutés, cela entraîne des vibrations, des bruits, des émissions accrues ou une combustion instable dans tout le système.

Les systèmes de gaz de combustion doivent être dimensionnés conformément aux réglementations nationales et locales et aux normes applicables.

Les exigences générales relatives aux systèmes d'évacuation des fumées dans et sur les bâtiments sont EN 1443. Les systèmes d'évacuation des fumées doivent être mis en oeuvre conformément aux réglementations locales de construction.

Outre les réglementations de construction, d'autres normes telles que la norme EN 13084 1 s'appliquent aux cheminées indépendantes.

Pour les définitions concernant le dimensionnement du débit, voir les normes EN 13384 pour les systèmes de gaz de combustion dans et sur les bâtiments, et EN 13084-1 pour les cheminées autonomes.



Les conduits de fumées doivent être en matériaux incombustibles et être résistants aux effets des fumées et de la chaleur. Le matériau de l'ensemble du système de fumées de la chaudière à vapeur doit être adapté à des températures allant jusqu'à 350 °C. Si la chaudière est équipée d'un quatrième passage ou d'une chaudière à chaleur perdue pour l'utilisation de la chaleur perdue dans les gaz de combustion d'un module de cogénération ou d'une turbine à gaz, le système de fumées doit être adapté à la température la plus élevée qui peut se produire dans chaque cas.

Des exigences supplémentaires spécifiques au pays s'appliquent fréquemment pour la conception du système d'évacuation des fumées et la hauteur de la cheminée. Seuls les principes d'étude et conception fondamentaux fonctionnels les plus importants sont donc décrits ici.

Tuyau d'échappement

Le tuyau d'échappement relie l'extrémité de la chaudière à l'entrée de la cheminée. Il doit être acheminé aussi directement que possible, être aérodynamiquement efficace et avoir peu de coudes afin de réduire au minimum la perte de pression et la perte de chaleur. Le tuyau ne doit pas se rétrécir ou s'élargir brusquement et doit être utilisé à la place avec un angle de transition maximal de 30 °. La connexion du tuyau d'échappement à la cheminée doit toujours être établie en y tapotant à un angle de 30 - 45 °.



Exigence	Design
Conditions constantes de la chambre de combustion	Conçu pour +0/-1 mbar à l'extrémité de la chaudière Un tirage de cheminée recommandé par chaudière
Faible perte de pression	Courte, peu de coudes et aérodynamique efficace
Faible perte de chaleur	Fournir une isolation
Retirer le condensat	Buse d'évacuation des condensats et neutralisation
Ensurer un passage sans restriction	Assurer un passage sans restriction
Mesure des émissions	Fournir une buse de mesure des émissions
Nettoyage et inspection	Prévoir des ouvertures de nettoyage et d'inspection à toutes les déflections.
Compenser la dilatation thermique	Prévoir des joints de dilatation
Résistance	Résistant à la température (jusqu'à 350 °C), résistant aux condensats, résistant à la corrosion.
Résistance à la compression	Résistance à la compression
Étanchéité au gaz	Étanchéité au gaz selon la norme EN 1856
Danger dû à un manque d'air	Intégrer des clapets pour les gaz de combustion et l'air d'alimentation avec des interrupteurs de fin de course orientés vers la sécurité.

Tab. 23 Exigences générales pour les tuyaux d'échappement

Dimensionnement

Le tuyau d'échappement avec tous les composants tels que les clapets de fumées, les joints de dilatation et les silencieux peut normalement être poursuivi jusqu'à la cheminée avec le même diamètre nominal que le connecteur de fumées de la chaudière.

Lors de la conception du système, la vitesse recommandée de 16,5 m/s par rapport à la température de sortie de la chaudière ne doit pas être dépassée. Comme la vitesse recommandée est référencée par rapport au débit de fonctionnement, le débit massique des gaz de combustion qui est normalement spécifié doit encore être converti en débit de fonctionnement.

La loi du gaz idéal peut être utilisée pour la conversion.

$$\rho_b = \rho_n \cdot \frac{T_n}{T_b} \cdot \frac{p_b}{p_n}$$



F24. Équation du gaz idéal réarrangée pour calculer la densité opérationnelle des gaz

ρ_b	Densité de fonctionnement
ρ_n	Densité standard
T_b	Température de fonctionnement [K]
T_n	Température dans des conditions normales (273,15 K)
p_b	Pression de fonctionnement [bar]

p_n Pression dans les conditions normales (1,01325 bar)

→ F2 : Température et pression normales et température et pression standard, page 27

Exemple, gaz naturel H :

$\lambda = 1,15$	Excès d'air
$\dot{m}_{FG} = 10\,000$	Débit massique des gaz de combustion [kg/h]
$\rho_{n,FG} = 1,244$	Densité standard des gaz de combustion [kg/m ³ _n]
$T_b = 250 / 523,15$	Température des gaz de combustion [°C]/[K], en aval de la chaudière et en amont de l'économiseur de l'économiseur
$p_b = p_n = 1,01325$	Pression ambiante [bar] (l'écart par rapport aux conditions standard n'est pas pris en compte).

$$\rho_b = 1,244 \frac{\text{kg}}{\text{m}_n^3} \cdot \frac{273,15 \text{ K}}{523,15 \text{ K}} \cdot 1 = 0,650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$



B12. Exemple de calcul pour déterminer la densité de fonctionnement des gaz de combustion

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot u}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{m}}{\pi \cdot \rho \cdot u}}$$



F25. Formule pour calculer le diamètre nominal requis du tuyau d'échappement

DN	Diamètre nominal du tuyau
V	Débit [kg/h]
\dot{m}	Débit massique [kg/s]
ρ	Densité [kg/m ³]
u	Vitesse recommandée selon le tableau [m/s]

$$DN \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 10\,000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{\pi \cdot 0,650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 16,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot \frac{1 \text{ h}}{3\,600 \text{ s}} \cdot \left(\frac{1\,000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}\right)^2} = 574 \text{ mm}$$



→ Diamètre nominal minimum DN 630

B13. Exemple de calcul pour déterminer le diamètre nominal requis du tuyau d'échappement

Le calcul du tirage effectué par le fabricant de la cheminée peut également exiger un diamètre nominal plus grand, en particulier dans le cas de cheminées courtes et de longs tuyaux d'évacuation.

5.6.1 Silencieux pour gaz de fumée

Le but des silencieux de fumées est de réduire l'émission de bruit de combustion. Pour garantir l'efficacité du silencieux, il doit être conçu en fonction des fréquences émises par le brûleur, de la puissance de la chaudière et des émissions sonores homologuées spécifiées.

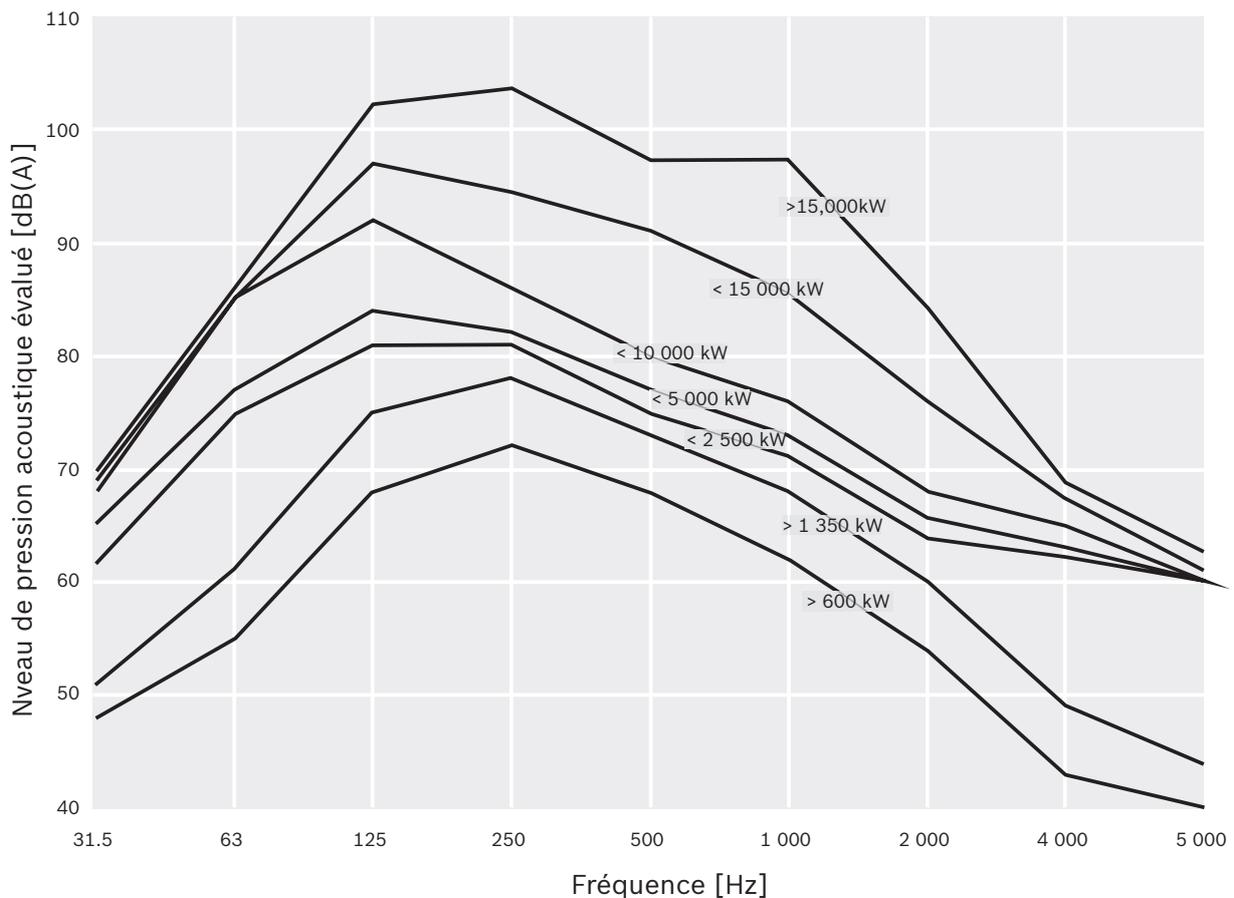


Fig. 125 Analyse de fréquence nominale a et niveau de pression acoustique total correspondant avec référence à la puissance de la chaudière

Puissance de la chaudière [kW]	≤ 600	≤ 1 350	≤ 2 500	≤ 5 000	≤ 10 000	≤ 15 000	> 15 000
Valeur empirique pour le niveau total de la pression sonore [dB(A)]	75	81	85	87	94	100	107

Les valeurs indiquées sur la Fig. 125 ne sont que des valeurs indicatives pour une seule chaudière sans silencieux de gaz de combustion. La mesure a été effectuée à 1 m de la sortie de la cheminée à un angle de 45 °.



Le bruit produit lors de la combustion est émis sous forme de bruit aérien via la surface du système de gaz de combustion et émerge à la tête de la cheminée. Le bruit d'un système de chaudière se compose principalement de sons à basse fréquence.

Ces émissions sonores peuvent être efficacement réduites avec un silencieux de gaz de combustion. Pour respecter les valeurs d'émission sonore prescrites lors de la conception d'un silencieux de gaz de combustion, le spectre de fréquence du bruit des gaz de combustion à la sortie de la cheminée du système de chaudière doit être pris en considération.

Le graphique de la Fig. 125 montre le niveau de pression acoustique moyen d'une chaudière, mesuré à la sortie de la cheminée sans silencieux de fumées dans le système de fumées. Étant donné que le système de combustion (par exemple en raison de la construction du brûleur ou le profil d'écoulement qui se produit dans la chambre de combustion) et le système de fumées (par exemple en raison du nombre de coudes, de la longueur et du diamètre du tuyau d'échappement) ont une influence considérable sur le résultat, seules les valeurs guides peuvent être spécifiées ici pour le niveau de pression sonores. Dans le cas du système à plusieurs chaudières, les niveaux sonores de toutes les chaudières doivent être additionnés.

Lors de l'étude et conception du tuyau d'échappement, il faut considérer que pour réduire les émissions sonores, le silencieux doit être assez long, selon les besoins, et doit être installé à l'intérieur ou à l'extérieur du lieu d'installation avant l'entrée du tuyau d'échappement dans la cheminée.

Si les exigences d'émission sonore sont exigeantes, par ex. dans le secteur hospitalier, en raison de la complexité du sujet, il est conseillé de consulter un expert en acoustique concernant la conception spécifique du silencieux de fumées.

Cheminée

Le but de la cheminée est d'éliminer les fumées et les polluants qu'elle contient sans danger pour l'environnement en s'assurant qu'ils sont éliminés dans le courant d'air libre sans interruption et sont également suffisamment dilués. Il doit être situé à proximité immédiate de la chaufferie pour éviter les longs conduits de gaz de combustion et les gaz de combustion doivent être évacués verticalement vers le haut. L'obstruction de la libre circulation de l'air par les coudes ou les auvents de pluie n'est pas autorisée.

Hauteur de cheminée

La hauteur minimale requise pour la cheminée est définie par les exigences nationales de lutte contre la pollution atmosphérique.

Section de cheminée et tirage de cheminée

La température des fumées dans la cheminée est plus élevée que l'air extérieur. Cela produit une force de levage, appelée « tirage de cheminée », dans les sections de cheminée et de tuyau d'échappement ascendant. Cela prend en charge l'élimination des gaz de combustion et produit une pression négative dans la cheminée et les sections du tuyau d'échappement. La taille du tirage de la cheminée est également liée à la différence de température par rapport à l'atmosphère via la densité.

La section de cheminée choisie doit être suffisamment grande pour permettre aux forces de levage de surmonter la résistance à l'écoulement dans la cheminée depuis l'extrémité de la chaudière. D'autre part, la section ne doit pas être trop grande pour garantir que les gaz de combustion sortent toujours de la cheminée à une vitesse d'au moins 6 m/s et pour qu'il n'y ait pas de pression négative trop élevée à l'extrémité de la chaudière, en particulier avec cheminées très hautes.

Le calcul du tuyau d'échappement doit toujours être effectué par un entrepreneur spécialisé ou le fabricant de la chaudière.







6 Production

6.1 Construction optimale de la chaudière

Conception optimale pour une alimentation en vapeur moderne

Les chaudières à vapeur modernes ne doivent pas seulement fonctionner efficacement, elles doivent également gérer les demandes de pression dynamique avec une qualité de vapeur élevée et constante. La teneur en eau et la taille de l'espace vapeur sont souvent évoquées dans ce contexte, bien que d'autres facteurs soient plus pertinents. La qualité de l'eau, la qualité de la régulation et la hauteur de l'espace vapeur sont bien plus cruciales pour la réserve de puissance et la dynamique avec une qualité de vapeur élevée et constante. Une mauvaise qualité de l'eau entraîne un niveau d'eau « instable » et la formation de mousse, accompagnée d'un risque d'entraînement d'eau.

La disposition brevetée du tube de flamme et des passes dans les chaudières Bosch (Fig. 127) est donc parfaite pour maximiser l'espace vapeur avec une faible teneur en eau. En cas de pics de production soudains, le niveau d'eau dans la chaudière augmente car davantage de bulles de vapeur sont produites. Dans ces cas, l'espace vapeur élevé offre une sécurité exceptionnelle contre les arrêts pour eau élevée et minimise l'entraînement d'eau. En outre, une réaction extrêmement rapide aux pics de charge est obtenue de manière fiable grâce à notre commande intelligente à trois composants, aux signaux pilotes des consommateurs à grande échelle et à l'absence de préventilation (démarrage du brûleur). Un large éventail de méthodes de conception, telles que la conception par règles et la conception par analyse (par exemple FEM), permet de réduire au minimum les contraintes liées à la conception dans l'enveloppe de la chaudière.

Les autres avantages sont :

- Qualité supérieure de la vapeur, notamment pour les besoins dynamiques
- La faible teneur en eau permet un chauffage plus rapide à partir d'un démarrage à froid
- La conception la plus compacte réduit l'espace requis, les radiations et les pertes de temps d'arrêt
- Réduction de la charge de la chambre de combustion et des émissions de NO_x

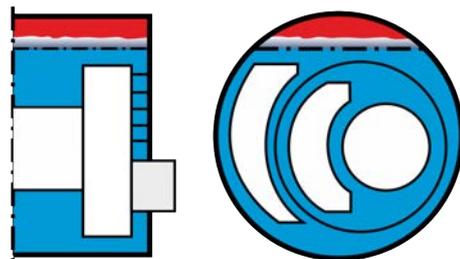


Fig. 126 Conception de la chaudière avec disposition côte à côte des passe

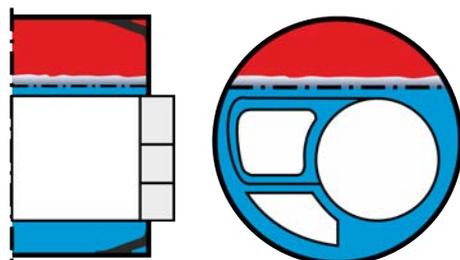


Fig. 127 Conception de la chaudière avec espace vapeur optimisé par Bosch

Haubans diagonaux au lieu de goujons

Dans d'autres modèles de chaudières, la chambre d'inversion est fixée à l'extrémité de la chaudière avec des boulons à goujon et il n'y a pas de connexion directe entre le tube de flamme et l'extrémité de la chaudière. Surtout lors du chauffage, de grandes forces existent dans la chaudière en raison de la différence de température entre l'armature froide de la chaudière et le tube à flamme chaude. Avec les goujons, ces forces ne peuvent être transmises qu'en des points spécifiques, ce qui conduit à des pics de contraintes défavorables.

Les autres inconvénients de la construction de goujons sont :

- Goujons cruciaux lorsqu'ils sont exposés à des contraintes de flexion
- Les boulons se déchirent, en particulier avec des changements de température fréquents

Le principe de conception des chaudières industrielles Bosch a été développé et les goujons supprimés. Le tube de flamme est ancré à l'armature de la chaudière aux deux extrémités et peut répartir uniformément les contraintes via la base de la chaudière et les haubans diagonaux (ancrages d'angle). Pour éviter des émissions thermiques supplémentaires, une isolation composite multicouche Bosch avec un effet isolant particulièrement élevé est utilisée pour la porte d'inspection de la chaudière. Un autre avantage est la liberté à vie de la maintenance, en supposant un fonctionnement et une mise en service corrects. Cette conception UNIVERSAL UL-S a fait ses preuves dans plus de 80 000 chaudières depuis plus de 60 ans. Un certain nombre de ces chaudières qui ont été initialement produites à partir du début des années 1950 sont toujours en fonctionnement de manière vérifiable aujourd'hui.

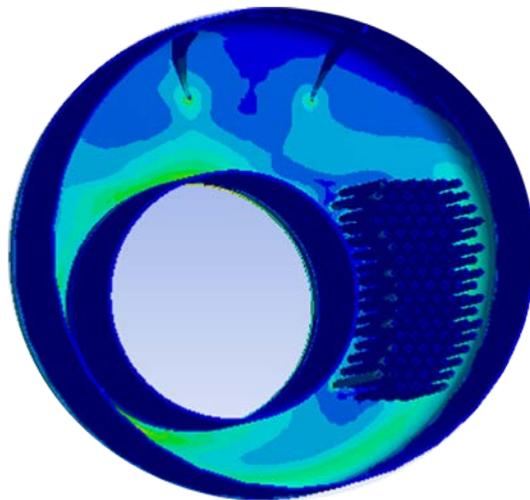


Fig. 128 Les haubans diagonaux au lieu des tirants assurent une répartition uniforme des contraintes et une longue durée de vie

6.2 Soudage correct des tubes de flamme et des tubes de fumées

Les connexions entre les tubes de flamme et les tubes de fumée et la base sont l'une des zones les plus sensibles des chaudières haute pression. Ces connexions doivent pouvoir résister à des contraintes et des températures élevées. Chez Bosch, les tubes de fumée sont donc soudés par des robots de pointe et des systèmes de soudage semi-automatiques sont utilisés pour les tubes à flamme. Des connexions particulièrement homogènes et robustes sont obtenues en effectuant le soudage de manière entièrement ou semi-automatique. Des rainures de refroidissement sont également utilisées côté eau au niveau des cordons de soudure exposés à des contraintes thermiques élevées. Particulièrement pour les tôles plus épaisses, cela assure un excellent refroidissement même en condition de charge élevée.

Les passages des brûleurs sont cependant réalisés sans refroidissement par eau afin d'augmenter la durabilité de la chaudière. Des réparations compliquées et coûteuses comprenant un test de pression hydraulique complet sont ainsi évitées. Grâce au concept d'isolation spécial de Bosch dans le passage du brûleur, les pertes d'émission de chaleur et l'apport de chaleur de nos chaudières industrielles peuvent être minimisés. Cela augmente également la robustesse et la facilité d'entretien de la chaudière car le matériau isolant est conçu pour durer toute la durée de vie de la chaudière lors de sa mise en service et de son bon fonctionnement.



Fig. 129 Soudure au niveau des tubes de fumée insérés

6.3 Soudage avec précision



Fig. 130 Armatures chaudière horizontales et verticales à la production à Gunzenhausen, Allemagne

Grâce à nos grues de processus avec une capacité de charge exceptionnellement élevée et nos halls de production élevés, les chaudières pesant jusqu'à 120 tonnes peuvent être tournées en toute sécurité, rapidement et en douceur et installées dans la position de traitement idéale. En revanche, dans les installations de production plus anciennes, les chaudières pesant plus de 60 tonnes, par exemple, sont souvent soudées par nécessité en position inclinée. Cela peut entraîner des problèmes de qualité avec la soudure.

Le soudage horizontal permet d'obtenir une structure plus homogène, une profondeur de pénétration plus élevée, des géométries sans entaille, une qualité de soudage exceptionnelle et donc une plus grande uniformité du processus de soudage en général.

Pour l'assemblage individuel d'une chaudière avec des brides et un équipement personnalisé, les composants sont connectés manuellement en utilisant la procédure de soudage au gaz actif (MAG).

Pour garantir des joints sans pores, il est essentiel que le gaz inerte ne soit pas soufflé pendant le soudage. Nous assurons cela en protégeant nos zones de travail avec des postes de travail protégés du vent, des systèmes de ventilation spéciaux et un chauffage par rayonnement au plafond au lieu de soufflantes à air chaud conventionnelles.

Notre machine à tubes ondulés, unique au monde et auto-développée, est capable de fabriquer des tubes à flamme ondulée entièrement automatiques d'une longueur maximale de 9 mètres. La machine est équipée de douze servomoteurs et de trois lasers pour la surveillance et le contrôle. Elle fabrique des tubes à flamme ondulée avec une précision millimétrique en utilisant la technologie laser. Les tubes à flamme ondulés sont un produit de base dans la fabrication de chaudières et sont les composants qui doivent résister aux contraintes les plus élevées.



Fig. 131 La machine à tubes de flamme ondulée entièrement automatique conçue en interne

6.4 Utilisation de robots de soudage

Pour garantir une qualité particulièrement élevée et constante, les tubes de fumée de la plupart de nos chaudières sont soudés de manière entièrement automatique par cinq systèmes de robot. Le robot spécial utilisé dans la fabrication de chaudières industrielles chez Bosch (voir Fig.132, page 237) présente de nombreux avantages par rapport aux robots de soudage utilisés dans les applications conventionnelles. Aucune erreur de positionnement ne se produit en raison de l'opération de balayage de tube individuel entièrement automatique qui ne nécessite aucun changement d'outil. Le robot peut être utilisé de manière flexible en combinaison avec une grue et transporté rapidement et facilement à chaque chaudière. La qualité de ces cordons de soudure est cruciale pour la durabilité à long terme de la chaudière car les cordons de soudure du tube de fumée sont exposés à des contraintes élevées.



Fig. 132 Robot de soudage mobile utilisé dans la production de chaudières industrielles Bosch

6.5 Moins de cordons de soudure, meilleure qualité

Nos installations de fabrication de chaudières industrielles sont conçues pour traiter des sections de tôle particulièrement larges jusqu'à 3,5 mètres. Cela signifie que nos gros réservoirs de chaudière nécessitent moins de cordons de soudure que d'habitude l'affaire. Un cordon de soudure peut être parfaitement exécuté, mais il ne peut toujours pas rivaliser avec la robustesse exceptionnelle d'un matériau solide continu à faible contrainte.

Le matériau à faible contrainte augmente la durée de vie

Des tolérances particulièrement serrées peuvent être atteintes en utilisant des machines de découpe au laser et au plasma pour couper les composants des récipients et des récipients sous pression. Des angles précis et un apport de chaleur minimal sont d'autres avantages par rapport aux systèmes de découpe au gaz courants.

La découpe avec des systèmes plasma contrôlés par CNC garantit que moins d'énergie est introduite aux points de découpe des panneaux. Les têtes de coupe réglables jusqu'à 45 degrés permettent une préparation simultanée des joints. Tous les coques de chaudière et composants de base sont donc traités par Bosch Industrial en utilisant cette méthode.

Les pièces en tôle plus petites pour les composants de la chaudière et les petites coquilles de chaudière sont découpées sur le système de découpe laser entièrement automatique contrôlé par CNC. Les pièces obtenues grâce à une coupe rapide, précise et à faible contrainte peuvent être fournies au processus en aval sans aucune reprise et avec des joints extrêmement petits et des bords sans bavure.



Fig. 133 *Le pliage de tôles avec des largeurs jusqu'à 3,5 m est possible*





 **BOSCH**

Efficacité

1	Principes de base	243
1.1	Pouvoir calorifique inférieur, pouvoir calorifique supérieur et chaleur de condensation	243
1.2	Aperçu des mesures d'efficacité	245
1.3	Efficacité	246
1.4	Rendement de combustion	246
1.5	Rendement de la chaudière	251
1.6	Degré d'utilisation	253
1.7	Degré d'utilisation annuel	253
1.8	Analyse des coûts d'exploitation	258
2	Augmenter l'efficacité de la combustion	261
2.1	Température des gaz de combustion ou perte de gaz de combustion	261
2.2	Augmentation du rendement du système de brûleur	270
3	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	277
3.1	Purge de surface et purge de fond	277
3.2	Vapeur d'échappement	280
3.3	Déminéralisation	282
3.4	Gestion du condensat	282
4	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	287
4.1	Isolation	287
4.2	Contrôle	295
4.3	Surveillance automatique	296
4.4	Service	298
5	Combinaison de processus	303
5.1	Chaleur et électricité combinées	303
5.2	Chauffage solaire d'appoint	305





Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

1 Principes de base

Les coûts du combustible représentent la majeure partie des coûts d'exploitation d'un système de chaudière. L'efficacité et surtout le degré réel d'utilisation sont importants pour évaluer l'efficacité énergétique des systèmes de chaudières à vapeur.

En plus des coûts de combustible, les coûts de l'électricité, des produits chimiques, de l'eau et des eaux usées, des pièces de rechange et des temps d'arrêt doivent être surveillés et optimisés.

1.1 Pouvoir calorifique inférieur, pouvoir calorifique supérieur et chaleur de condensation

Le pouvoir calorifique inférieur (H_u ou H_i) est l'énergie libérée lors d'une combustion complète lorsque les gaz de combustion sont refroidis à la température de référence à une pression constante. Dans ce cas, la vapeur d'eau produite lors de la combustion reste sous forme gazeuse. Le pouvoir calorifique inférieur indique donc uniquement la quantité de chaleur sensible dans les gaz de combustion et est directement lié à la température, et non la quantité de chaleur de condensation liée à la vapeur d'eau.

Le pouvoir calorifique supérieur (H_o ou H_s) est l'énergie libérée lors d'une combustion complète lorsque les gaz de combustion sont refroidis à la température de référence à une pression constante et que toute la quantité d'eau produite est condensée. Le pouvoir calorifique supérieur contient donc également la chaleur de condensation, également appelée « chaleur latente ».

→ Technologie – Chapitre 1.3 : Enthalpie, page 110

Selon le combustible utilisé, le pouvoir calorifique supérieur est supérieur d'environ 6,8% (fioul) à 10,8% (gaz naturel H) au pouvoir calorifique inférieur.

Valeur matérielle	Symbole	Unité	Gaz naturel L	Gaz naturel H	Propane	Butane	Mazout EL	Fioul EL à faible teneur en soufre
Valeur calorifique nette	H_i	kWh/m ³ kWh/kg	8,83	10,35	25,89	34,39	11,89	11,89
Pouvoir calorifique supérieur	H_s	kWh/m ³ kWh/kg	9,78	11,46	28,12	37,23	12,70	12,70
Ratio	H_i / H_s	%	110,8	110,7	108,6	108,3	106,8	106,8
Point de rosée	t_{Co}	°C	56,9	57,0	53,1	52,4	48,6	48,6
Point de rosée acide	t_{Co}	°C	–	–	–	–	124	97
Production d'eau¹⁾	$W_{spec,H2O}$	g _{H2O} /kWh	159,4	158,5	126,9	122,0	100,5	100,5
Valeur PH	pH	–	2,8 – 4,9	2,8 – 4,9	2,8 – 4,9	2,8 – 4,9	1,8 – 3,7	2,3 – 4,5

Tab. 24 Caractéristiques des différents combustibles

1) avec référence à H_i

Une partie de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion peut être condensée grâce à des systèmes de récupération de chaleur et de gaz de combustion ultramodernes fabriqués dans des matériaux résistant à la corrosion (par exemple, des aciers inoxydables appropriés). Grâce à cette technologie de condensation, le rendement peut alors également être porté à plus de 100% car il est basé sur le pouvoir calorifique inférieur.

→ Efficacité – Chapitre 2.1.2 : Échangeur de chaleur à condensation, page 263

L'efficacité est calculée sur la base de la valeur calorifique nette d'un combustible car, autrefois, il était essentiel que la vapeur d'eau contenue dans la flue reste sous forme gazeuse pour éviter la condensation de la flue et la corrosion de la chaudière ou du système de flue ainsi que l'encrassement des cheminées. Toutefois, pour utiliser judicieusement la technique de condensation, le fluide doit être à une température de $\geq 10\text{K}$ inférieure à la température du point de rosée des gaz de combustion, c'est-à-dire à une température maximale de 45 °C avec le gaz nature

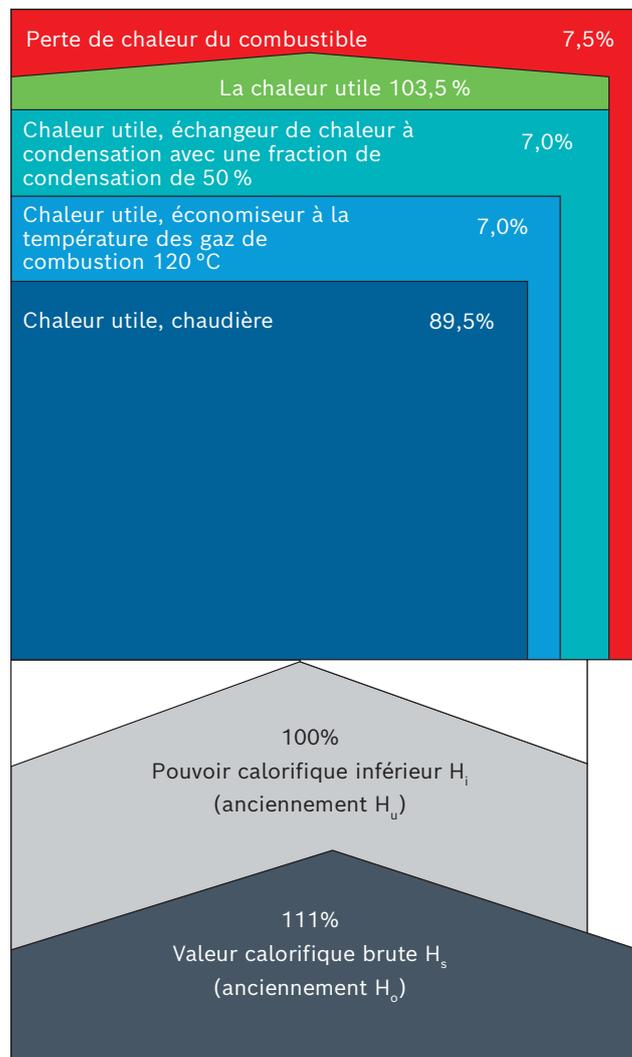


Fig. 134 Bilan thermique d'un générateur de vapeur à condensation et combustion de gaz (les valeurs sont à titre d'exemple)



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

1.2 Aperçu des mesures d'efficacité

Si l'on effectue un calcul de bilan pour une chaudière à vapeur à une charge donnée sur la base des flux de matières et d'énergie entrants et sortants, la proportion d'énergie non utilisable devient rapidement évidente. Le combustible, l'air de combustion, l'eau d'alimentation et la puissance électrique, par exemple pour les pompes et les ventilateurs, sont fournis.

Les variables à éliminer dans le calcul du bilan sont, outre l'énergie thermique utile dans la vapeur, les pertes proportionnelles pour les gaz de combustion, les purges de surface ou les purges de fond et les pertes thermiques par rayonnement et conduction.

Ces pertes peuvent être minimisées par des mesures appropriées. Lors du choix des mesures d'optimisation, la priorité doit être donnée à celles qui offrent le meilleur rapport coût-bénéfice. Cependant, cette séquence de mesures coût-bénéfice dépend du système spécifique et aussi en grande partie du mode de fonctionnement de l'ensemble du système de chaudière. Le tableau suivant donne un aperçu des mesures permettant d'augmenter le rendement. La plupart de ces mesures peuvent être combinées.

Mesures d'économie d'énergie	Économies potentielles	→ Page
Economiseur	≤ 7% de carburant	→ Page 261
Échangeur de chaleur à condensation	≤ 7% de carburant	→ Page 263
Préchauffage de l'air	≤ 2,5% de carburant	→ Page 265
Refroidissement de l'eau d'alimentation	≤ 1,8% de carburant ≤ 3% de combustible à la chaudière à 4 passes	→ Page 267
Détente de la saumure et récupération de chaleur	≤ 2% de combustible, eau douce, eaux usées	→ Page 277
Contrôle des brûleurs à oxygène et/ou à CO	≤ 0,5% de combustible	→ Page 271
Régulation de la vitesse, ventilateur	≤ 75% des coûts d'électricité	→ Page 270
Échangeur de chaleur des vapeurs d'échappement	≤ 0,5% de carburant	→ Page 280
Système de condensat à haute pression	≤ 12% de carburant, eau douce	→ Page 284
Analyse automatique et continue de l'eau	≤ 0,5% de carburant, de produits chimiques, de frais de personnel.	→ Page 296
Optimisation des paramètres de contrôle, service régulier, entretien, nettoyage	≤ 3% de carburant, durée de vie prolongée, fiabilité du processus	→ Page 298
Préparation de l'eau d'osmose	≤ 3% de carburant, eau douce, produits chimiques	→ Page 282

Tab. 25 Les mesures d'économie d'énergie et le potentiel d'économies qui en résulte

1.3 Efficacité

Le rendement est un rapport entre les bénéfiques et l'effort qui est basé sur les sorties énergétiques. Dans le cas d'une chaudière à vapeur, le rendement est donc le quotient de la puissance thermique libérée sous forme de vapeur par la puissance thermique fournie sous forme de combustible. Le rendement est une mesure de l'efficacité de la conversion de l'énergie dans la chaudière. Le rendement des systèmes de chaudières à vapeur est déterminé par l'efficacité de la combustion et les pertes de chaleur par rayonnement et conduction à la surface de la chaudière. Dans ce cas, il est important que le rendement soit défini uniquement pour un nouveau système à sa puissance de vapeur nominale ou pour des puissances de vapeur spécifiques à charge partielle lorsque le système est en équilibre.

Les pertes dues au démarrage et à l'arrêt, aux purges de surface et aux purges de fond, à la contamination des surfaces de chauffe, au traitement de l'eau d'alimentation et aux pertes de chaleur dans les canalisations supplémentaires ne sont pas prises en compte.

$$\text{Efficacité } \eta = \frac{\text{Sortir}}{\text{Saisir}} = \frac{\text{Puissance thermique de la vapeur}}{\text{Puissance thermique du carburant}}$$



$$\eta = \frac{\dot{Q}_S}{\dot{Q}_F}$$



F26. Formule de calcul de l'efficacité

- \dot{Q}_S Puissance thermique de la vapeur [kW].
- \dot{Q}_F Puissance thermique du combustible [kW].

1.4 Rendement de combustion

Le rendement de combustion η_f décrit le rendement de la chaleur sensible pendant la combustion d'un combustible. Il est déterminé en calculant les pertes thermiques q_A dans les gaz de combustion par rapport au niveau de température ambiante. Les composants imbrûlés du combustible ne sont pas pris en compte pour la combustion du pétrole et du gaz car, dans la pratique, ils ne doivent pas se produire à une échelle pertinente.

→ Efficacité – Chapitre 1.1 : Pouvoir calorifique inférieur, pouvoir calorifique supérieur et chaleur de condensation, page 243

Le rendement de combustion est basé sur le pouvoir calorifique net d'un combustible et est calculé en déduisant les pertes de gaz de combustion du maximum réalisable de 100%.

$$\eta_f = 100\% - q_A$$



F27. Formule de calcul de l'efficacité de la combustion



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

L'excès d'air

L'excès d'air est le rapport entre la quantité d'air effectivement fournie et la quantité d'air stœchiométrique requise.

$$\lambda = \frac{m_L}{m_{L,st}}$$

L'équation simplifiée pour la conversion de la teneur en oxygène des fumées ne s'applique que pour un rapport fumées/air de ~ 1 .

$$\lambda \approx \frac{21\%}{21\% - O_2}$$



→ Fig. 135, page 249

λ	Excès d'air
m_L	Chaleur réelle
$m_{L,st}$	Chaleur stœchiométrique
O_2	Oxygène [% en vol.]

Pour calculer la perte de gaz de combustion, on détermine le pourcentage de CO₂ ou de O₂ dans les gaz de combustion et la différence de température entre la température des gaz de combustion et la température ambiante. Les pourcentages maximaux de CO₂ dans les gaz de combustion, qui dépendent du combustible utilisé dans chaque cas, et le facteur de Siegert f, qui dépend de la teneur en O₂ mesurée, sont également nécessaires.

$$q_A = \frac{f}{CO_{2,max}} \cdot \frac{21\%}{21\% - O_2} \cdot (t_{FG} - t_L)$$



F28. Formule de calcul de la perte de gaz de combustion

q_A	Perte de gaz de combustion par rapport à la puissance de combustion et au pouvoir calorifique inférieur [%].
f	Facteur SSiegert, dépendance linéaire de l'excès d'air λ [bar]
$CO_{2,max}$	Valeur maximale du CO ₂ dans les fumées sèches [% en volume].
O_2	Teneur en oxygène mesurée dans les gaz de combustion secs [% en volume].
t_{FG}	Température mesurée des gaz de combustion [°C].
t_L	Température de référence et de l'air de combustion selon EN 12953 partie 11 constante 25 °C

ISI seule la valeur du CO₂ dans les gaz de combustion secs est mesurée, la conversion suivante s'applique :

$$O_{2,r} = 21\% \cdot \left(1 - \frac{CO_{2}}{CO_{2,max}}\right)$$



F29. Formule de calculer du résidu de la teneur en oxygène résiduel à partir de la valeur du CO₂

- O_{2,r} Teneur en oxygène calculée dans les gaz de combustion secs [% en volume].
 CO₂ Valeur mesurée du CO₂ dans les gaz de combustion secs [% en volume].
 CO_{2,max} Valeur maximale du CO₂ dans les gaz de combustion secs [% en volume].

Carburant	CO _{2,max}	Facteur Siegert	
		f ₁ = f (O ₂ = 0%)	f ₂ = f (O ₂ = 5%)
Gaz naturel L	11,67%	0,4792	0,4530
Gaz naturel H	11,94%	0,4731	0,4469
Mazout EL	15,31%	0,4535	0,4342
Mazout SA	16,02%	0,4570	0,4389
Propane	13,69%	0,4575	0,4352
Propane-Butane	13,78%	0,4570	0,4349
Butane	13,99%	0,4563	0,4346
Gaz naturel GZ35	11,12%	0,4871	0,4611
Gaz naturel GZ41,5	11,67%	0,4604	0,4358
Gaz naturel GZ50	11,67%	0,4835	0,4569
Mazout moyen HL Schwechat	15,72%	0,4534	0,4348
Mazout moyen CLU 33	16,11%	0,4458	0,4285

Tab. 26 Les facteurs de Siegert de plusieurs combustibles

Calcul du facteur Siegert pour toute teneur en oxygène donnée dans les gaz de combustion secs O₂



$$f(O_2) = f_1 + \frac{f_2 - f_1}{5\% - 0\%} \cdot O_2$$



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus

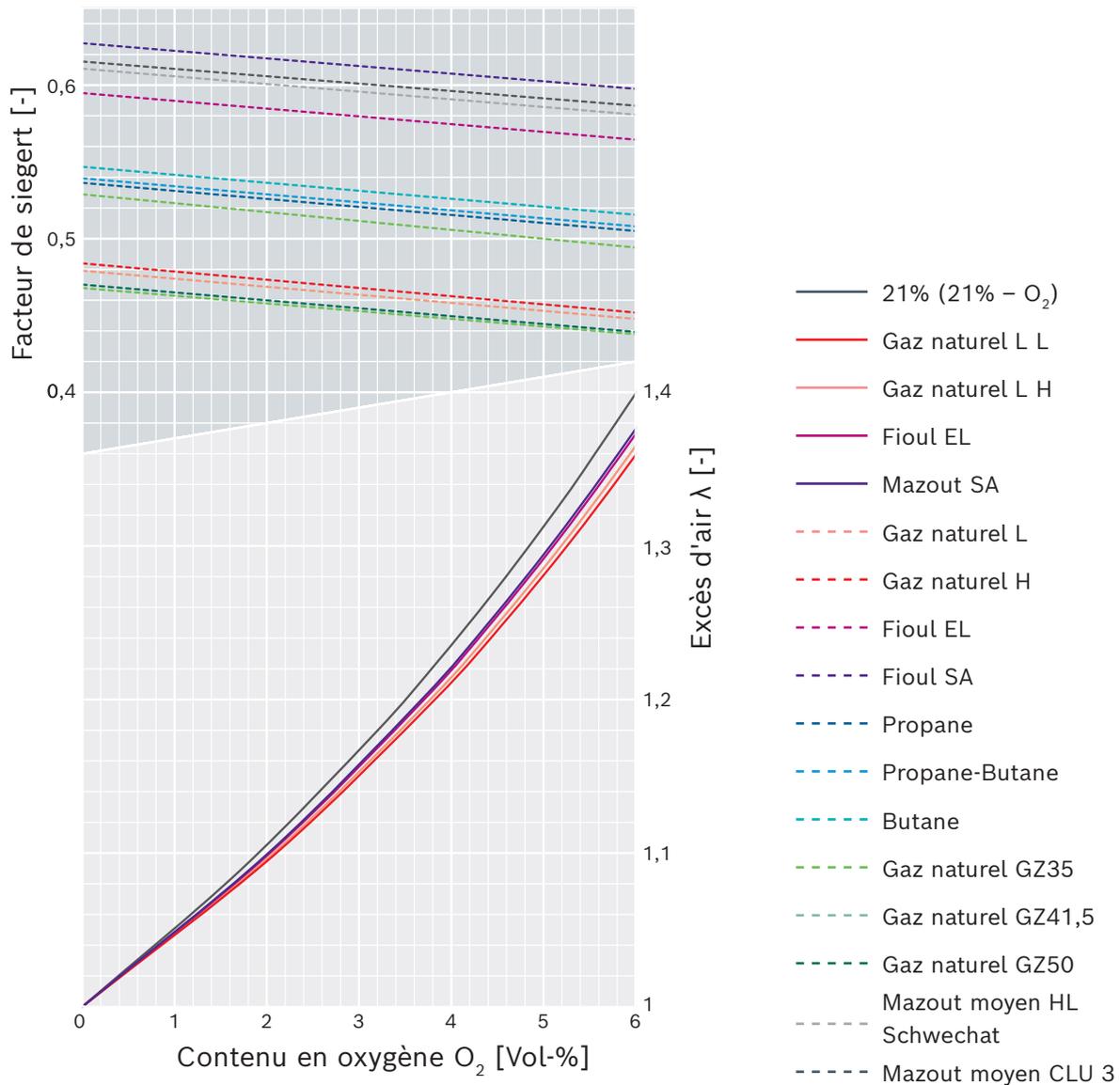


Fig. 135 Correlation entre la teneur de l'oxygène dans le gaz de combustion sec, excès d'air et facteurs de Siegert

Notes :

- Pour l'excès d'air : le gaz naturel GZ 41,5/50, le propane, le butane, le propane-butane coïncident pratiquement exactement avec le gaz naturel L et ne sont donc pas représentés.
- Le fioul moyen CLU 3 et le fioul moyen HL Schwechat se situent entre les courbes du fioul EL et SA, et ne sont donc pas représentés.

L'efficacité de la combustion augmente à partir de la pleine charge jusqu'à environ 35% de charge partielle avec un système de chaudière. L'excès d'air et donc la teneur en CO₂ mesurée dans les fumées sèches n'augmente que légèrement tandis que la température des fumées diminue en raison d'une utilisation plus efficace de la surface de chauffe dans la chaudière. A une charge partielle de <35%, l'excès d'air nécessaire est plus important et le rendement de la combustion diminue à nouveau.

Le rendement de la combustion est déterminé lors de la mesure des émissions, par exemple par le ramoneur ou le service après-vente. Les pertes de chaleur par rayonnement et conduction à la surface de la chaudière ne sont pas prises en compte dans ce cas.

→ Fig. 144, page 263

La relation entre l'efficacité de la combustion et la température des gaz de combustion avec un excès d'air variable est illustrée dans le diagramme suivant pour le combustible gaz naturel H. Plus la température des gaz de combustion est élevée, plus le rendement est faible.

Le diagramme montre aussi clairement que l'augmentation de l'efficacité est particulièrement élevée avec moins d'excès d'air,

c'est-à-dire des valeurs λ faibles, en particulier avec des températures de gaz de combustion élevées.

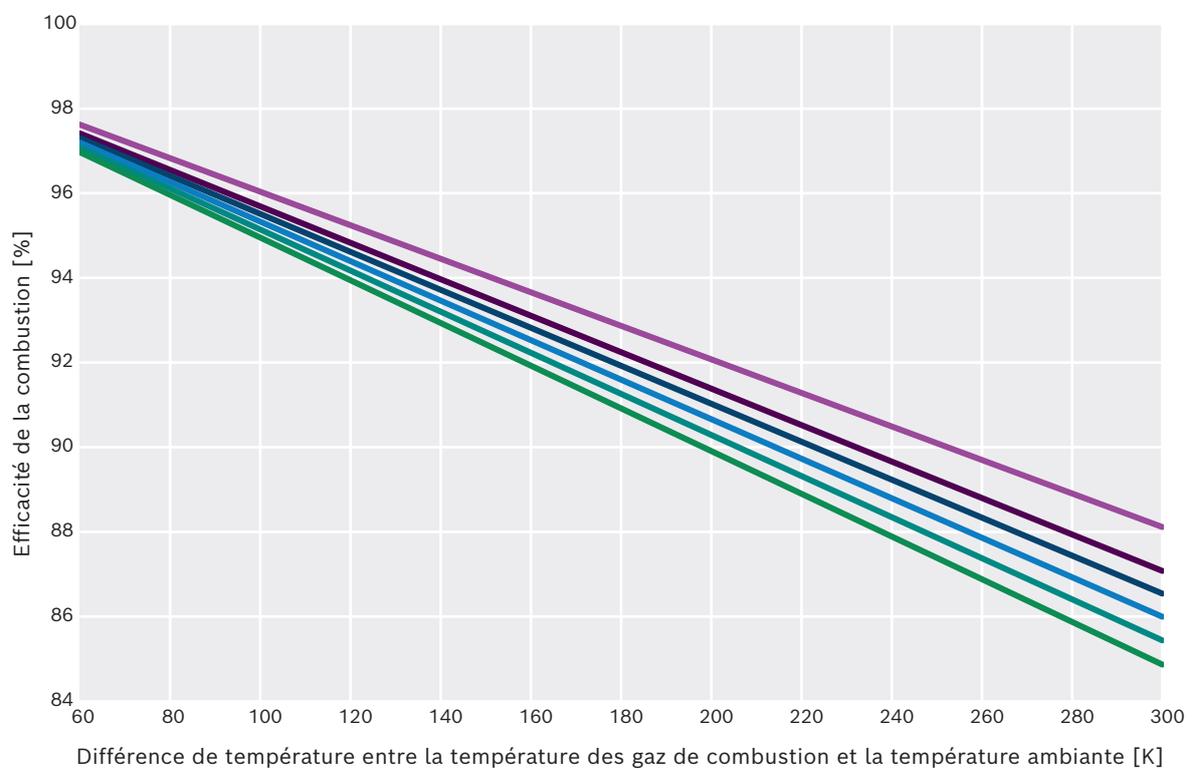


Fig. 136 Courbe de rendement avec référence à l'excès d'air λ sans condensation, en utilisant le gaz naturel H comme exemple.

- | | |
|---|---|
|  $\lambda = 1$ (O ₂ = 0%) |  $\lambda = 1,2$ (O ₂ = 3,96%) |
|  $\lambda = 1,1$ (O ₂ = 2,14%) |  $\lambda = 1,25$ (O ₂ = 4,77%) |
|  $\lambda = 1,15$ (O ₂ = 3,09%) |  $\lambda = 1,3$ (O ₂ = 5,52%) |



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

1.5 Rendement de la chaudière

Le rendement de la chaudière η_{boi} est égal au rendement de la combustion moins les pertes de chaleur à la surface de la chaudière vers l'environnement du local d'installation pendant la durée de fonctionnement du brûleur. Il peut être calculé comme suit :

$$\eta_{\text{boi}} = 100 \% - q_A - \frac{\dot{Q}_{\text{l,boi}}}{\dot{Q}_{\text{bu}}}$$

ou

$$\eta_{\text{boi}} = \frac{(\dot{Q}_{\text{bu}} - q_A) \cdot (\dot{Q}_{\text{bu}} - \dot{Q}_{\text{l,boi}})}{\dot{Q}_{\text{bu}}}$$



F30. Formule de calcul de l'efficacité de la chaudière

η_{boi}	Rendement de la chaudière
q_A	Perte de gaz de combustion par rapport à la puissance de combustion et au pouvoir calorifique inférieur [%]
$\dot{Q}_{\text{l,boi}}$	Perte de chaleur du type de chaudière [kW]
\dot{Q}_{bu}	Puissance de combustion actuelle de la chaudière [kW]

→ Information technique TI005 : pertes de chaleur dues au rayonnement et à la conduction

Comme les pertes de chaleur par rayonnement et conduction $Q_{\text{l,boi}}$ ne sont généralement pas faciles à mesurer ou à calculer, on utilise les valeurs empiriques selon la norme EN 12953 partie 11. Celles-ci dépendent d'une part de la puissance nominale du type de chaudière et d'autre part de la température du fluide côté eau/vapeur à l'intérieur de la chaudière et donc de la pression de service.

Les pertes de chaleur sont identiques, que la chaudière soit à pleine charge ou en mode veille. Pour le rendement de la chaudière, cela signifie que plus la charge actuelle du brûleur est faible, plus les conséquences des pertes de chaleur sont importantes. La performance des pertes de chaleur se produit également pendant les temps d'arrêt du brûleur. Pendant les périodes d'arrêt, par exemple le week-end ou la nuit, ces pertes peuvent être minimisées en réduisant la pression de fonctionnement et donc la température de fonctionnement.

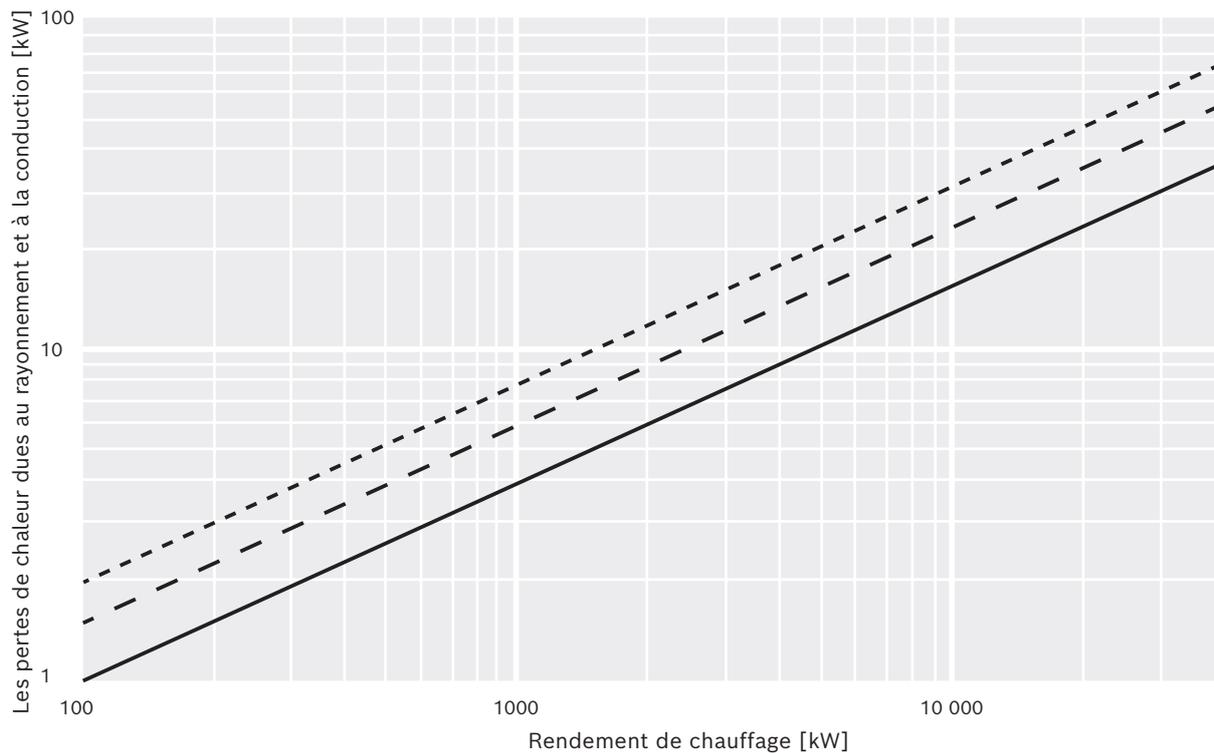


Fig. 137 Pertes thermiques par rayonnement et conduction en fonction de la puissance nominale de la chaudière et de la température moyenne du fluide dans la chaudière avec une épaisseur d'isolation de 100 mm.

- Température moyenne du milieu 100 °C
- - - Température moyenne du milieu 200 °C
- . - . Température moyenne du milieu 150 °C

Dans le cas du rendement de la combustion et du rendement de la chaudière, la condition de charge nominale et éventuellement aussi des conditions de charge partielle spécifiques, par exemple à 75%, 50% et 25% de la puissance de la chaudière, sont spécifiées dans la documentation du fabricant. Cependant, un système de chaudière à vapeur fonctionne normalement dans toutes les plages de charge partielle. Lorsque le taux d'élimination de la vapeur est très faible, le système de chaudière fonctionne même dans un mode avec des phases d'arrêt du brûleur plus longues.

Le rendement de la chaudière ne peut donc pas être utilisé exclusivement comme critère d'efficacité énergétique. Afin de pouvoir mieux prendre en compte les temps correspondants où une installation de chaudière est à l'arrêt et où elle a activé le fonctionnement du brûleur, le degré d'utilisation doit être déterminé comme critère d'évaluation



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

1.6 Degré d'utilisation

Le degré d'utilisation d'un système de chaudière est un quotient formé des quantités de chaleur sur une période déterminée (normalement une année). Dans le cas d'un système de chaudière, il s'agit de l'énergie thermique utilisée par rapport à l'énergie thermique fournie par le combustible.

$$\text{Degré d'utilisation } \eta = \frac{\text{Énergie de sortie}}{\text{Énergie d'entrée}}$$



$$\eta = \frac{\int \dot{Q}_s dt}{\int \dot{Q}_{bu} dt}$$



F31. Formule de calcul du degré d'utilisation

η	Degré d'utilisation [%]
$\int \dot{Q}_s dt$	Puissance thermique cumulée de la vapeur au cours du temps [mwh].
$\int \dot{Q}_{bu} dt$	Puissance thermique nominale cumulée de la combustion au cours du temps [MWh].

Le degré d'utilisation est un paramètre décisif pour la rentabilité du système dans son ensemble. Il englobe toutes les pertes, c'est-à-dire les pertes qui se produisent pendant les temps d'arrêt, lors du démarrage et de l'arrêt de l'installation, pendant les changements de charge, pendant les purges de surface et les purges de fond, dans les canalisations et les réservoirs (par exemple, pendant le traitement thermique de l'eau).

Cette variable importante ne peut toutefois être mesurée correctement qu'avec des compteurs de chaleur au niveau des consommateurs et des compteurs de combustible et n'est normalement enregistrée que dans des systèmes de gestion de l'énergie complets.

1.7 Degré d'utilisation annuel

$$\eta_a = \text{degré d'utilisation annuel } [\%]$$



L'énergie thermique $Q_{i,a}$ fournie pendant une année est déterminée sur la base de l'énergie combustible effectivement utilisée. Pour ce faire, la quantité de combustible est mesurée à l'aide de compteurs de gaz ou de pétrole et multipliée par le pouvoir calorifique inférieur.

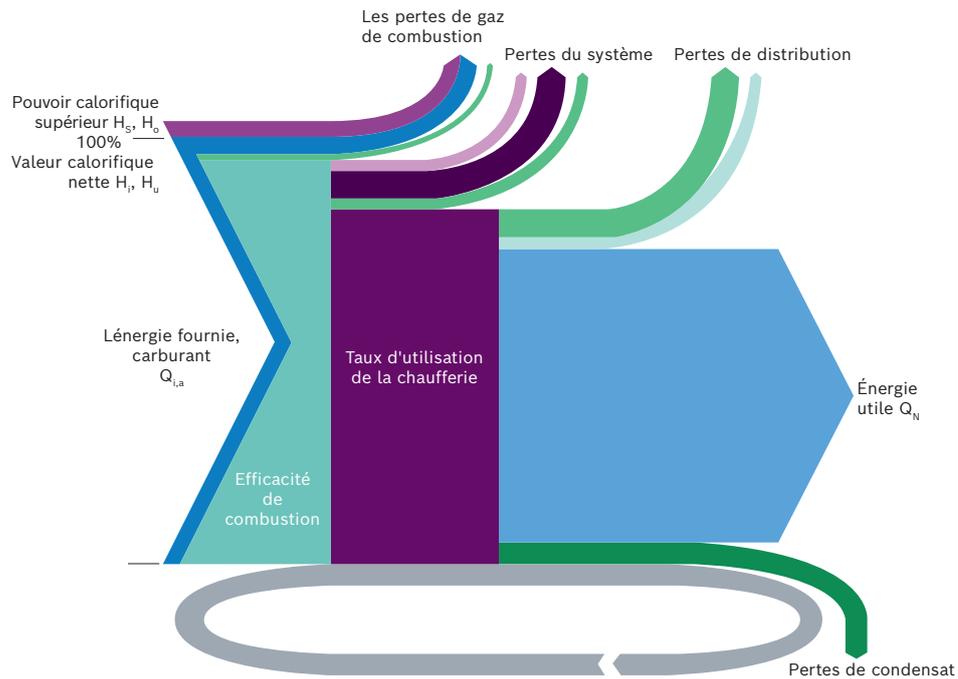


Fig. 138 Diagramme de Sankey (diagramme de flux d'énergie) d'un système de chaudière à vapeur

- Chaleur latente des gaz de combustion
- Chaleur sensible des gaz de combustion
- Rayonnement et conduction (y compris les pertes liées aux temps d'arrêt)
- Pertes de pré-ventilation
- Purge de surface et de fond, vapeurs d'échappement
- Fuites (au niveau des purgeurs de condensat, de la tuyauterie)
- Recirculation manquante du condensat et vapeurs d'échappement
- Condensat recirculé

La quantité d'énergie réellement utilisée pendant le fonctionnement $Q_{o,a}$ est déterminée à l'aide d'un compteur de vapeur et d'un calculateur de quantité de chaleur. La quantité de chaleur contenue dans la vapeur est calculée à partir de la quantité de vapeur et de la pression de la vapeur, et éventuellement de la température de la vapeur.

La quantité de chaleur contenue dans la vapeur est calculée à partir de la quantité de vapeur, de la pression de la vapeur et éventuellement de la température de la vapeur.

Le degré annuel d'utilisation d'un système de chaudière à vapeur comprend donc toutes les pertes opérationnelles d'un système de chaudière à vapeur, telles que les pertes de gaz de combustion, de système, de distribution et de condensat.

Un rendement de chaudière de 95% peut s'accompagner d'un degré d'utilisation annuel réel de seulement 60%. En particulier si la charge moyenne de la chaudière est très faible, les pertes par conduction et rayonnement, qui ne dépendent généralement pas de la charge de la chaudière, sont très élevées par rapport à la chaleur du combustible utilisé. À cela s'ajoutent les pertes liées à la préventilation du système de chaudière pendant le cycle du brûleur et au traitement de l'eau.

Si le système ne fonctionne souvent qu'à charge partielle, les pertes peuvent occasionnellement atteindre 20 à 40% du combustible nécessaire au fonctionnement du système.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

$$\text{Degré d'utilisation annuel } \eta_a = \frac{\text{Énergie de sortie}}{\text{Énergie d'entrée}}$$



$$\eta_a = \frac{Q_{o,a}}{Q_{i,a}}$$



F32. Formule de calcul du degré d'utilisation annuel

- a Basé sur une année (les degrés d'utilisation peuvent également être déterminés sur une base mensuelle ou hebdomadaire))
- $Q_{o,a}$ Énergie utile par an [MWh]
- $Q_{i,a}$ Énergie fournie par an [MWh]

Rendement des chaudières avec utilisation de la condensation

Outre le CO₂, les fumées produites lors de la combustion des chaînes d'hydrocarbures présentes dans la plupart des combustibles liquides ou gazeux contiennent également du H₂O, c'est-à-dire de l'eau. À des températures élevées des gaz de combustion, cette eau est présente sous forme de vapeur.

Toutefois, si la température des gaz de combustion peut être refroidie localement en dessous du point de rosée, une partie de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion se condense sur les surfaces froides de transfert de chaleur et la chaleur libérée au cours de ce processus peut être utilisée.

Par rapport à la formule pour une chaudière sans utilisation de la condensation, la formule pour le rendement de la chaudière est étendue pour inclure la fraction de condensation :

$$\eta_{\text{boi, valeur calorifique brute}} = \eta_{\text{boi, sèche}} + \frac{H_s - H_i}{H_s} \cdot \alpha$$



F33. Formule de calcul du rendement de la chaudière avec utilisation de la condensation

- $\eta_{\text{boi, valeur calorifique brute}}$ Rendement de la chaudière avec utilisation de la condensation
- $\eta_{\text{boi, sèche}}$ Rendement de la chaudière sans condensation
- H_s Pouvoir calorifique supérieur [kWh/kg].
- H_i Pouvoir calorifique inférieur [kWh/kg]
- α Nombre de condensats (proportion de condensats)

L'indice de condensation indique le rapport entre la quantité de condensation qui se produit dans la pratique et la quantité de condensation théoriquement possible dans les gaz de combustion ; il a normalement une valeur de 0,3 à 0,6, selon la conception.

Les rendements supérieurs à 100% dans la technique de la condensation ne sont pas mobiles à l'infini, mais peuvent être attribués uniquement à la base de référence du pouvoir calorifique inférieur H_i . Si l'énergie utilisée était rapportée au pouvoir calorifique supérieur H_s physiquement correct, 100% serait le rendement maximal pouvant être atteint sans aucune perte. Toutefois, pour pouvoir établir des comparaisons avec les systèmes conventionnels, il a été décidé de conserver le pouvoir calorifique inférieur comme valeur de référence, également dans le cas des chaudières à condensation.

→ Fig. 134, page 244

La différence entre le pouvoir calorifique inférieur et le pouvoir calorifique supérieur est la chaleur latente dans les gaz de combustion et représente la proportion maximale de chaleur qui peut également être récupérée grâce à la condensation de la fraction aqueuse des gaz de combustion.

L'objectif du diagramme suivant est de montrer clairement comment la condensation des gaz de combustion augmente l'efficacité et l'optimisation en termes de rentabilité. Lorsque l'on utilise du gaz comme combustible, le rendement augmente de manière linéaire à mesure que la température des gaz de combustion diminue, jusqu'à ce que la condensation des gaz de combustion commence (avec une température de surface de chauffe d'environ 56 °C). Lorsque la condensation des fumées commence, le facteur crucial n'est plus la réduction de la température, mais avant tout le taux de condensation α de la vapeur d'eau dans les fumées. Le diagramme montre les différents taux de condensation de 25, 50, 75 et 100% sous forme de lignes bleues pointillées. Avec un taux de condensation plus élevé correspondant, l'efficacité continue d'augmenter par sauts.

Au cours de ce processus, la conception spéciale de l'échangeur de chaleur à condensation permet à des quantités significatives d'eau dans les gaz de combustion de se condenser à des températures d'entrée d'eau très basses (par exemple l'eau d'appoint à 15 °C) même lorsque la température des gaz de combustion mesurée dans la cheminée est nettement supérieure au point de rosée des gaz de combustion.

Dans le diagramme pour le gaz naturel H, un rendement de 100,9% est atteint avec un taux d'accumulation des condensats de 34% et une température moyenne mesurée des gaz de combustion de 75 °C, par exemple.

→ Fig. 139, page 257

Outre la quantité d'eau, la plus grande distance possible entre la température d'entrée de l'eau et le point de rosée minimum est déterminante pour le taux d'accumulation du condensat. Cela est illustré sur le diagramme par la courbe d'efficacité rouge (gaz naturel H) ou violette (fioul EL), qui dépend de la température.

La zone colorée en bleu représente la plage de condensation des gaz de combustion techniquement réalisable pour les systèmes de chaudières à vapeur.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
--------------------------	---	---	--	--------------------------

1 Exemple 1 :

- Economiseur
- Excès d'air $\lambda = 1,1$
- Température de l'eau d'alimentation à l'entrée de l'économiseur 103 °C
- Température de sortie des gaz de combustion 126 °C

Gaz naturel H :

- Température de sortie des fumées 126 °C
- Rendement 95,4%

Mazout EL :

- Température de sortie des fumées 126 °C
- Rendement 95,6%

2 Exemple 2 :

- Echangeur de chaleur à condensation
- Excès d'air $\lambda = 1,1$
- Température d'entrée de l'eau d'appoint 15 °C

Gaz naturel H :

- Température de sortie des gaz de combustion 75 °C
- Proportion de condensats, échangeur de chaleur à condensation $\alpha = 34\%$
- Température du condensat 49 °C
- Rendement 100,9%

Fioul EL :

- Température de sortie des gaz de combustion 65 °C
- Proportion de condensats, échangeur de chaleur à condensation $\alpha = 34\%$
- Condensate temperature 41 °C
- Rendement 100,2%

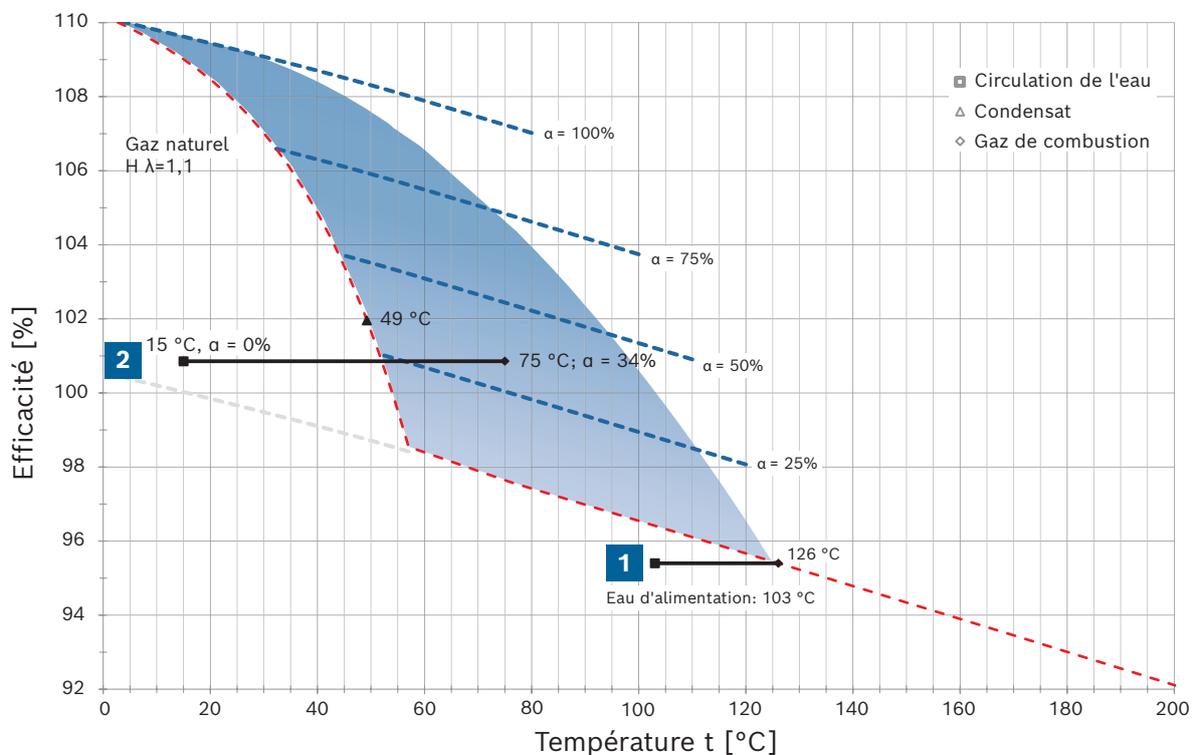


Fig. 139 Progression du rendement de combustion en fonction de la température des gaz de combustion avec du gaz naturel H ($H_i = 10,35 \text{ kWh/m}^3$, $T_L = 20 \text{ °C}$)

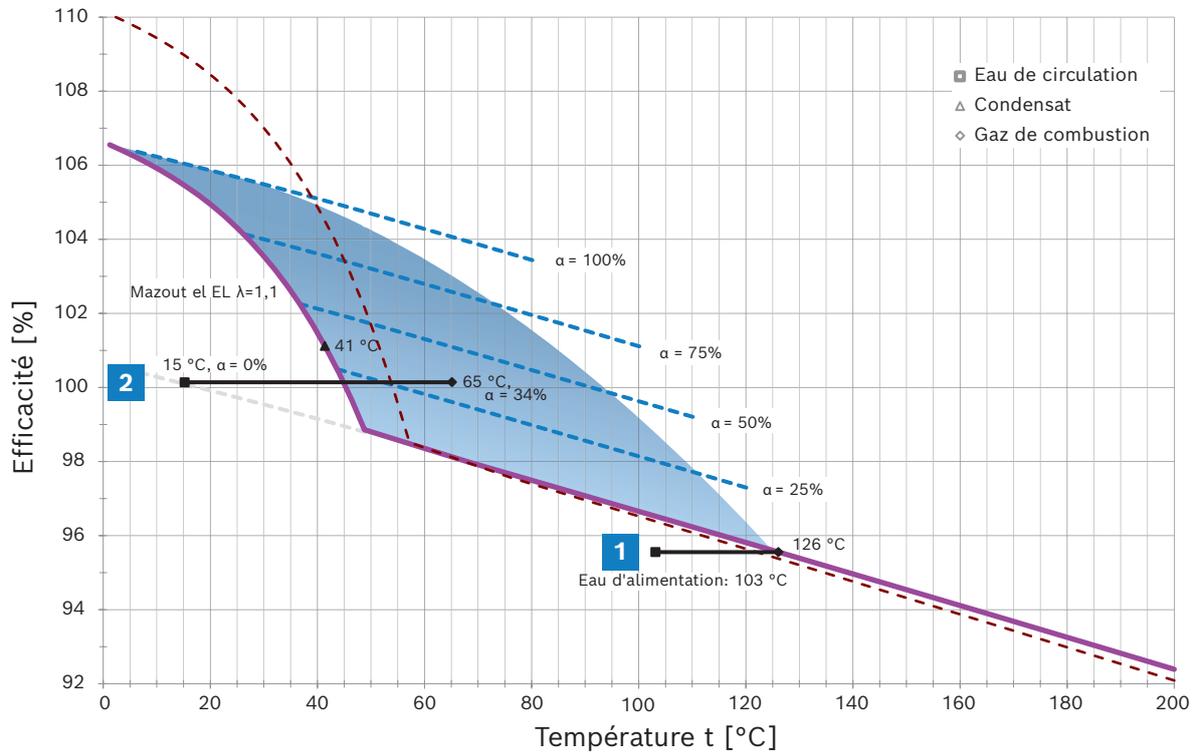


Fig. 140 Progression du rendement de la combustion en fonction de la température des gaz de combustion avec du fioul EL ($H_i = 11,89 \text{ kWh/kg}$, $T_L = 20 \text{ °C}$)

En particulier, si l'on utilise du pétrole comme combustible, il faut tenir compte du fait que la composition du combustible étant différente de celle du gaz, la fraction de vapeur d'eau dans les gaz de combustion est nettement inférieure et que le gain d'efficacité dû à la condensation est donc également moindre.

1.8 Analyse des coûts d'exploitation

Pour maintenir les coûts de combustible d'un système de chaudière aussi bas que possible, le degré d'utilisation annuel atteint dans la pratique est important. Pour pouvoir tirer des conclusions sur les coûts d'exploitation globaux, il faut également prendre en compte le coût de l'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des ventilateurs et des pompes, les coûts d'évacuation des eaux usées et de l'eau et, enfin, les dépenses liées aux coûts d'exploitation, de maintenance et d'inspection.

Les sujets suivants doivent être pris en compte lors de l'évaluation globale :

- Le bilan énergétique et massique de la chaudière
- Le bilan énergétique et massique du système de vapeur complet, y compris le traitement de l'eau, toutes les canalisations, tous les consommateurs et le système de condensat.
- Les effets de la maintenance et du fonctionnement sur le système
- les possibilités d'optimisation par la combinaison avec d'autres technologies telles que la production combinée de chaleur et d'électricité ou la chaleur solaire.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	--	--------------------------

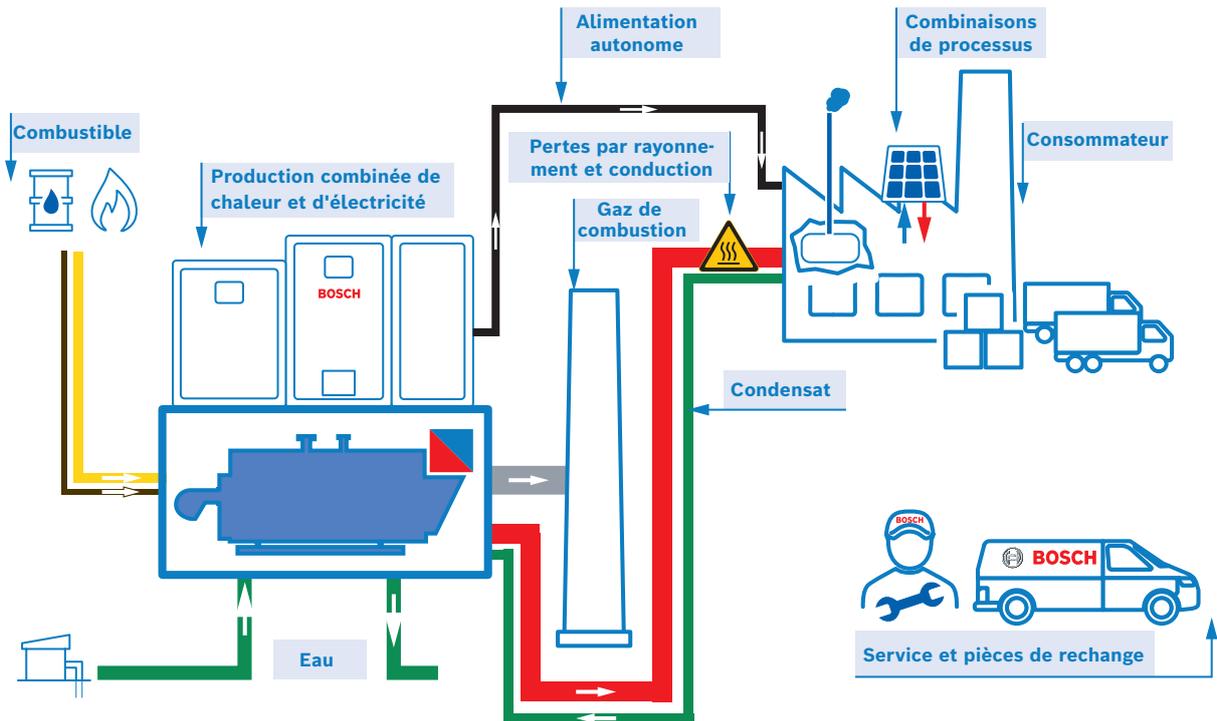


Fig. 141 Facteurs influençant l'évaluation globale des coûts d'exploitation d'un système de chaudière à vapeur



Principes
de base**Augmenter
l'efficacité de
la combustion**Augmenter l'efficacité
du côté de l'eau et du
condensatAugmenter l'efficacité
de la chaudière et du
systèmeCombinaison de
processus

2 Augmenter l'efficacité de la combustion

2.1 Température des gaz de combustion ou perte de gaz de combustion

2.1.1 Economiseur

Les températures des gaz de combustion à la sortie de la chaudière sont normalement supérieures d'environ 60 K à la température du produit à l'intérieur de la chaudière à vapeur.

→ Fig. 65, page 149

À une pression de service de 10 bar, qui correspond à une température de vapeur saturée de 185 °C, la température des gaz de combustion est donc d'environ 245 °C. Cela correspond à une perte de gaz de combustion d'environ 11%. Comme le montre le graphique (Fig. « Gain de rendement pour différentes tailles exemplaires d'économiseurs »), la perte de gaz de combustion peut être réduite d'environ 1 point de pourcentage, ou le rendement de la chaudière augmenté en conséquence, pour chaque réduction de 20 °C de la température des gaz de combustion.

En utilisant un économiseur intégré ou en aval, la température des gaz de combustion peut être réduite à 120 - 140 °C, selon la conception de l'économiseur, ce qui réduit considérablement les pertes de gaz de combustion. Au cours de ce processus, la chaleur des gaz de combustion est transférée à l'eau d'alimentation de la chaudière qui circule à contre-courant. La chaleur retirée du flux de gaz de combustion est transmise à la chaudière via l'eau d'alimentation chauffée. Cela augmente le rendement de la combustion de 5 à 7%.

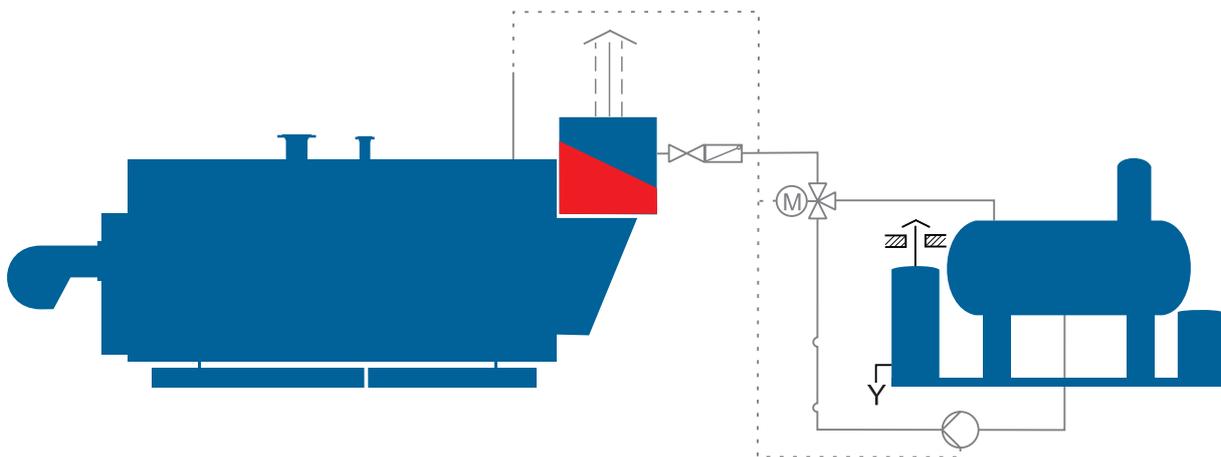


Fig. 142 Schéma simplifié d'un système de chaudière à vapeur avec économiseur intégré

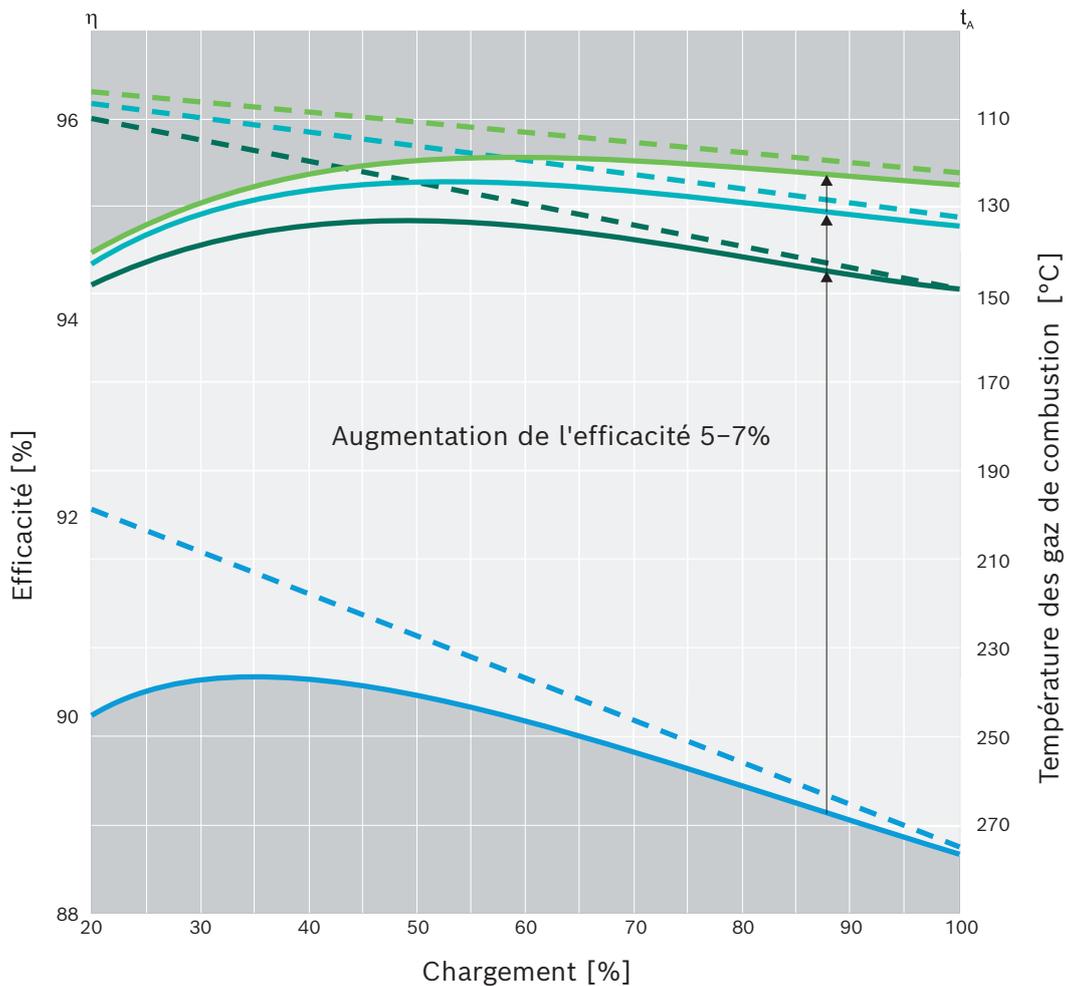


Fig. 143 Gain d'efficacité pour différentes tailles exemplaires d'économiseurs (croissant de I à III)

η	 Taille ECO 3	t_A	 Taille ECO 3
	 Taille ECO 2		 Taille ECO 2
	 Taille ECO 1		 Taille ECO 1
	 sans		 sans

Les économiseurs non réglés réalisent un gain d'efficacité optimal car, en charge partielle, la surface de chauffe disponible est utilisée de manière optimale pour refroidir les gaz de combustion.

→ Technologie – Chapitre 3.3 : Economiseur, page 148

Si la température minimale admissible de la cheminée doit être prise en compte, les économiseurs peuvent être conçus individuellement pour les différentes températures d'entrée et de sortie des gaz de combustion.

Afin d'atteindre un haut degré d'efficacité économique grâce à une faible température des gaz de combustion d'une part, et de respecter une température minimale admissible des gaz de combustion pour la cheminée d'autre part, un régulateur progressif de l'eau d'alimentation et une commande de dérivation côté eau sont des composants nécessaires de la chaudière. De nos jours, l'économiseur intégré est un élément standard d'une chaudière à vapeur dans plus ou moins toutes les applications. Il est généralement rentabilisé en quelques mois.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

2.1.2 Échangeur de chaleur à condensation

Lors de l'utilisation de la technologie de condensation, non seulement la chaleur sensible, qui est directement liée à la température, mais aussi la chaleur de condensation latente dans la vapeur d'eau sont partiellement éliminées des gaz de combustion. Il se produit un condensat liquide de gaz de fumée qui doit être retiré du parcours des gaz de fumée, neutralisé et introduit dans le réseau d'égouts.

Ceci est possible sans causer de dommages durables dus à la corrosion, grâce à l'utilisation de matériaux résistants à la corrosion dans les échangeurs de chaleur, de systèmes d'évacuation des fumées résistants à l'humidité et de cheminées en acier inoxydable.

Si les conditions cadres sont réunies, il est possible d'améliorer l'efficacité jusqu'à 7%. Pour ce faire, l'économiseur à condensation est toujours raccordé en aval de l'économiseur sec du côté des gaz de combustion.

→ Fig. 144, page 263

A titre d'exemple, le graphique suivant montre le rendement de la chaudière en fonction de sa charge.

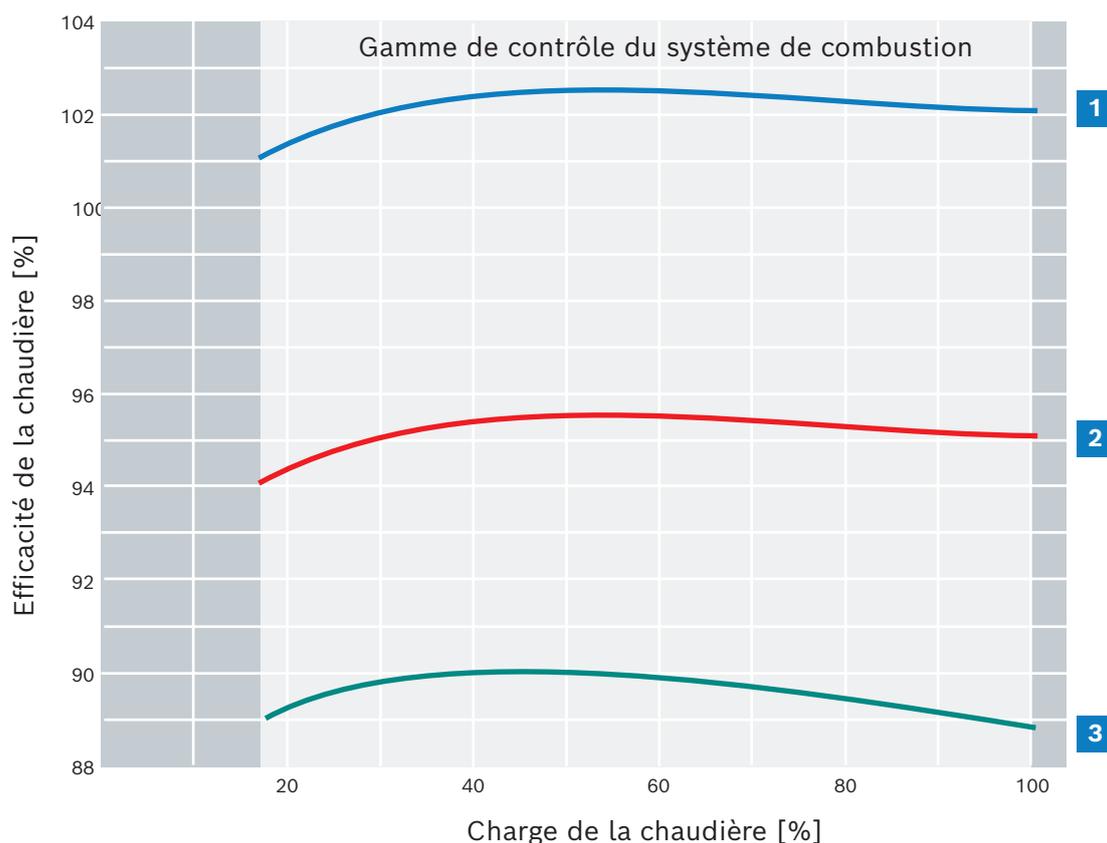


Fig. 144 Courbe de rendement en fonction de la charge de la chaudière d'une chaudière sans économiseur, d'une chaudière avec économiseur et d'une chaudière avec économiseur et échangeur de chaleur à condensation supplémentaire.

- 1** 1. Chaudière à vapeur avec économiseur et échangeur de chaleur à condensation en amont
- 2** 2. Chaudière à vapeur avec économiseur
- 3** 3. Chaudière à vapeur sans économiseur

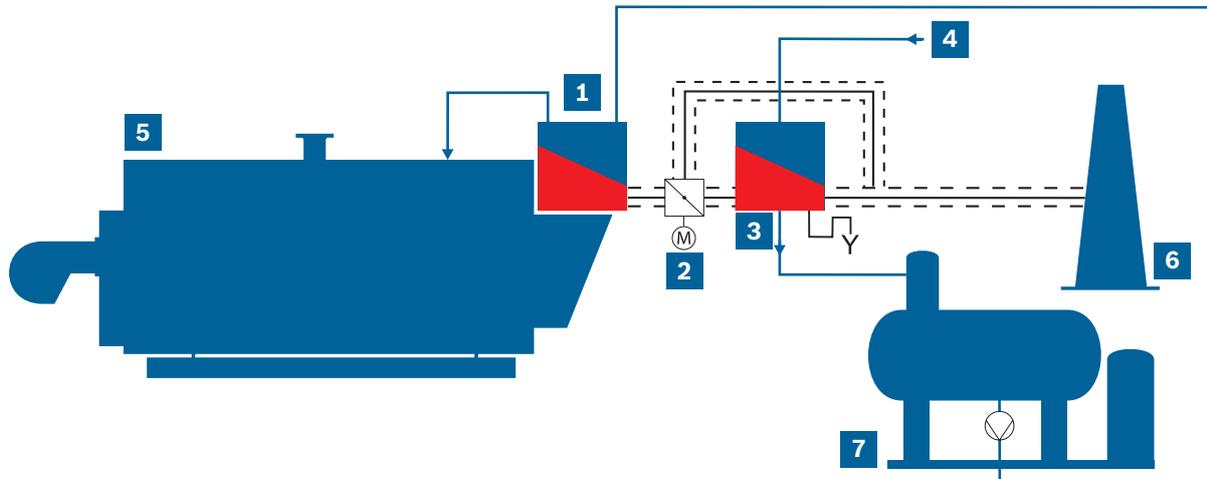


Fig. 145 Schéma simplifié d'un système de chaudière à vapeur avec économiseur intégré et échangeur de chaleur à condensation en aval.

- | | |
|---|---|
| 1 Economiseur intégré (acier) | 5 Chaudière à vapeur |
| 2 Clapet de dérivation des fumées | 6 Cheminée |
| 3 Echangeur de chaleur à condensation (acier inoxydable) | 7 Module d'alimentation en eau WSM-V |
| 4 Eau d'appoint | |

Pour faire fonctionner efficacement un échangeur de chaleur à condensation, il faut un débit d'eau suffisamment important (> 30% de la production de vapeur de la chaudière) et froid (température < 35 °C) comme puits de chaleur à basse température. Ce flux doit être disponible lorsque la chaudière à vapeur est en fonctionnement.

→ Fig. 145, page 264

Dans les systèmes de chaudières à vapeur, il peut s'agir de l'eau d'appoint utilisée pour réapprovisionner le réservoir d'eau d'alimentation.

Cela s'applique particulièrement aux systèmes de chauffage direct à la vapeur dans lesquels aucun ou très peu de condensat (< 50% de la production de vapeur) est récupéré (par exemple, lors de la fabrication de polystyrène expansé ou de pain et également pour l'humidification ou le séchage). En outre, les pertes d'eau dues aux purges de surface, aux purges de fond, à la réévaporation et aux fuites dans le système de vapeur doivent toujours être compensées.

Les quantités perdues varient considérablement en fonction du système spécifique. Elles peuvent être bien supérieures à la moitié de la quantité de vapeur produite et doivent également être remplacées par de l'eau d'appoint. La température maximale de l'eau d'appoint après traitement de l'eau est normalement de 15 °C, ce qui la rend très appropriée pour le préchauffage dans l'échangeur de chaleur à condensation.

La faible température d'entrée de l'eau permet une condensation importante des gaz de combustion et donc une utilisation optimale de la technologie de condensation. Avec cette application, le facteur de diversité entre la disponibilité de la chaleur perdue et la demande d'énergie thermique est également disponible pendant le fonctionnement de routine, ce qui signifie que cet avantage existe toujours.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

Cependant, avec des débits de condensat élevés, le débit d'eau d'appoint requis est faible, ce qui signifie qu'un échangeur de chaleur à condensation n'est pas toujours rentable.

La technologie de condensation peut néanmoins être utilisée à condition qu'un circuit d'eau à basse température approprié soit disponible. La chaleur de condensation qui est libérée peut, par exemple, être utilisée pour le chauffage de l'eau de process, en particulier dans l'industrie alimentaire, ou comme chauffage d'appoint central

Contrairement aux systèmes de chauffage des bâtiments qui ont des températures de système et de retour clairement définies, l'industrie se caractérise par une gamme extrêmement large de systèmes d'application de la vapeur et de systèmes de chauffage. Une grande diversité de systèmes d'économie d'énergie et de récupération de chaleur sont donc en concurrence les uns avec les autres.

Une analyse approfondie de tous les fournisseurs de chaleur perdue et des consommateurs de chaleur est nécessaire afin de trouver la solution la plus économique. Afin de garantir une utilisation optimale de la technique de condensation, une étroite collaboration entre les exploitants, les planificateurs et les fabricants de chaudières est particulièrement indispensable pour déterminer quelles mesures sont les plus efficaces parmi les innombrables options disponibles.

S'il n'existe pas de consommateur de chaleur approprié pour la chaleur de condensation dans les gaz de combustion, le préchauffage de l'air est une mesure qui peut être utilisée pour augmenter l'efficacité et qui est décrite dans le chapitre suivant.

2.1.3 Préchauffeur d'air



Fig. 146 Préchauffeur d'air

Le préchauffeur d'air peut être utilisé comme mesure d'amélioration de l'efficacité dans les nouveaux systèmes à installer en même temps que les économiseurs.

Au cours de ce processus, l'air de combustion à température ambiante est chauffé dans un échangeur de chaleur en amont du brûleur jusqu'à environ 80 °C. L'eau d'alimentation refroidie à 65 °C traverse alors un deuxième faisceau d'économiseurs et la température des gaz de combustion tombe alors à environ 80 °C.

Bosch propose un préchauffage de l'air pour les chaudières à simple ou double tube de fumée équipées de brûleurs duoblock. Étant donné que le brûleur est spécialement conçu à cet effet et que les dépenses d'installation pour l'échangeur de chaleur de l'air de combustion, l'économiseur supplémentaire et la tuyauterie doivent être prises en compte, le préchauffage de l'air est particulièrement intéressant d'un point de vue économique lorsque la chaudière fonctionne pendant de nombreuses heures à pleine charge, c'est-à-dire environ 4 000 h/an, ou si la puissance de la chaudière est d'environ 5 tonnes de vapeur/heure ou plus. Dans ce cas, la durée d'amortissement des coûts supplémentaires liés au préchauffage n'est souvent que de 1,5 à 2 ans. En général, il est également judicieux d'installer cet équipement sur des systèmes existants ayant un nombre élevé d'heures de fonctionnement par an, c'est-à-dire environ 6 000 heures par an.

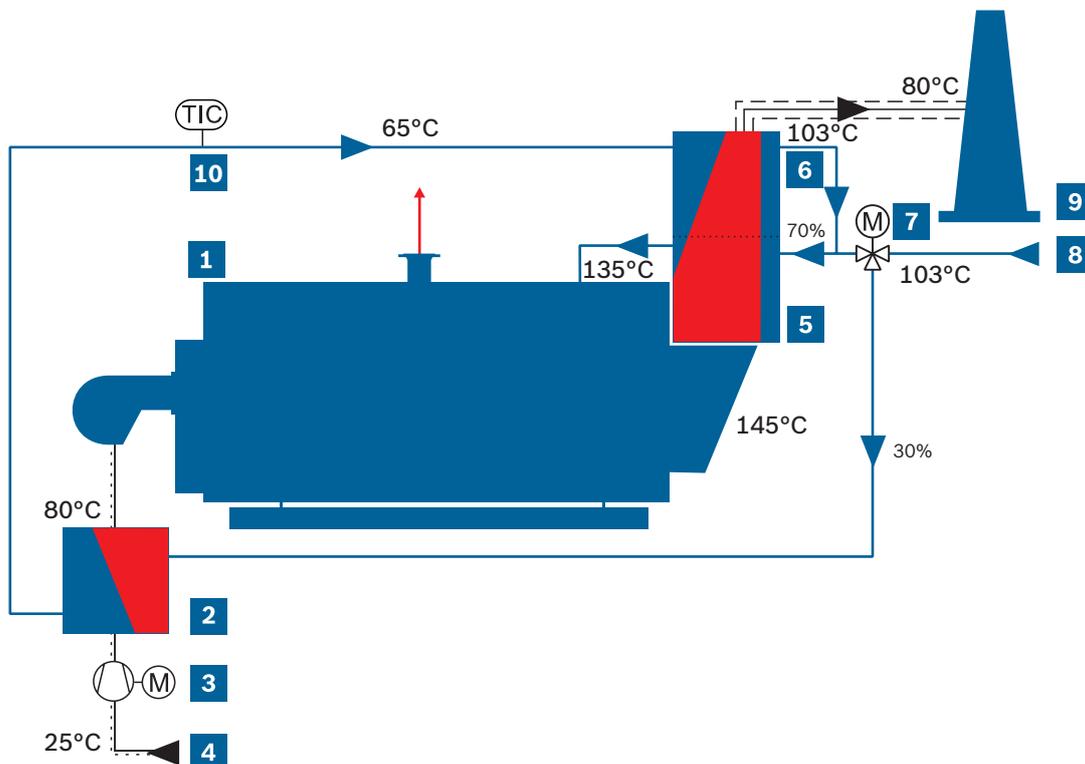


Fig. 147 Préchauffage de l'air de combustion à la chaudière à vapeur selon le brevet Bosch

- | | |
|--|---|
| 1 Chaudière à vapeur | 6 Echangeur de chaleur des gaz de combustion étape 2 |
| 2 Échangeur de chaleur, air de combustion | 7 Vanne 3 voies |
| 3 Ventilateur | 8 Eau d'alimentation |
| 4 Air de combustion | 9 Cheminée |
| 5 Echangeur de chaleur des gaz de combustion, 1er étage | 10 Régulateur de température (TIC) |



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

2.1.4 Refroidisseur d'eau d'alimentation



Fig. 148 Module de refroidissement de la bache alimentaire

La température des fumées est déterminante pour le rendement de combustion des chaudières à vapeur sans condensation des fumées. L'eau d'alimentation utilisée dans l'économiseur pour refroidir les gaz de combustion dans les systèmes avec dégazage thermique n'est cependant pas plus froide que 103 °C. Elle ne peut être utilisée que pour réduire économiquement la température des gaz de combustion dans l'économiseur à environ 120 °C.

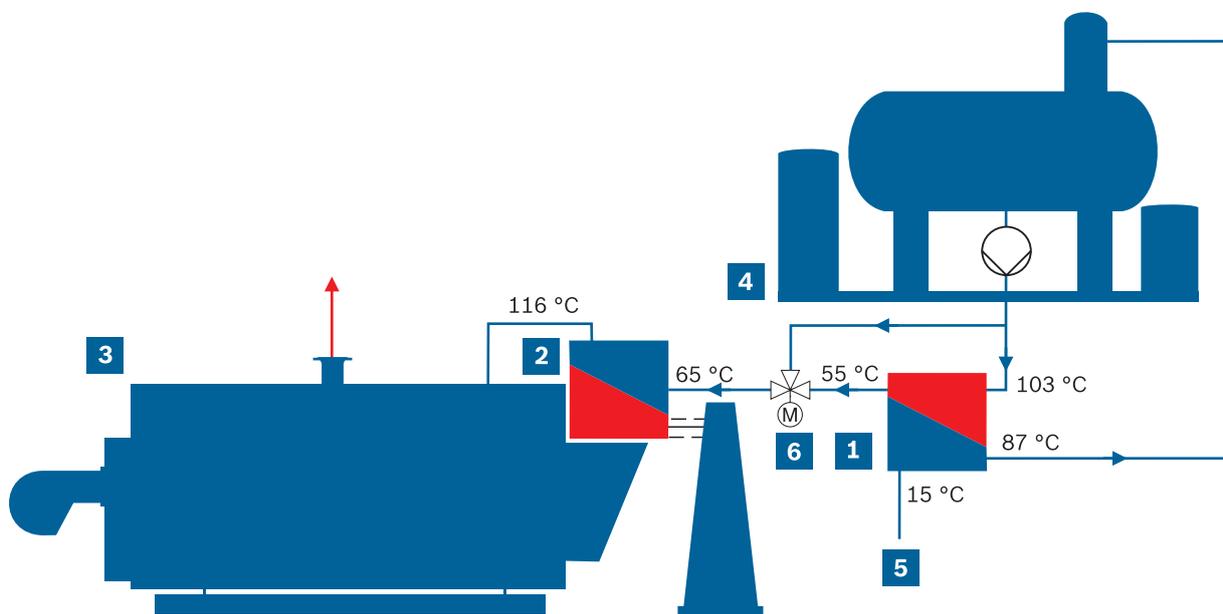


Fig. 149 Module de refroidissement de la bache alimentaire

- | | |
|--|----------------------------------|
| 1 Module de refroidissement de l'eau d'alimentation | 4 Module de service d'eau |
| 2 Economiseur | 5 Eau d'appoint |
| 3 Chaudière à vapeur | 6 Vanne 3 voies |

Cependant, si des consommateurs de chaleur avec un niveau de température inférieur à 100 °C sont présents dans le système global, par exemple le chauffage de l'eau d'appoint du système de chaudière à vapeur, un système de chauffage de bâtiment ou un système de chauffage de l'eau de traitement, la température de l'eau d'alimentation peut être réduite de 103 °C à 65 °C en utilisant un simple échangeur de chaleur à plaques peu coûteux. En raison de la différence plus importante entre la température des gaz de combustion et celle de l'eau d'alimentation, les gaz de combustion peuvent maintenant être refroidis davantage jusqu'à environ 85 °C sans nécessiter d'investissement supplémentaire dans l'économiseur. Cela augmente le rendement de la combustion et permet de réaliser jusqu'à 1,8% d'économies de combustible.

Cette mesure d'amélioration de l'efficacité peut également être adaptée aux systèmes existants pour un investissement relativement faible.

2.1.5 Résumé

L'optimisation de la réduction des pertes de gaz de combustion est une tâche prioritaire dans l'étude et conception et l'exploitation des systèmes de chaudières à vapeur. La question suivante se pose souvent à ce sujet :

Quelle mesure ou combinaison de mesures permet d'obtenir la meilleure récupération de chaleur ?

Le diagramme suivant montre les mesures de réduction des pertes de gaz de combustion décrites dans les sections précédentes en utilisant une chaudière à vapeur comme exemple.

La technologie la plus appropriée pour une rentabilité optimale d'un système de chaudière à vapeur dépend de l'application dans chaque cas. La « taille » et le niveau de température d'un puits de chaleur à basse température sont particulièrement décisifs pour le choix de la mesure d'amélioration de l'efficacité.

Exemple :

Taux d'accumulation du condensat	$c = \dot{m}_{Co} / \dot{m}_S$
Taux d'eau d'appoint	$z = 1 - c$
UL-S	10 000 x 16
Débit de vapeur du système	10 000 kg/h with $p_{avg} = 13$ bar
Taux de purge	5%

CAS	COMPOSANT	EFFICACITE	
		Composants	total
1	Chaudière	88,9%	---
2	Chaudière + économiseur	88,9% + 6,5%	95,4%
3	Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec $z = 0,3 / \alpha = 12\%$)	88,9% + 6,5% + 2,8%	98,2%
4	Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec $z = 0,5 / \alpha = 20\%$)	88,9% + 6,5% + 3,8%	99,2%
5	Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec $z = 1 / \alpha = 34\%$)	88,9% + 6,5% + 7,6%	100,9%



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

CAS	COMPOSANT	EFFICACITE	
		Composants	total
6	Chaudière + économiseur + préchauffage de l'air (de 20 °C à 65 °C)	88,9% + 6,5% + 1,7%	97,1%
7	Chaudière + économiseur + refroidissement de l'eau d'alimentation (avec z = 0,3)	88,9% + 6,5% + 0,6%	96,0%

Tab. 27 Études de cas de combinaisons de mesures pour une meilleure récupération de la chaleur

Les puits utilisés pour l'échangeur de chaleur à condensation sont généralement de l'eau d'appoint pour la production de vapeur, l'appoint de chauffage central ou le chauffage de l'eau de process. Il en va de même pour le refroidisseur d'eau d'alimentation qui constitue une alternative particulièrement économique à l'échangeur de chaleur à condensation si le débit d'eau à réchauffer est relativement faible ou si, comme dans le cas du chauffage, la chaleur ne peut être utilisée en continu toute l'année. S'il n'existe pas de source de chaleur (ou seulement une source de chaleur caractérisée par de fortes fluctuations dans le temps), il est recommandé d'utiliser le préchauffage de l'air

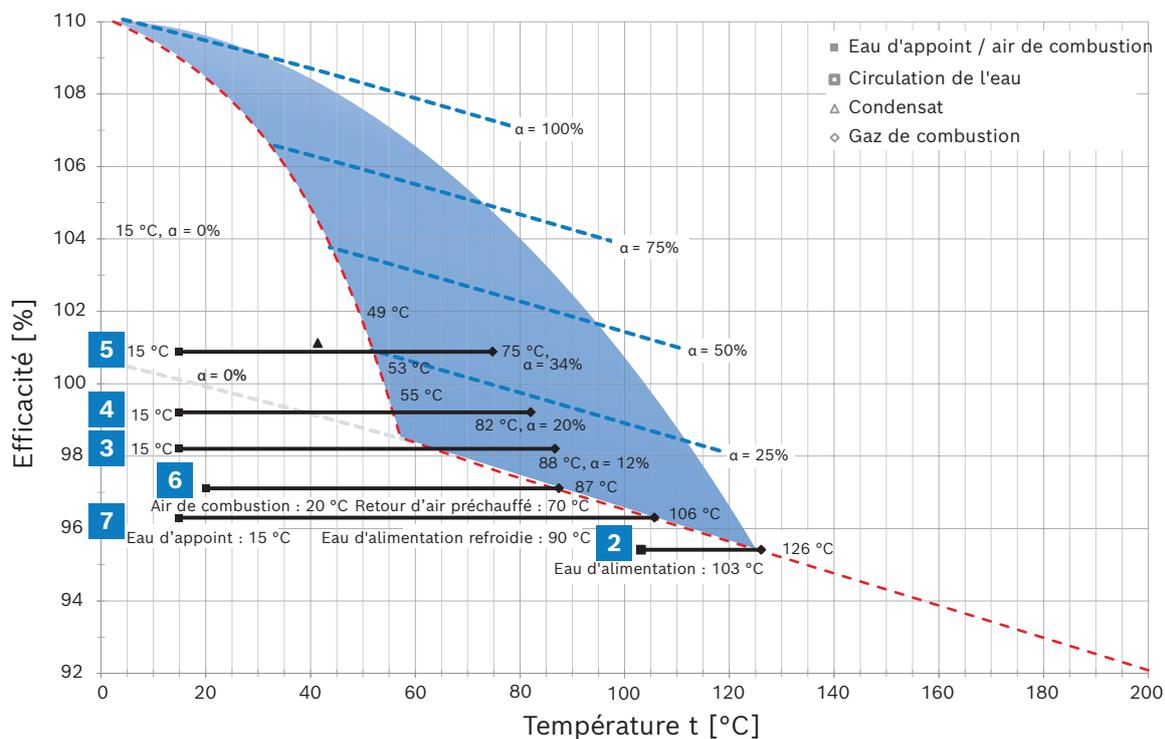


Fig. 150 Diagramme température-efficacité pour les systèmes de chaudières à vapeur avec mesures pour augmenter l'efficacité

- 1 Chaudière (non représentée)
- 2 Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec z = 1 / α = 34%)
- 3 Chaudière + économiseur
- 4 Chaudière + économiseur + préchauffage de l'air (de 20 °C à 65 °C)
- 5 Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec z = 0,3 / α = 12%)
- 6 Chaudière + économiseur + refroidissement de l'eau d'alimentation (avec z = 0,3)
- 7 Chaudière + économiseur + échangeur de chaleur à condensation (avec z = 0,5 / α = 20%)

2.2 Augmentation du rendement du système de brûleur

2.2.1 Ventilateur d'air de combustion

Un mélange combustible/air optimal est nécessaire pour obtenir une combustion complète. Cependant, les systèmes de chaudières industrielles fonctionnent souvent en charge partielle. Dans ce mode de fonctionnement, l'alimentation en combustible et en air est réduite.

Le ventilateur d'air de combustion sans contrôle de vitesse fonctionne également dans les plages de charge partielle à la vitesse nominale car, dans ce cas, la quantité d'air fournie pour la combustion est limitée uniquement par la fermeture des registres d'air. Dans ce cas, le ventilateur consomme une grande quantité d'énergie électrique qui disparaît sans aucun bénéfice du fait de la restriction. Si la quantité d'air est principalement modifiée par la modulation de la vitesse du ventilateur, la consommation d'énergie dans les plages de charge partielle est réduite (environ 40% peuvent être potentiellement économisés).

Le comportement en matière de génération de bruit va également dans le même sens que la réduction de la consommation d'énergie. Tous les systèmes qui fonctionnent souvent dans des plages de charge partielle pendant des périodes prolongées devraient être équipés de ventilateurs à vitesse réglée.

Environ 40% de l'énergie électrique peut être économisée en utilisant un profil de charge du brûleur avec une utilisation moyenne de la capacité. Cela permet normalement de réaliser des économies annuelles d'un montant à quatre chiffres en euros, ce qui signifie qu'un brûleur à vitesse réglée s'amortit normalement en un an.

Exemple :

Puissance de la chaudière	10 t/h
Ventilateur du brûleur	22 kW
Économie d'électricité	environ 48 000 kWh/a (42%)
Économie de coûts	environ 6 720 €/a (avec un prix de l'électricité de 0,14 €/kWh)

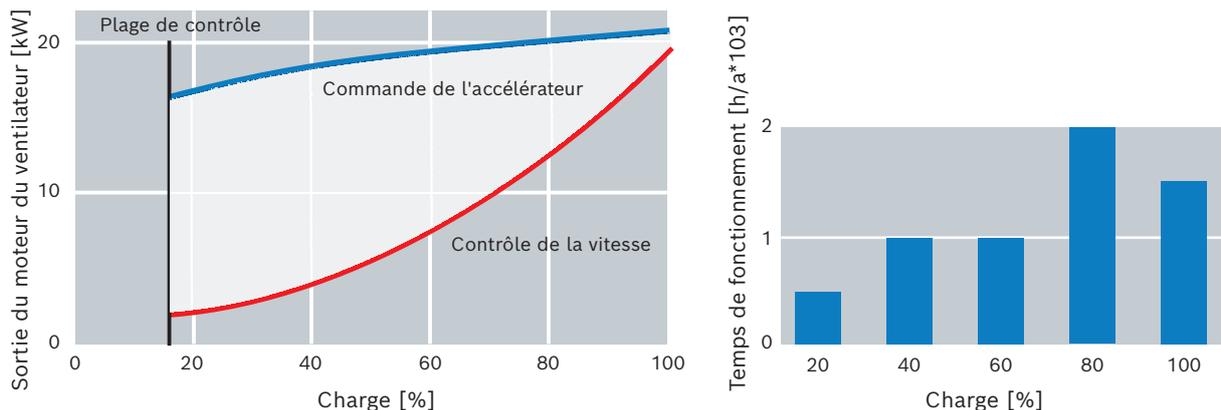


Fig. 151 Économies d'énergie grâce au ventilateur du brûleur à vitesse contrôlée



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

2.2.2 Excès d'air

Dans le domaine de la combustion, la situation idéale est la combustion stœchiométrique. Cela se produit lorsque toutes les molécules de carburant réagissent complètement avec l'oxygène sans laisser de carburant ou d'oxygène non brûlé.

Si l'oxygène atmosphérique est insuffisant pendant le processus de combustion, une réaction de combustion incomplète peut se produire. La conséquence négative de ce phénomène serait la formation de monoxyde de carbone, un gaz très toxique. Si la quantité d'air est augmentée trop rapidement, toutes les molécules de combustible ont déjà réagi avec les molécules d'oxygène. Les molécules d'oxygène restantes forment un surplus qui n'est pas nécessaire. Comme l'air ambiant froid est normalement utilisé comme air de combustion, cet air froid est finalement chauffé avec un volume inutilement élevé d'air excédentaire, qui est rejeté dans l'atmosphère avec les gaz de combustion.

Un réglage optimal de l'air de combustion est donc important pour un fonctionnement efficace et une combustion sûre et propre. Cela est dû, d'une part, aux fluctuations de la pression, de la température et de l'humidité de l'air et, d'autre part, aux fluctuations de la qualité du combustible, qui augmentent. D'autre part, une certaine quantité d'air excédentaire par rapport à l'idéal théorique doit être spécifiée pour fournir une marge de sécurité. Enfin, le monoxyde de carbone, un gaz toxique et explosif, ne doit en aucun cas se former. Ces réglages sont normalement effectués et contrôlés lors de la mise en service du système de chaudière et lors de l'entretien trimestriel ou semestriel.

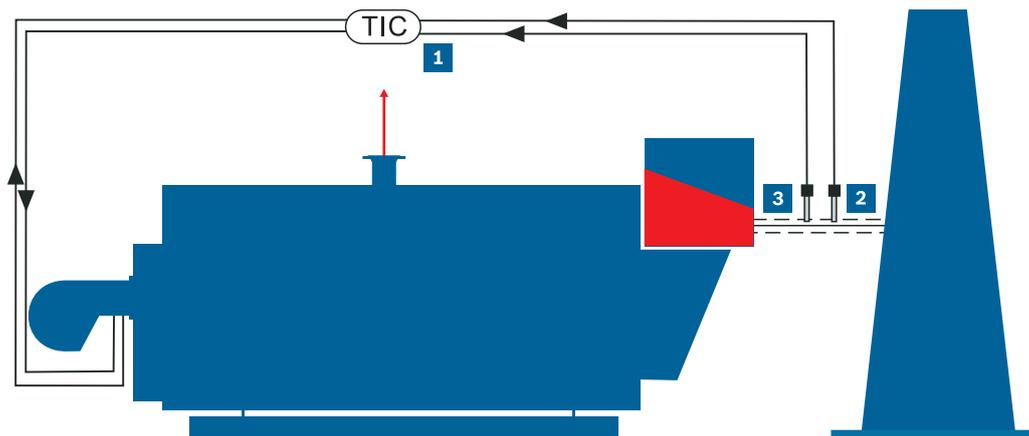


Fig. 152 Contrôle d'O₂ et CO dans une chaudière à vapeur (représentation simplifiée)

1 Contrôle	—	vapeur
2 Sonde de test O ₂	----	Gaz de combustion
3 Sonde de test CO	----	

Afin de pouvoir également faire fonctionner les systèmes plus près du point de fonctionnement optimal dans des conditions variables, des unités de mesure et de contrôle en continu sont nécessaires. Un contrôle de l'O₂ se compose essentiellement d'une sonde de mesure de l'oxygène installée dans le flux de gaz de combustion et d'une unité de contrôle. Celle-ci enregistre en permanence la teneur en oxygène résiduel dans les gaz de combustion et transmet le signal à la commande du brûleur qui ajuste la quantité d'air en fonction des besoins.

Des électrodes combinées (O₂ et CO) sont disponibles depuis quelques années. En combinaison avec la mesure du CO, l'excès d'air λ peut être réglé plus précisément à la limite du CO. Lors de l'utilisation d'un contrôle de l'O₂ et du CO, le réglage normalement utilisé pour l'excès d'air à pleine charge de 3 à 4% en volume d'oxygène dans les gaz de combustion peut être réduit à 0,5 à 1,0% en volume d'oxygène. Cela équivaut à une réduction des pertes de gaz de combustion d'environ 1 point de

pourcentage à la même température de gaz de combustion. Le contrôle du CO ne peut pas être utilisé lorsque le combustible est du fioul.

1 point de pourcentage à la même température des fumées. Le contrôle du CO ne peut pas être utilisé lorsque l'on utilise du pétrole comme carburant.

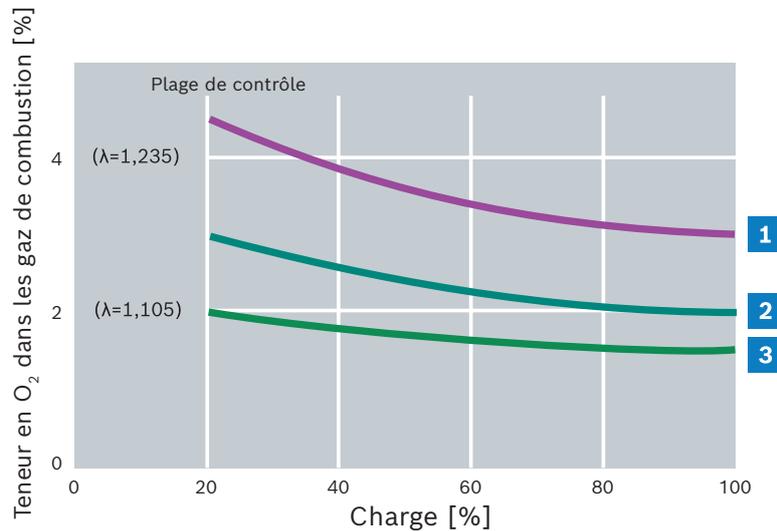


Fig. 153 Residual oxygen content and excess air using O₂ and CO control via the burner load

- 1 Sans contrôle
- 2 Avec contrôle O₂
- 3 Avec contrôle du CO

2.2.3 Réglage de la puissance

Dans les installations existantes, mais aussi parfois dans les nouvelles installations, la puissance disponible de la chaudière est bien supérieure à la puissance de vapeur réellement requise.

Les causes de ce phénomène sont souvent les suivantes

- **Réduction de la demande dans les systèmes existants**, par exemple parce que les consommateurs n'existent plus ou que les potentiels existants de récupération de chaleur ont été exploités par la suite.
- **Surdimensionnement lors de l'étude et conception de nouveaux systèmes**, par exemple en raison de facteurs de diversité incorrects des consommateurs, de la prise en compte de réserves de puissance beaucoup trop élevées ou d'une expansion des consommateurs déjà envisagée mais pas encore réalisée.

En conséquence, le taux d'extraction de vapeur est trop faible par rapport à la puissance de la chaudière, ce qui entraîne un nombre élevé d'opérations d'allumage et d'extinction du brûleur. Cela entraîne des pertes de préventilation et aussi des contraintes dues aux fluctuations de température qui peuvent être extrêmes, surtout si les temps de préventilation sont longs.

→ Efficacité – Chapitre 2.2.4 : Pré-ventilation, page 273

Les mesures suivantes peuvent être prises pour compenser une puissance trop élevée de la chaudière :



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

- Installation de régulateurs de faible charge qui reportent la montée en puissance immédiate après le démarrage du brûleur
- Utilisation de régulateurs de puissance qui permettent au brûleur d'adhérer à la phase de faible charge pendant une période illimitée
- Utilisation de brûleurs à grande plage de régulation
- Adaptation de la puissance du brûleur aux besoins réels. Cela nécessite la modification du brûleur ou l'ajout d'un brûleur avec une plage de puissance plus petite.

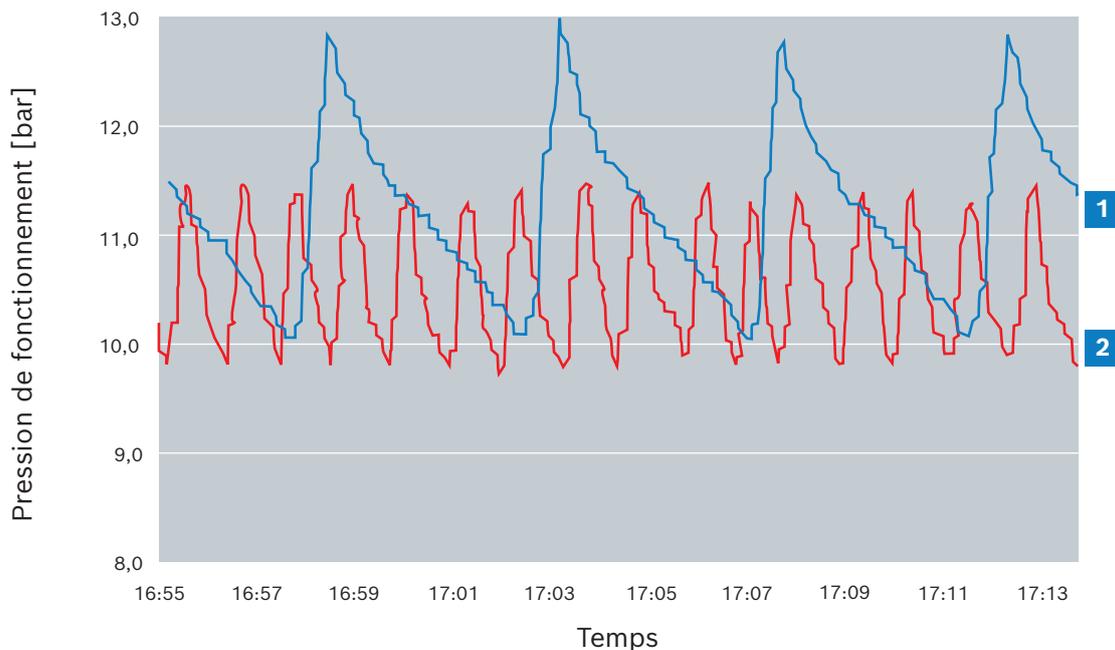


Fig. 154 Courbe de pression avant et après réglage de la puissance du brûleur

- 1 Courbe de pression avant réglage de la puissance du brûleur
- 2 Courbe de pression après réglage de la puissance du brûleur

2.2.4 Pré-ventilation

Avant chaque démarrage du brûleur, il faut s'assurer qu'il n'y a pas de mélanges inflammables dans les voies d'évacuation des gaz de combustion. Cet objectif est atteint dans la pratique par la pré-ventilation. Avant que le brûleur n'allume la flamme, le ventilateur d'air de combustion se met en marche et pousse l'air ambiant à travers les parcours de fumées chaudes qui sont encore à la température d'ébullition. L'air froid est ainsi réchauffé et la chaudière en tire de la chaleur. Un renouvellement suffisant de l'air est prescrit, ce qui peut entraîner une perte d'énergie importante, notamment en cas de démarrages fréquents du brûleur.

En règle générale, le temps de pré-ventilation doit être dimensionné de manière à obtenir un renouvellement d'air de 2 à 3 fois, par rapport à l'ensemble du système de gaz de combustion. La conception doit être convenue avec l'autorité de contrôle technique. Les démarrages fréquents du brûleur ne sont pas seulement peu économiques, ils ont également un effet négatif sur la durée de vie. L'idéal est de viser 1 à 2 cycles d'allumage du brûleur par heure. S'il y a plus de 4 cycles d'allumage du brûleur par heure, il faut prendre des mesures pour réduire le nombre de cycles d'allumage du brûleur, par exemple en ajustant la puissance du brûleur.

→ Efficacité – Chapitre 2.2.3 : Réglage de la puissance, page 272

$$Q_{l,pre-ventilation} = 1,26 \cdot \dot{Q}_{bu} \cdot \Delta T \cdot t \cdot 10^{-7}$$



F34. Équation pour le calcul approximatif des pertes par préventilations

$Q_{l,pre-ventilation}$	Perte de pré-ventilation du système [kWh].
\dot{Q}_{bu}	Capacité de combustion du système [kW]
ΔT	Différence de température entre le fluide dans la chaudière et l'air ambiant aspiré [K].
t	Somme des temps d'ouverture et de fermeture du servomoteur et du temps de pré-ventilation

$$\dot{Q}_{bu} \approx \dot{m}_s \cdot \frac{0,65}{\eta}$$



F35. Équation pour le calcul approximatif du rendement de la combustion du système

\dot{Q}_{bu}	Capacité de combustion du système [kW]
\dot{m}_s	Rendement de la vapeur [kg/h]
η	Rendement de la chaudière, y compris l'économiseur [%].

$$\Delta T = T_{boi} - T_A = T_s (p_{avg} = 13 \text{ bar}) - T_L$$



F36. Équation pour le calcul de la différence de température entre le fluide dans la chaudière et l'air ambiant aspiré

ΔT	Différence de température entre le fluide dans la chaudière et l'air ambiant aspiré [K].
T_{boi}	Températures du fluide dans la chaudière [K].
T_A	Températures de l'air ambiant aspiré [K].
T_s	Point d'ébullition du fluide dans la chaudière à une pression spécifique p_{avg} [K].

$$t = t_1 + t_2 + t_v$$



F37. Equation pour le calcul de la somme des temps d'ouverture et de fermeture de l'actionneur et du temps de pré-ventilation

t	Somme des temps d'ouverture et de fermeture de l'actionneur et du temps de pré-ventilation [s].
t_1	Temps d'ouverture de l'actionneur (environ 30 à 60 secondes) [s].
t_2	Temps de fermeture de l'actionneur (environ 30 à 60 secondes) [s].
t_v	Temps de pré-ventilation (≤ 120 s) [s]

$$t = 30 \text{ [s]} + 30 \text{ [s]} + 70 \text{ [s]} = 130 \text{ [s]}$$



B14. Exemple de calcul pour déterminer la somme des temps d'ouverture et de fermeture de l'actionneur et du temps de pré-ventilation



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	--	---	--	--------------------------

$$\Delta T = 195 \text{ [}^\circ\text{C]} - 25 \text{ [}^\circ\text{C]} = 170 \text{ [K]}$$



B15. Exemple de calcul pour déterminer la différence de température entre le fluide dans la chaudière et l'air ambiant aspiré

$$Q_{\text{bu}} \approx 10\,000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right] \cdot \frac{0,65}{93\%} \approx 6\,700 \text{ [kW]}$$



B16. Exemple de calcul pour déterminer la puissance de combustion approximative de l'installation.

$$Q_{\text{l,pré-ventilation}} = 1,26 \cdot 6\,700 \text{ [kW]} \cdot 170 \text{ [K]} \cdot 130 \text{ [s]} \cdot 10^{-7} = 18,7 \text{ [kWh]}$$



B17. Exemple de calcul pour déterminer les pertes approximatives de pré-ventilation.

Avec une moyenne de 4 démarrages de brûleur par heure et une charge moyenne de la chaudière de 20%, la perte de chaleur est de 6% de la puissance de la chaudière.

Si l'on extrapole sur un temps écoulé de 4 000 h/a, on obtient une perte de chaleur totale d'environ 300 MWh/a ; en termes financiers, cela représente une perte de 13 500 € par an.

$$18,7 \text{ [kWh]} \cdot 4\,000 \left[\frac{\text{h}}{\text{a}} \right] \cdot 4 \left[\frac{1}{\text{h}} \right] = 299 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right]$$



B18. Exemple de calcul pour déterminer la perte annuelle approximative de préventilation [MWh].

$$300 \left[\frac{\text{MWh}}{\text{a}} \right] \cdot 45,0 \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] = 13\,500 \left[\frac{\text{€}}{\text{a}} \right]$$



B19. Exemple de calcul pour déterminer la perte annuelle approximative de préventilation [€]



Principes de base

Augmenter l'efficacité de la combustion

Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat

Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système

Combinaison de processus

3 Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat

3.1 Purge de surface et purge de fond

Selon le type de traitement de l'eau, l'eau d'alimentation de la chaudière à vapeur contient des substances qui s'accumulent à la suite de l'évaporation à l'intérieur de la chaudière et qui sont toujours nuisibles ou perturbent le fonctionnement de la chaudière.

→ Fig. 89, page 178

Une partie de l'eau d'alimentation doit donc être évacuée par la vanne de purge de surface et la vanne de purge de fond. Le taux de purge a est normalement compris entre 3 et 5% par rapport à la quantité d'eau d'alimentation.

Pour que la qualité de l'eau de chaudière soit toujours acceptable pour la chaudière et le système et pour éviter des quantités de purge de surface inutilement élevées, la vanne de purge de surface et la vanne de purge de fond doivent être conçues de manière à pouvoir être contrôlées.

Comme l'eau retirée de la chaudière est au point d'ébullition (par exemple, à une température de 195 °C à 13 bars), une quantité considérable d'énergie est perdue si aucun système de récupération de chaleur n'est installé

L'utilisation d'un module d'expansion et de récupération de chaleur permet de restituer jusqu'à 90% de cette énergie au système de chaudière et d'économiser de grandes quantités d'eau de refroidissement.

Avec une pression de fonctionnement moyenne de 13 bar et un taux de purge de 5%, la perte d'énergie sans récupération de chaleur est d'environ 1,4% de la puissance de la chaudière. Dans ce cas, la récupération de chaleur permet d'économiser environ 400 000 kWh/a (sur la base d'une chaudière de 10 t/h fonctionnant à pleine charge pendant 4 200 heures).

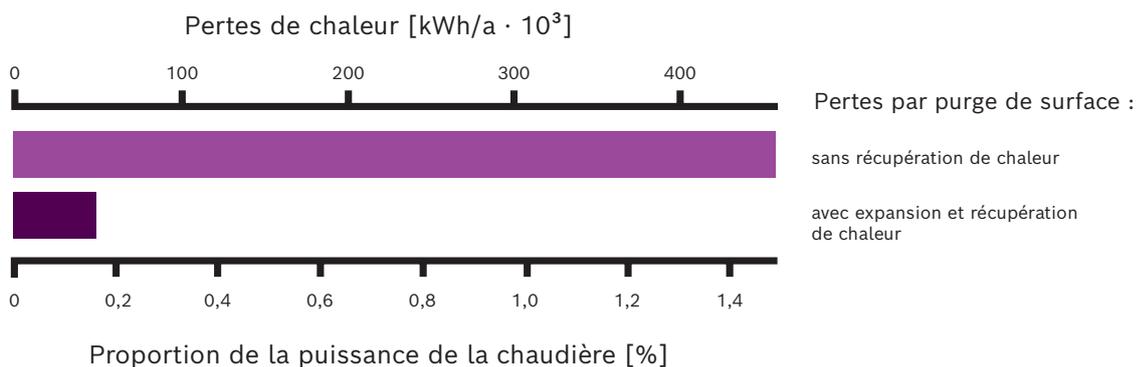


Fig. 155 Économies potentielles de l'expansion et de la récupération de chaleur (EHM ou EHB)

Après la purge de surface, l'eau usée est détendue dans le module de récupération de chaleur (EHM ou EHB) à la pression de la cuve d'eau d'alimentation et renvoyée dans l'EHM ou l'EHB, ce qui permet d'économiser la vapeur d'échauffement. Un échangeur de chaleur à plaques installé en aval du vase d'expansion refroidit davantage la saumure restante. La chaleur acquise est utilisée pour préchauffer l'eau d'appoint, ce qui permet également d'économiser la vapeur d'échauffement pour le dégazage.

→ Produits – Chapitre 4.6 : Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM, page 350

→ Produits – Chapitre 4.7 : Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB, page 351

Seule l'eau de purge de fond ne peut être utilisée ici car les solides qu'elle contient peuvent causer des problèmes dans le réducteur de pression et l'échangeur de chaleur.

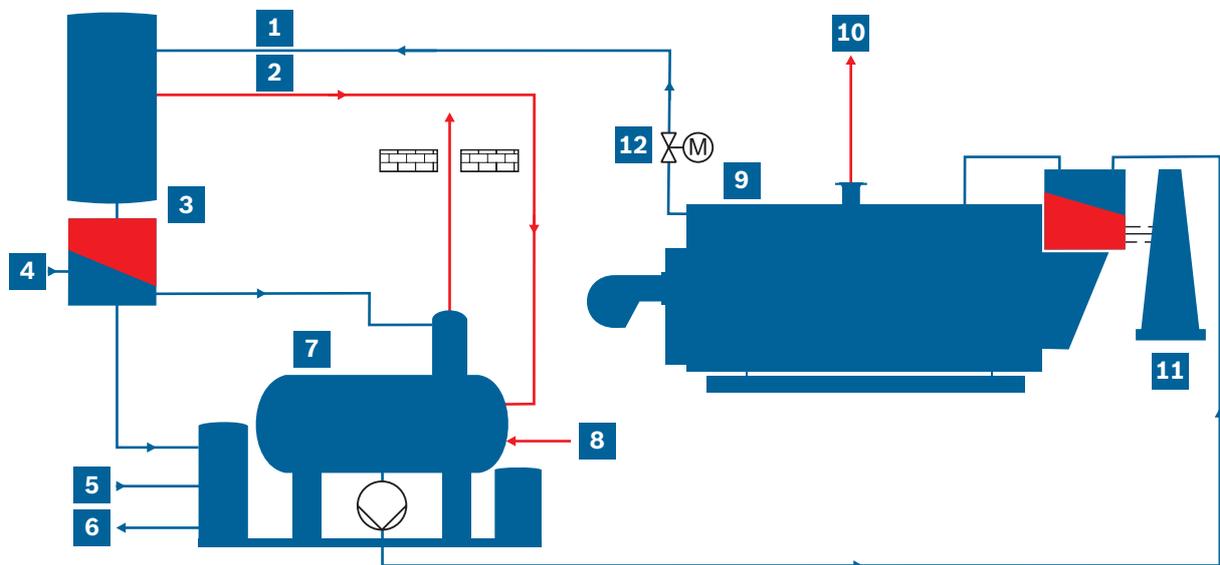


Fig. 156 Représentation schématique de la dilatation et de la récupération de chaleur

— Eau
— Vapeur

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Eau de chaudière saumure | 7 Vase d'eau d'alimentation |
| 2 Vapeur d'expansion | 8 Vapeur d'échauffement |
| 3 Module d'expansion et de récupération de chaleur | 9 Chaudière à vapeur |
| 4 Eau d'appoint | 10 Vapeur |
| 5 Eau de refroidissement | 11 Cheminée |
| 6 Vers l'égout | 12 Vanne de dessalement |



Principes
de base

Augmenter
l'efficacité de
la combustion

**Augmenter l'efficacité
du côté de l'eau et du
condensat**

Augmenter l'efficacité
de la chaudière et du
système

Combinaison de
processus



Fig. 157 *Module d'expansion et de récupération de chaleur EHB*

Le module correspondant est disponible pour les nouveaux systèmes avec cuve de purge de fond intégrée et également comme solution de rétrofit pour une cuve de purge de fond existante

3.2 Vapeur d'échappement

En principe, dans les systèmes de désaération intégrale thermique, les vapeurs d'échappement, également appelées vapeur résiduelle, s'accumulent. Les vapeurs d'échappement sont nécessaires pour éliminer les gaz nocifs tels que l'oxygène (O_2) et le dioxyde de carbone (CO_2) du réservoir d'eau d'alimentation. Dans de nombreuses chaufferies, cela se voit aux panaches de vapeur qui sortent normalement par le toit.

Comme le réservoir d'eau d'alimentation est normalement pressurisé toute l'année pour éviter la perméation de l'oxygène et les problèmes de corrosion qui y sont associés, des vapeurs d'échappement sont produites en permanence. Des vapeurs d'échappement sont également produites lorsque la chaudière est en mode veille.

Deux options sont possibles pour réduire les pertes de vapeur d'échappement :

- **Vanne d'évacuation des vapeurs d'échappement contrôlée**

La soupape de décharge contrôlée des vapeurs d'échappement empêche l'écoulement des vapeurs d'échappement pendant les phases où la désaération n'est pas nécessaire.

Cela permet d'économiser d'énormes quantités d'énergie, notamment dans les installations présentant un pourcentage élevé de temps d'arrêt, par exemple en cas de fonctionnement en deux équipes. La durée d'ouverture de la vanne de décharge des vapeurs d'échappement peut être adaptée à la demande réelle en analysant l'eau en continu, ce qui inclut également la mesure de la concentration d'oxygène dans le réservoir d'eau d'alimentation. Cela permet également de réduire les pertes.

- **Refroidisseur de vapeur**

L'eau contenue dans la vapeur d'échappement se condense dans le refroidisseur de vapeur. L'énergie thermique produite lors de la condensation et du refroidissement de la vapeur d'échappement à $\leq 35^\circ C$ est utilisée pour chauffer l'eau d'appoint et réduit ainsi la quantité de vapeur d'échauffement nécessaire au niveau de la cuve d'eau d'alimentation. Comme le condensat qui s'accumule dans le refroidisseur de vapeur est riche en oxygène et en dioxyde de carbone et a un pH très faible, il est évacué par le récipient de purge inférieur dans l'égout. En plus de réchauffer l'eau d'appoint, il peut également être utilisé pour le chauffage de l'eau de process ou pour l'appoint du chauffage central. Comme le système de désaération fonctionne plus ou moins en continu, la durée d'amortissement est presque toujours inférieure à un an. Un refroidisseur de vapeur peut également être facilement intégré aux systèmes existants.

→ Technologie – Chapitre 4 : Modules pour chaudières à vapeur, page 343



Principes de base

Augmenter l'efficacité de la combustion

Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat

Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système

Combinaison de processus

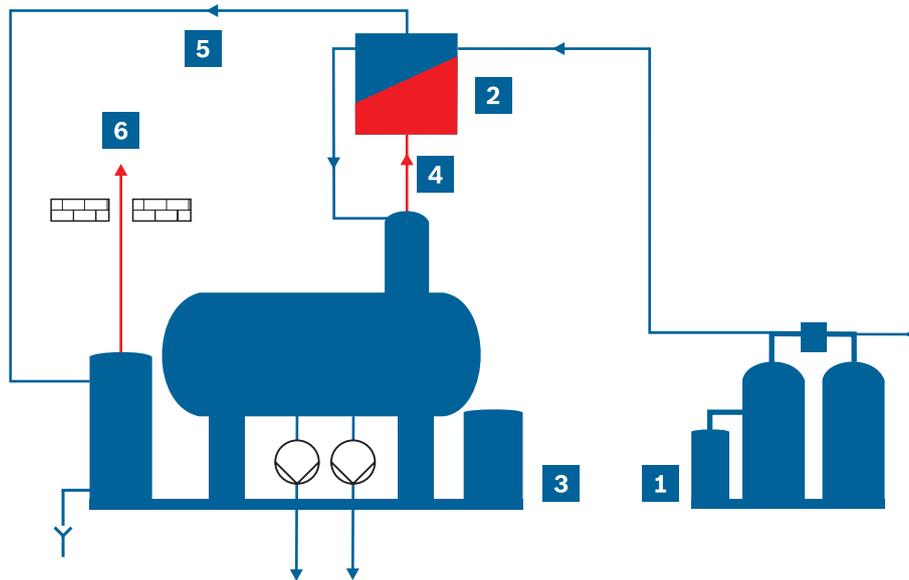


Fig. 158 Représentation schématique du refroidisseur de vapeur utilisé pour la désaération thermique complète (représentation très simplifiée)

- | | |
|---|---|
| 1 Module de traitement de l'eau WTM | 4 Vapeurs d'échappement (103 °C) |
| 2 Refroidisseur de vapeur | 5 Condensat de la vapeur d'échappement (environ 35 °C) |
| 3 Module de service de l'eau WSM-VVC | 6 Via le toit vers l'atmosphère |



Fig. 159 Refroidisseur de vapeur

3.3 Déminéralisation

Un système de déminéralisation de l'eau douce peut être installé en aval de l'adoucisseur d'eau qui est requis dans toutes les chaudières à vapeur.

→ Technologie – Chapitre 4.1.3 : Déminéralisation, page 181

Il permet notamment de réduire le taux de purge de surface, ce qui réduit à son tour les pertes de chaleur et d'eau de la chaudière. Il réduit la conductivité de l'eau de la chaudière, ce qui améliore également la qualité de la vapeur. Une méthode couramment utilisée est l'osmose inverse au moyen d'un module à membrane.

→ Technologie – Chapitre 4.1.3 : Déminéralisation Reverse osmosis,, page 287

3.4 Gestion du condensat

Le condensat se forme partout où de la chaleur est libérée par le système de vapeur. La vapeur saturée libère la chaleur lors du passage de la phase gazeuse à la phase liquide, c'est-à-dire en se condensant.

→ Technologie – Chapitre 4.4 : Management de condensat, page 199

Le condensat produit est au point d'ébullition (par exemple, avec le drainage des conduites de vapeur) ou est surfondu (par exemple, avec les échangeurs de chaleur).

Bien qu'en cas d'utilisation d'échangeurs de chaleur, le surrefroidissement dépende du type de contrôle de l'échangeur de chaleur utilisé, il est souvent compris entre 10 et 30 K.

Dans presque tous les cas, il est judicieux, y compris sur le plan économique, de collecter le condensat produit par les consommateurs de chaleur et de le renvoyer dans le circuit de la chaudière à vapeur ou de l'utiliser à d'autres fins

Les coûts sont réduits grâce à l'enthalpie qui est encore présente dans le condensat, et parce que moins d'eau douce est nécessaire, ce qui signifie également moins de pertes de purge de surface et de purge de fond.

Les quantités maximales de condensat des consommateurs de vapeur doivent être prises en compte lors du dimensionnement du réservoir de condensat et des pompes à condensat correspondantes. Il faut également tenir compte du délai qui existe lorsque le condensat s'écoule vers le bac à condensat. Le réservoir de condensat doit toujours être dimensionné de manière à pouvoir contenir provisoirement au moins la quantité de condensat qui s'accumule en une demi-heure environ entre le niveau d'eau le plus bas et le plus haut. Le débit des pompes à condensat doit être au moins 3 fois supérieur aux taux horaires d'accumulation de condensat en fonctionnement normal. Il convient également d'accorder une attention particulière au démarrage des consommateurs de chaleur, car c'est à ce moment-là que le taux d'accumulation des condensats est le plus élevé en raison de l'opération de chauffage.

Selon le niveau de pression et de température, l'enthalpie du condensat est encore considérable aux températures normales de 80 - 140 °C par rapport à l'eau d'appoint qui est normalement froide avec une température d'environ 15 °C. Moins d'eau douce et donc moins d'énergie pour le chauffage sont nécessaires lorsque le condensat est renvoyé dans le réservoir d'eau d'alimentation. De plus, le



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	--	--	--------------------------

condensat n'a pas besoin d'être traité chimiquement et peut être envoyé directement dans le réservoir d'eau d'alimentation.

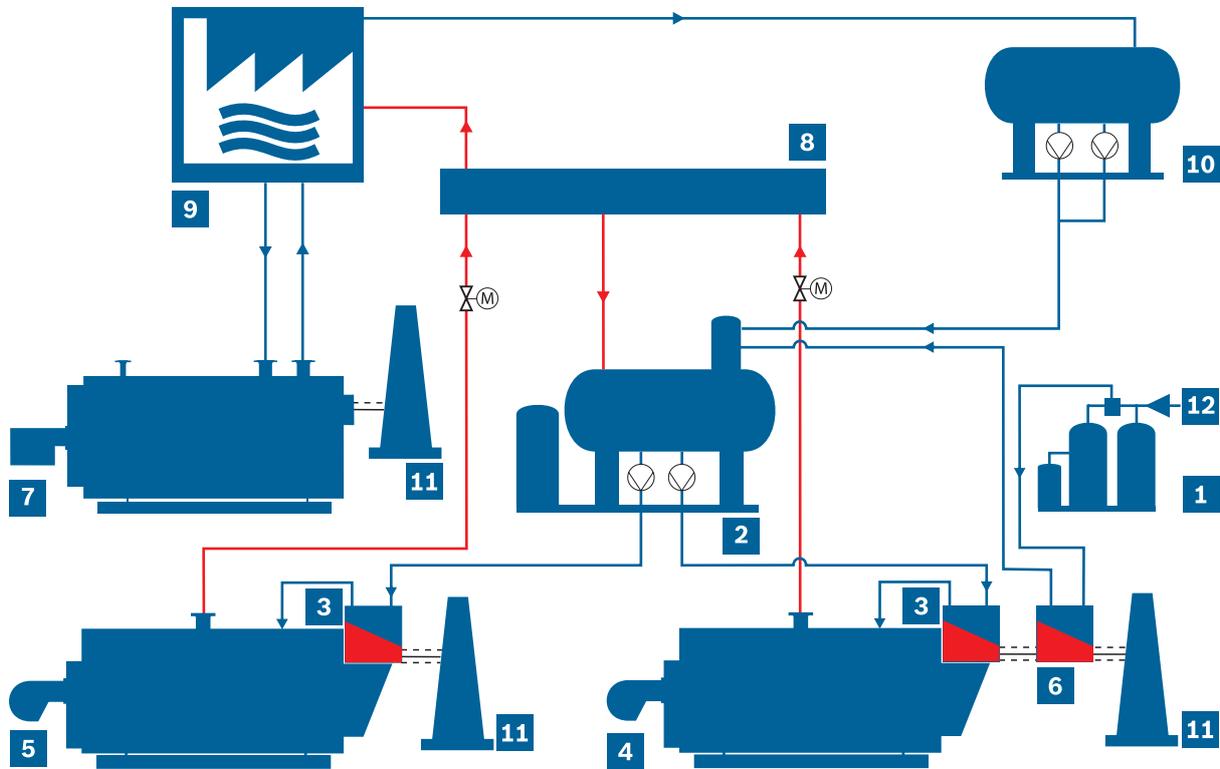


Fig. 160 Représentation schématique d'un système de condensat ouvert

- | | |
|--|--|
| 1 Module de traitement de l'eau | 7 Chaudière de chauffage UT-L |
| 2 Module de traitement de l'eau WSM-V | 8 Distributeur de vapeur |
| 3 Economiseur ECO | 9 Consommateur |
| 4 Chaudière à vapeur UL-S | 10 Module de service des condensats CSM |
| 5 Chaudière à vapeur UL-S | 11 Cheminée |
| 6 Échangeur de chaleur à condensation | 12 Eau douce |

3.4.1 Vapeur d'expansion

Si le condensat est collecté dans un réservoir non pressurisé, on parle d'un système de condensat ouvert. Le niveau de température du condensat est alors toujours $< 100\text{ °C}$ et le condensat peut absorber de l'oxygène. En cas de demande d'eau correspondante, qui dépend du niveau, une pompe à condensat renvoie le condensat vers le système de désaération de l'eau d'alimentation.

Comme le condensat est normalement collecté à partir de plusieurs consommateurs de vapeur fonctionnant à des niveaux de température et de pression différents, la température du condensat arrivant dans le réservoir de condensat peut également être supérieure à 100 °C . La vapeur de détente est alors produite puis rejetée dans l'atmosphère via la ligne de vapeur d'échappement et représente donc une perte de chaleur. Ces vapeurs d'échappement peuvent être récupérées via un module, similaire au module de vapeur d'échappement, qui est installé sur le réservoir d'eau d'alimentation puis mis à la disposition d'un consommateur à basse température, par exemple un système de chauffage ou d'eau chaude.

3.4.2 Réservoir de condensat à haute pression

Si plusieurs consommateurs de vapeur équipés de surfaces de chauffe sont conçus pour une pression de vapeur qui reste plus ou moins la même dans la plage haute pression ($> 1,5\text{ barg}$), le condensat de tous les consommateurs de chaleur peut être introduit dans un système de condensat haute pression commun.

→ Technologie – Chapitre 4.4 : Management de condensat, page 199

Il n'y a donc pas de pertes de vapeur de détente car on utilise un système fermé. Comme dans ce cas l'oxygène ne pénètre pas dans le condensat en mode normal, le condensat est renvoyé directement dans la chaudière ou l'économiseur. Cela signifie que les quantités d'eau douce et les dosages de produits chimiques sont faibles. L'utilisation de ce type de système permet de réaliser des économies considérables par rapport aux systèmes à condensat ouvert ayant la même structure de consommation.

Des économies de carburant allant jusqu'à 12% peuvent être réalisées avec un système de condensat haute pression fermé. Seule une très faible quantité d'eau douce doit être réapprovisionnée et la demande d'énergie thermique pour le chauffage et le dégazage est moindre. En outre, les taux de purge de surface et de purge de fond sont également moins élevés en raison de la très faible teneur en sel du condensat haute pression. Un autre avantage des systèmes fermés de condensat à haute pression est la réduction du taux de corrosion dans le réseau de condensat.

Les systèmes de condensat à haute pression doivent toujours être utilisés si l'introduction de condensat à haute température dans le bac à condensat ou le réservoir d'eau d'alimentation entraîne des pertes de vapeur de détente importantes. Les domaines d'application typiques sont les brasseries et les usines de papier/carton, pour n'en citer que quelques-uns.

Cependant, il faut également tenir compte du fait que, en raison des températures élevées du condensat, les températures des gaz de combustion peuvent augmenter.



Principes
de base

Augmenter
l'efficacité de
la combustion

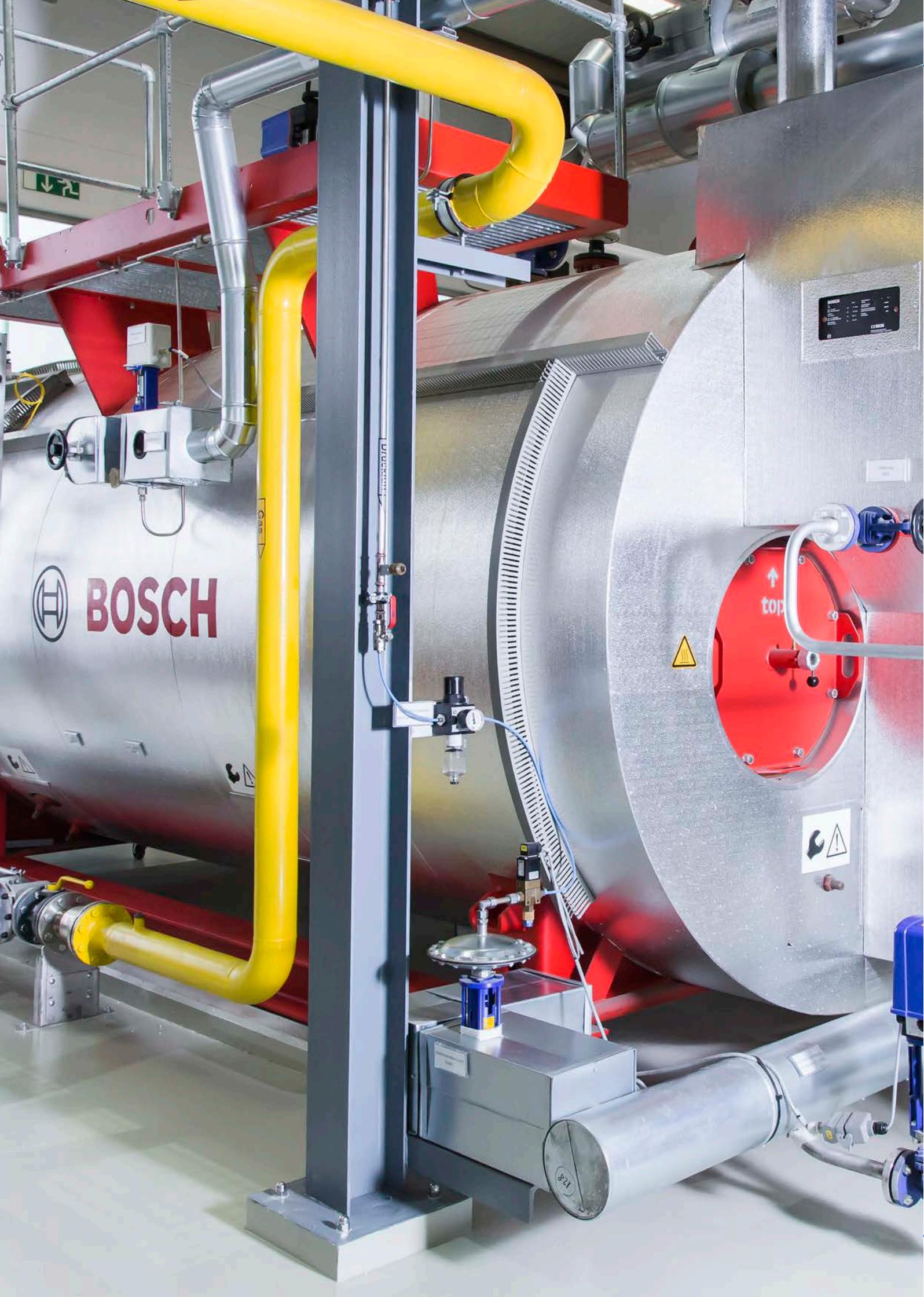
**Augmenter l'efficacité
du côté de l'eau et du
condensat**

Augmenter l'efficacité
de la chaudière et du
système

Combinaison de
processus



Fig. 161 Réservoir de condensat à haute pression, y compris l'équipement et la commande



 **BOSCH**

BOSCH
CE 6000

↑
top



20



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

4 Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système

4.1 Isolation

Les pertes par conductivité et rayonnement se produisent en raison de la différence de température entre le fluide dans les chaudières à vapeur, les conduites et les vannes et l'environnement.

L'ampleur des pertes de chaleur dépend essentiellement de la surface, du fluide, de la température ambiante et de la conception de l'isolation.

Comme ces pertes ne dépendent pas de la puissance, elles se produisent en permanence, même pendant les phases d'arrêt, et sont donc également présentes 365 jours par an dans les installations ou parties d'installations qui n'ont pas été mises hors service. Elles ont un impact négatif sur le degré d'utilisation annuel de l'installation de chaudière, surtout si l'installation est fréquemment exploitée en charge partielle.

→ Efficacité – Chapitre 1.7 : Degré d'utilisation annuel, page 253

En plus d'une recherche plus longue à l'aide d'une caméra thermique, les « points chauds », c'est-à-dire les zones où se produisent les plus grandes pertes de chaleur, peuvent être détectés et éliminés par palpation des zones chaudes, par un contrôle visuel de l'isolation ou par l'utilisation d'un thermomètre de surface ou de rayonnement.

Cependant, la température de surface ne reflète que dans une certaine mesure le degré de perte de chaleur. En particulier, si l'on compare différents matériaux de surface, une faible température de surface est parfois le signe de pertes de chaleur plus importantes.

La raison en est le coefficient de rayonnement de la surface isolante. Si ce coefficient est plus élevé, les pertes de chaleur augmentent mais, dans le même temps, la température de surface diminue. Il est donc avantageux d'utiliser un matériau ayant un faible coefficient d'émission ϵ .

Exemple :

Récipient d'eau d'alimentation L = 3 600mm, Ø = 1 700mm

Isolation T = 100 mm

Température du fluide 103 °C

Matériau de surface ¹⁾	Coefficient d'émission ϵ	Pertes de chaleur par revêtement du conteneur	Surface température
Aluminium, laminé à plat	0,05	627,5 W	30,0 °C
Aluminium, oxydé	0,13	635,5 W	29,0 °C
Tôle galvanisée, nue	0,26	645,5 W	27,6 °C
Tôle galvanisée, poussiéreuse	0,44	655,5 W	26,3 °C
Acier inoxydable austénitique	0,15	637,2 W	28,7 °C

Matériau de surface¹⁾	Coefficient d'émission ϵ	Pertes de chaleur par revêtement du conteneur	Surface température
Tôle alu-zinc, légèrement oxydée	0,18	639,7 W	28,4 °C
Surface non métallique	0,94	671,2 W	24,2 °C

Tab. 28 Liste des coefficients d'émission, des pertes thermiques et des températures de surface des différentes surfaces

1) Selon la VDI 2055 feuille 1 annexe A8

Les plus grandes pertes de chaleur dans les systèmes existants se produisent normalement en raison de vannes non isolées, de zones qui n'ont pas été ré-isolées après une inspection ou une réparation, ou de ponts thermiques formés lors du déplacement de la couche d'isolation protectrice

La plupart des pertes de chaleur par conduction et rayonnement dans les systèmes existants peuvent être évitées en éliminant ces « points chauds » sans avoir à ré-isoler complètement le système.

L'isolation des zones non isolées du système global (par exemple, la chaudière, les tuyaux de vapeur et de condensat, les vannes, les réservoirs) est l'une des mesures d'économie les plus efficaces dans les systèmes existants.

La perte de chaleur au niveau de la chaudière elle-même peut également être facilement déterminée à l'état de repos. La perte de pression peut être déterminée après l'arrêt de la chaudière (par exemple le week-end), avec les vannes de vapeur, de purge de surface et de purge de fond fermées. En partant d'une pression de vapeur de 10 bar dans la chaudière, la chute de pression ne devrait pas être supérieure à 0,2 bar/h. Il faut observer que non seulement les pertes par rayonnement et par conduction doivent être prises en compte, mais aussi les pertes par ventilation dues à la résistance du conduit de fumée (le cas échéant). Le résultat peut également être influencé par des vannes qui ne ferment pas hermétiquement.

En revanche, la perte de chaleur mesurée indirectement par la chute de pression est présente indépendamment de la cause, et doit être évitée.

L'efficacité de l'isolation peut être améliorée en respectant les points suivants.

4.1.1 Epaisseur et surface de l'isolation

La température de surface et les pertes de chaleur peuvent être réduites en augmentant l'épaisseur de l'isolation. Dans ce cas, il s'agit toutefois de choisir une mesure d'optimisation judicieuse et économique, car les pertes de surface ne peuvent en aucun cas être réduites de moitié en doublant simplement l'épaisseur de l'isolation

Outre l'épaisseur de l'isolation, la taille de la surface joue également un rôle décisif. Les types de chaudières compactes, par exemple de conception asymétrique, ainsi qu'un économiseur intégré et la surface d'isolation plus petite qui en résulte sont avantageux à cet égard.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

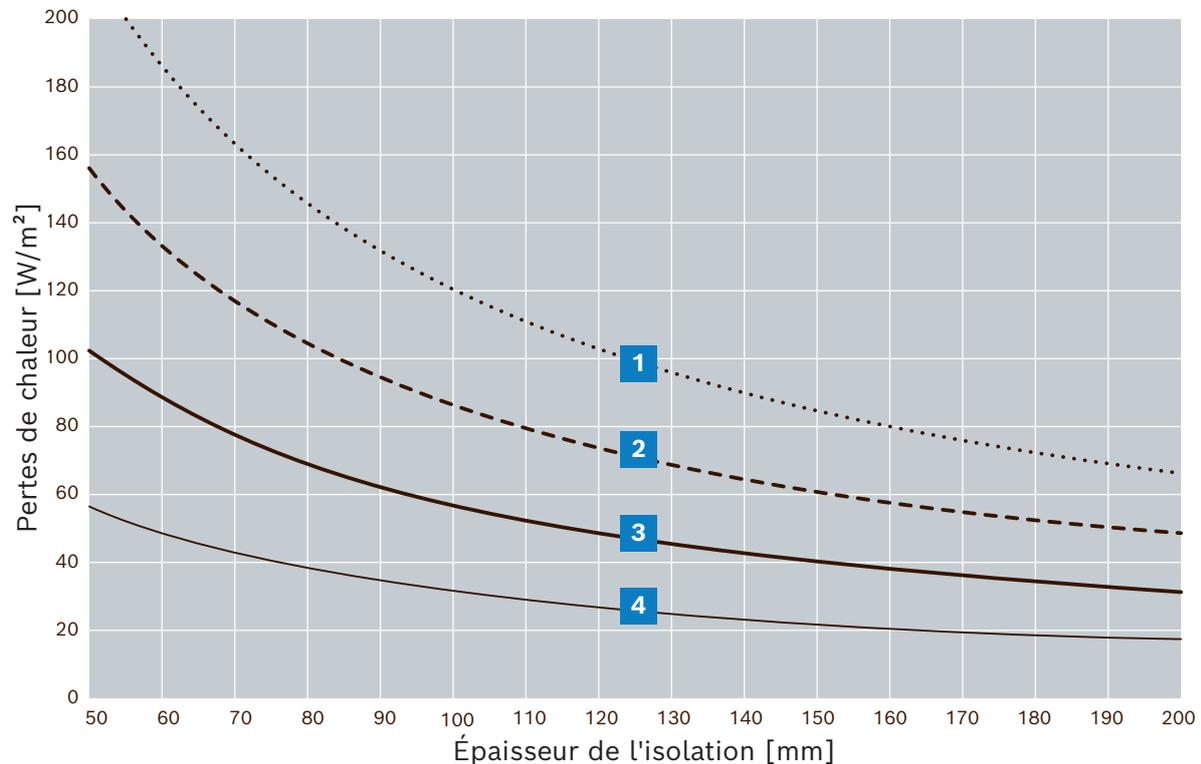


Fig. 162 Pertes de chaleur via la zone isolée du réservoir ou de la surface de la chaudière

- | | |
|---|---|
| 1 Température du milieu : 250 °C (. . . .) | 3 Température du milieu : 150 °C (_____) |
| 2 Température du fluide : 200 °C (- - - -) | 4 Température du fluide : 100 °C (_____) |

La figure ci-dessus montre qu'avec une épaisseur d'isolation de 100 mm et une température moyenne de 150 °C, la perte de chaleur est d'environ 57 W/m².

Cette perte diminue de 30% pour atteindre environ 40 W/m² lorsque l'épaisseur de l'isolation passe à 150 mm. La perte de chaleur peut être réduite de 44% à 32 W/m² en augmentant l'épaisseur de l'isolation de 100 mm à 200 mm.

Ceci ne s'applique qu'aux zones isolées sans ponts thermiques dans chaque cas. Comme les pertes via ces ponts peuvent rapidement dépasser les pertes dans la zone cylindrique bien isolée, il faut toujours en tenir compte et, si possible, les minimiser.

4.1.2 Isolation des tuyauteries

Afin d'économiser de l'énergie et de respecter les exigences en matière de santé et de sécurité au travail, il est désormais obligatoire d'isoler en permanence les tuyauteries transportant des fluides chauds dans toutes les parties du système. La réglementation, ainsi que les aspects économiques, indiquent l'épaisseur d'isolation spécifique à utiliser.

La perte de chaleur absolue par mètre courant d'une tuyauterie non isolée (en ordonnée à gauche) et le facteur d'économie d'une section de tuyauterie isolée (en ordonnée à droite) peuvent être déterminés en fonction de la température du fluide, du diamètre de la tuyauterie et de l'épaisseur de l'isolation à partir du diagramme suivant.

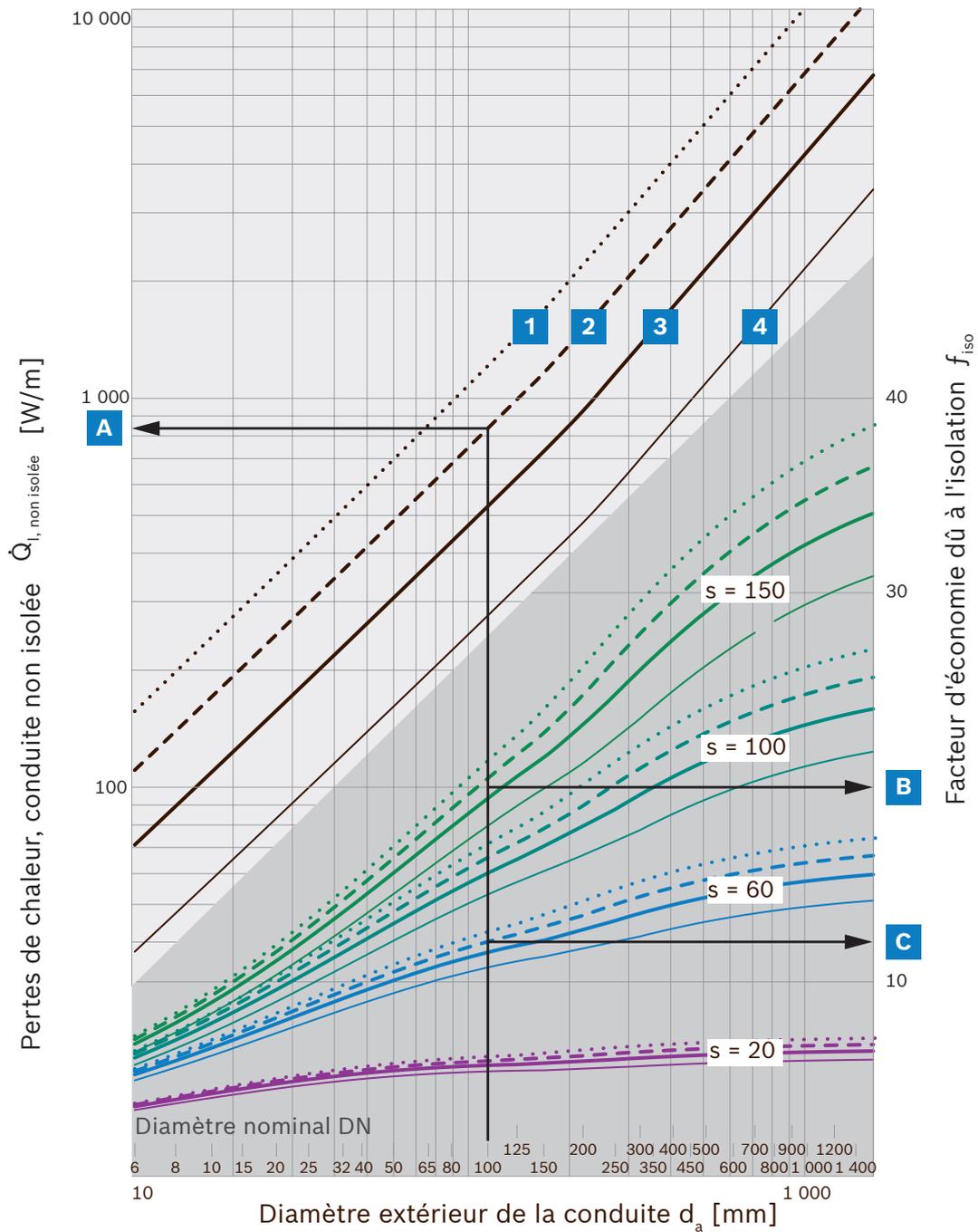


Fig. 163 Facteur d'économie dû à l'isolation et aux pertes de chaleur dans les canalisations

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 1 Température du fluide : 250 °C (. . . .) | Epaisseur de l'isolation s = 150 mm |
| 2 Température du fluide : 200 °C (- - -) | Epaisseur de l'isolation s = 100 mm |
| 3 Température du fluide : 150 °C (- . - .) | Epaisseur de l'isolation s = 60 mm |
| 4 Température du fluide : 100 °C (- - -) | Epaisseur de l'isolation s = 20 mm |

Les calculs du diagramme ci-dessus sont basés sur la norme VDI 2055 feuille 1 : tuyau en acier peint non isolé, isolation en laine minérale, enveloppe isolante en tôle d'aluminium, tuyauterie horizontale, température ambiante 20 °C.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

Exemple (derived from the diagram Fig. 163) :

Diamètre de la conduite de vapeur DN 100

Température de la vapeur 200 °C

A Perte de chaleur en cas de non-isolation (ordonnée à gauche)

$$\dot{Q}_{i, \text{non isolé}} = 837 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

B Économies dues à l'isolation (ordonnée de droite)

(épaisseur de l'isolation $s = 60 \text{ mm}$; $f_{\text{iso}} = 12,6$)

$$\dot{Q}_{i, \text{insulated}} = \frac{837 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{12,6} = 66,4 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

C Économies dues à l'isolation (en ordonnée à droite)

(Épaisseur de l'isolation $s = 150 \text{ mm}$; $f_{\text{iso}} = 20,5$)

$$\dot{Q}_{i, \text{insulated}} = \frac{837 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]}{20,5} = 40,8 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}} \right]$$

L'augmentation de l'épaisseur de l'isolation d'une conduite de 100 m de 60 mm à 150 mm permet d'économiser environ 920 € par an (sur la base de 8 000 heures de fonctionnement et de coûts énergétiques de 4,5 ct/kWh).

Dans ce cas, chaque mètre de tuyauterie non isolée coûte plus de 300 € par an.

Exemple	Épaisseur de l'isolation [mm]	Perte de chaleur dans la tuyauterie [W/m]	Perte de chaleur totale ¹⁾ [kWh]	Économies absolue ²⁾ [kWh]	Pourcentage d'économies ²⁾ [%]	Coûts économisés ²⁾ [€]
A	non isolée	837,0	669 600	---	---	
B	$s = 60$	66,4	53 120	---	---	
C	$s = 150$	40,8	32 640	20 480	38,6	921,60

Tab. 29 Exemple d'économies potentielles résultant de l'augmentation de l'épaisseur de l'isolation, sur la base d'un tuyau de vapeur

¹⁾ Sur la base d'une longueur de tuyau de 100 m et de 8 000 heures de fonctionnement par an.

²⁾ En référence à l'épaisseur de l'isolation $s = 60 \text{ mm}$

Minimiser les ponts thermiques

Les ponts thermiques se produisent invariablement lorsque des connexions métalliques ayant une conductivité thermique très élevée traversent l'isolation. C'est le cas, par exemple, des connecteurs, des supports de chaudière ou des supports de plate-forme.

Il faut veiller, en particulier dans la zone de l'enveloppe isolante de protection, à ce que les pénétrations nécessaires pour des raisons fonctionnelles n'entrent pas en contact direct avec l'enveloppe isolante, car sinon des ponts thermiques se créeraient à ces endroits et de l'énergie serait perdue. Un moyen fiable d'éviter cela est de simplement envelopper les connecteurs dans un tissu isolant. Les éléments dont le but est d'améliorer la stabilité et la rigidité de la structure doivent se trouver à l'intérieur de l'isolant, de sorte qu'ils ne puissent pas conduire la chaleur vers l'extérieur, vers la gaine isolante protectrice.

De même, les entretoises ne doivent pas être utilisées avec les enveloppes cylindriques car elles agissent également comme des ponts thermiques. La conduction de la chaleur du tambour chaud de la chaudière vers l'enveloppe isolante protectrice est empêchée et les performances d'isolation thermique du matelas isolant sont totalement efficaces.



Fig. 164 Éviter les ponts thermiques en isolant les coques cylindriques des chaudières et des conteneurs sans intercalaires



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

4.1.3 Ouvertures d'inspection isolées

Les chaudières à vapeur sont soumises à des inspections internes périodiques par les organismes de contrôle compétents. Des ouvertures sont nécessaires dans l'enveloppe isolante pour les ouvertures d'inspection, telles que les trous de main ou les trous de tête, ou les trous d'homme. Ces ouvertures sont isolées et scellées par des couvercles isolants amovibles.

Les ouvertures de nettoyage et d'inspection des chambres de collecte des gaz de combustion et des boîtiers d'économiseur sont scellées à l'aide de la même technologie d'isolation, de sorte que la chaleur radiante excessive ne se perd pas par les ouvertures d'inspection. Des étiquettes sont apposées pour indiquer les ouvertures d'inspection en dessous.

Il faut s'assurer, surtout après les inspections ou si les couvercles isolants ont été retirés pour toute autre raison, que l'isolation est réinstallée sur les ouvertures d'inspection.

Si une ouverture d'inspection d'une surface d'environ $0,5 \text{ m}^2$ n'est pas refermée, cela signifie qu'à une pression de service de 10 bars et une température de 185 °C , la perte d'énergie par jour est d'environ 15 kWh.



Fig. 165 Isolation amovible au niveau des ouvertures d'inspection (UL-S avec économiseur intégré)

4.1.4 Vannes isolées

Les vannes sont situées à de nombreux endroits dans les systèmes de chaudières à vapeur et sont nécessaires pour le fonctionnement et l'entretien. Pour des raisons d'installation ou de coût, ou en raison de diverses limites d'approvisionnement, l'isolation des vannes ou des brides d'adaptation dans les nouveaux systèmes est encore souvent omise. De même, on trouve souvent des vannes non isolées dans les systèmes existants.

Or, une grande partie de l'énergie est perdue par ces zones non isolées. Le tableau suivant permet d'estimer l'énergie perdue par une vanne non isolée.

Diamètre nominal du tube		DN 50	DN 65	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150	DN 200	DN 250
Longueur selon EN 558 series 1	[mm]	230	290	310	350	400	480	600	730
Perte de chaleur, non isolée	[W]	224	343	419	586	795	1 119	1 800	2 728
Perte de chaleur, isolée	[W]	21	27	29	33	43	58	88	127
Économies	[W]	202	316	390	553	752	1 061	1 712	2 601
Perte de chaleur à 8 000 Bh/a	[kWh/a]	1 619	2 527	3 117	4 425	6 018	8 489	13 693	20 810
Économies avec 4,5 ct/kWh	[€/a]	73	114	140	199	270	382	616	936

Tab. 30 Pertes de chaleur et coûts d'exploitation des vannes non isolées (température du fluide 200 °C)

Informations sur le tableau :

- Température du fluide 200 °C
- Calcul des pertes de chaleur dans les tuyauteries basé sur VDI 2055 feuille 1
- Conversion des pertes de chaleur dans les tuyauteries en pertes de chaleur au niveau des vannes avec un facteur linéaire de 1,6 pour les vannes isolées et un facteur linéaire de 2 pour les vannes non isolées. (Il en résulte des pertes de chaleur beaucoup plus conservatrices pour les vannes non isolées et moins d'économies qu'en utilisant la méthode de calcul selon VDI 2055 feuille 1).
- Longueur des vannes selon la norme EN 558 série 1

Avec une température du fluide de 200 °C et un diamètre nominal de vanne de DN 100, une réduction des pertes de chaleur d'environ 550 W est obtenue en isolant les vannes. Cette réduction est d'environ 1 060 W avec un diamètre nominal de DN 150. Le coût de 100 à 200 € pour l'isolation d'une vanne est amorti en un an.

Étant donné que tout un système de vapeur nécessite des vannes à de nombreux endroits, le potentiel total basé sur l'isolation des vannes du système de vapeur et de condensat est en moyenne d'environ 1 à 5% de la consommation de combustible.



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

4.2 Contrôle

L'optimisation et l'adaptation de la régulation des systèmes de chaudières au fonctionnement réel représentent également un énorme potentiel d'économies. Cette optimisation est toujours judicieuse car les conditions de conception des systèmes de chaudières sont différentes des conditions réelles de fonctionnement. Cela peut s'avérer nécessaire si des consommateurs supplémentaires sont installés ultérieurement dans de nouveaux systèmes, par exemple, ou si les opérations actuelles changent suite à la conversion et à l'extension de la production avec les systèmes existants.

4.2.1 Réduction de la pression de fonctionnement

Une pression de fonctionnement moyenne basée sur le niveau de température requis et les pertes de pression vers les consommateurs est définie aux stades de la conception et de l'étude d'un système de chaudière à vapeur. Cependant, cette conception est souvent basée sur une estimation très conservatrice, alors qu'en fait une pression de fonctionnement légèrement inférieure serait suffisante pendant le fonctionnement en pratique.

Afin d'optimiser l'énergie pendant le fonctionnement, il est donc utile de déterminer la pression de fonctionnement moyenne nécessaire et de la régler au niveau de la commande de la chaudière. En raison de la réduction de la pression de service, la température dans la chaudière et les conduites de vapeur diminue, ce qui réduit les pertes par rayonnement et par conduction.

A chaque modification de la pression de service, il faut tenir compte des conditions du système.



→ Étude et conception – Chapitre 2.1 : Pression de service moyenne, page 27

Une réduction de la pression de fonctionnement moyenne de 8 bars (\pm 175 °C de température de vapeur saturée) à 6 bars (\pm 165 °C de température de vapeur saturée) réduit immédiatement les pertes de chaleur par conduction et rayonnement de 7%, ce qui permet de réaliser des économies de combustible d'environ 0,2%.

En plus des pertes de chaleur, la température des gaz de combustion diminue légèrement, ce qui augmente encore le degré d'utilisation annuel.

En outre, la pression de service maximale n'est pas toujours nécessaire en dehors des principales périodes de fonctionnement d'un système de chaudière à vapeur (par exemple, le week-end). Il est souvent judicieux de régler une pression de fonctionnement plus faible à ces moments-là.

4.2.2 Contrôle de la séquence des chaudières

Si plusieurs chaudières à vapeur sont installées dans une usine, le fonctionnement de chaque chaudière peut être optimisé en utilisant une commande de séquence de chaudière.

La tâche d'une commande de séquence de chaudière est d'adapter le nombre de chaudières effectivement activées à la demande de puissance actuelle. Cet ajustement peut être réalisé en allumant ou en éteignant automatiquement les chaudières en retard selon les critères de la commande séquentielle. Cela garantit un mode de fonctionnement économe en énergie du système de chaudière. L'ajustement de la séquence des chaudières à la demande réelle de puissance réduit les pertes de pré-ventilation, fait passer automatiquement les chaudières en mode de maintien de la chaleur et permet d'obtenir un fonctionnement optimisé des chaudières en termes d'efficacité. Cet ajustement et la réduction associée des pertes de chaleur améliorent le degré d'utilisation annuel.

4.3 Surveillance automatique

La surveillance et la visualisation des paramètres de fonctionnement importants d'un système de chaudière à vapeur permettent de détecter plus rapidement les défauts et d'identifier plus facilement les potentiels d'optimisation.

Les valeurs suivantes peuvent être surveillées et évaluées, par exemple :

- Température des gaz de combustion
- Pression moyenne de fonctionnement
- Niveau, démarrage des pompes, durée de fonctionnement des pompes
- Charge du brûleur, démarrage du brûleur et préventilation, valeur de l'O₂ dans les gaz de combustion.
- Conductivité et taux de purge
- Valeurs de l'eau

4.3.1 Analyse continue de l'eau

L'analyse continue de l'eau permet de réaliser les économies suivantes dans le domaine du traitement de l'eau :

- Énergie (minimisation des pertes de vapeur d'échappement)
- Utilisation de produits chimiques (dosage en fonction des besoins)

→ Technologie – Chapitre 4.5.5 : Analyse continue de l'eau, page 204

4.3.2 Surveillance de l'état

Le degré d'utilisation annuel optimal du système de chaudière à vapeur en fonctionnement continu doit être obtenu par une surveillance de l'état et une maintenance appropriées. Pour ce faire, il est important d'observer et de comparer les différents paramètres d'un système de chaudière sur une période plus longue afin de pouvoir réagir de manière appropriée à toute détérioration des conditions de fonctionnement ou à tout changement du mode de fonctionnement de la chaudière pour des raisons opérationnelles.

Dans de nombreuses entreprises, le suivi et l'analyse de l'énergie produite et consommée sont une exigence dans le cadre de leur stratégie globale de gestion de l'énergie, car le potentiel d'économies de combustible ou d'électricité n'est pas négligeable et peut souvent être réalisé sans coûts d'investissement supplémentaires, simplement en adaptant les données d'exploitation à la situation réelle.

→ Technologie – Chapitre 3.10 : Contrôle de la chaudière, page 167

Cette tâche peut être partiellement réalisée par la surveillance automatisée des conditions. Les données de fonctionnement suivantes sont enregistrées et évaluées :

- Affichage des heures de fonctionnement, de la fréquence de démarrage, du nombre de démarrages à froid dans le temps.
- Détection de conditions de démarrage défavorables



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

- Détection de l'encrassement du côté de l'eau et des gaz de combustion ou de la condensation indésirable.
- Création de rapports d'entretien en fonction des besoins
- Affichage des pertes d'énergie dues aux purges de fond et aux purges de surface
- Affichage de la consommation de combustible et d'eau dans le temps
- Affichage du taux d'élimination de la vapeur dans le temps
- Affichage du profil de charge de la chaudière dans le temps

Le logiciel analyse et évalue les données du système, puis affiche les résultats à l'intention du personnel d'exploitation selon un système de feux de signalisation : le vert signifie que tout est OK. L'orange et le rouge indiquent que la chaudière fonctionne de moins en moins comme elle le devrait ou qu'elle n'est pas économique. Ainsi, les modes de fonctionnement qui entraînent une inefficacité, une usure accrue ou des temps d'arrêt imprévus sont identifiés à temps et évités.

La grande transparence des données facilite également l'optimisation énergétique du fonctionnement des chaudières. Les possibilités d'amélioration sont identifiées par l'acquisition et l'affichage de données système significatives, telles que le profil de charge de la chaudière, le nombre d'opérations de commutation de combustion ou les pertes de chaleur résultant des purges de surface et de fond.

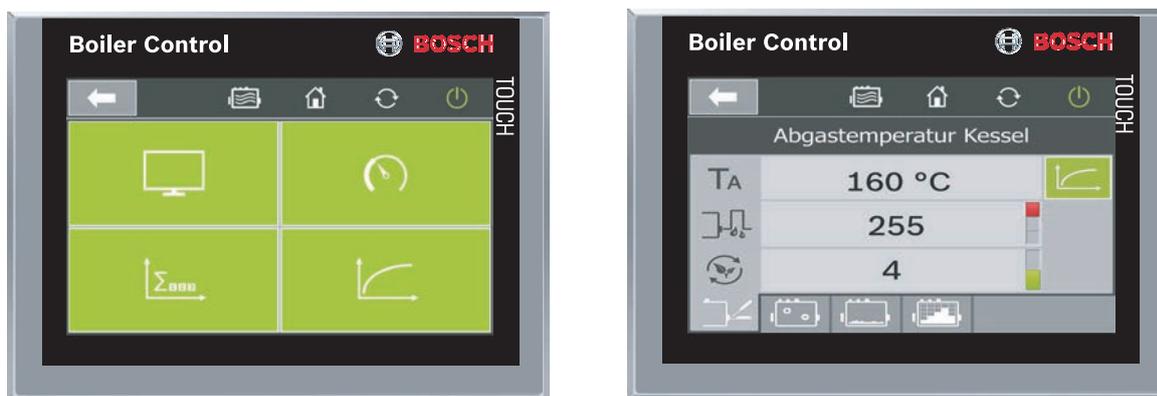


Fig. 166 Condition Monitoring of the boiler control BCO

4.3.3 MEC Optimize

MEC Optimize, l'assistant numérique d'efficacité, est un développement ultérieur du Condition Monitoring. Il est intégré dans la commande de la chaudière et enregistre toutes les données de la chaudière à vapeur, du traitement de l'eau, de l'équipement de récupération de chaleur et des autres composants du système connectés.

Les données de fonctionnement sont stockées localement au fil des ans et évaluées à l'aide d'analyses de tendances. Si la consommation de combustible augmente, par exemple en raison de taux de purge excessifs ou d'une contamination dans la chaudière, l'assistant d'efficacité le détecte et fournit des informations sur les causes possibles. Dans certains cas bien définis, des messages peuvent également être envoyés directement au téléphone portable de l'opérateur via le système de télémaintenance MEC Remote.

→ Produits – Chapitre 6.4 : MEC Optimize, page 374

4.4 Service



Fig. 167 Service industriel

L'obligation pour l'exploitant d'effectuer un entretien régulier et des réparations sur le système de chaudière à vapeur découle des réglementations légales relatives à l'exploitation d'un système de chaudière à vapeur et des spécifications du fabricant.

Malheureusement, l'inspection du système à des fins de contrôle, qui est prévue tous les jours ou toutes les 72 heures, est souvent considérée comme une simple corvée. La maintenance et l'entretien ne doivent pas être négligés uniquement pour des raisons de sécurité, ils vont bien au-delà et doivent être considérés comme une tâche importante d'optimisation du système.

De nombreuses améliorations opérationnelles ne peuvent être apportées qu'à la suite d'une observation attentive pendant le fonctionnement réel. Même de petits changements dans la séquence des opérations, l'utilisation hebdomadaire du système et le niveau de pression ou de température nécessaire peuvent signifier que le système ne fonctionne plus dans des conditions idéales. Plusieurs ajustements qui doivent alors être effectués pour optimiser le système peuvent être mis en œuvre avec très peu de dépenses d'investissement.

Une inspection énergétique des systèmes existants est recommandée à intervalles réguliers. Même les mesures les plus simples, par exemple la modification des paramètres de contrôle, peuvent être extrêmement efficaces.

Il est recommandé de procéder à l'entretien et au réajustement du système tous les trois mois, ou au plus tard tous les six mois. L'exploitant bénéficie des caractéristiques améliorées suivantes de son système :

- Efficacité énergétique élevée et constante
- Longue durée de vie
- Haut degré de sécurité en cas de panne



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

4.4.1 Maintenance

Les systèmes de chaudières à vapeur doivent être analysés et contrôlés dans les 24 h ou 72 h par le personnel d'exploitation. En plus de l'entretien régulier effectué par le préposé à la chaudière, une chaudière à vapeur doit subir chaque année une inspection complète et une inspection à plus petite échelle.

Dans le cadre d'un contrat de service de maintenance, nos ingénieurs du service clientèle effectuent 2 à 4 fois par an l'inspection et la maintenance de la chaudière, de la combustion, du système de régulation et de traitement de l'eau jusqu'à la chaufferie complète. Cela permet d'augmenter la sécurité de fonctionnement et la disponibilité de l'installation, d'optimiser la consommation de combustible et d'éviter les arrêts de production. Si nécessaire, Bosch Industrial Service peut également effectuer tous les travaux de surveillance nécessaires pendant les inspections prescrites de 72 heures. Ces travaux peuvent être réalisés individuellement en fonction des besoins, soit de manière ponctuelle, soit de manière continue dans le cadre d'un contrat de service de maintenance.

4.4.2 Modernisation



Fig. 168 Modernisation d'un système existant pour refléter les dernières normes

S'ils sont bien entretenus, les systèmes de chaudières à vapeur peuvent fonctionner de manière fiable pendant ≥ 30 ans. En raison des développements suivants, presque tous les systèmes de chaudières à vapeur âgés de 15 ans ou plus doivent être modernisés :

- Composants du système et de la chaudière (par exemple, contrôle de la fréquence, contrôle de l'O₂ et du CO, refroidissement de l'eau d'alimentation, technologie de condensation).
- Technologie de contrôle (par exemple, capteurs, contrôleurs logiques programmables, logiques de contrôle et de surveillance, système d'automatisation et technologie de télécontrôle).

Une modernisation supplémentaire est nécessaire en raison des exigences croissantes dans les domaines suivants :

- Protection de l'environnement
- Efficacité du système
- Réglementations et lois (par exemple, émissions des systèmes de combustion, obligation d'effectuer une gestion de l'énergie ou des audits).

En outre, les sociétés d'exploitation et leurs consommateurs de vapeur se sont considérablement développés au fil du temps, à tel point que les systèmes de chaudières sont maintenant normalement exploités d'une manière très différente des intentions de conception initiales. Une enquête menée par l'Association fédérale de l'industrie allemande du chauffage (BDH)^{vi)} a révélé qu'il existe un retard considérable dans la modernisation des installations de production de chaleur et de vapeur. Plus de 80% des systèmes existants en Allemagne sont inefficaces. L'efficacité énergétique peut être augmentée de 20 à 30% en prenant des mesures appropriées.

La modernisation des systèmes existants peut également être réalisée de manière simple et efficace grâce à nos composants de système modulaires. Dans de nombreux cas, les mesures de modernisation sont amorties en 1 à 2 ans. En règle générale, toutes les mesures d'amélioration de l'efficacité décrites peuvent également être mises en place ultérieurement.

Le tableau suivant indique quelles sont les mesures qui se prêtent le mieux à une modernisation, car elles peuvent être facilement intégrées avec un minimum de perturbation de l'exploitation. Le tableau fournit également des informations sur les économies qui peuvent être réalisées avec les mesures respectives. Avec une étude et conception appropriée, la combinaison de mesures individuelles peut conduire à des effets synergiques supplémentaires.

- **Très facile** : faible coût d'étude et conception, sans modification du système de contrôle existant et peut normalement être mis en œuvre pendant l'exploitation sans interruption ou avec des interruptions très courtes
- **Facile** : plus d'étude et conception nécessaire, peut être installé ultérieurement dans l'armoire de commande et implique de courtes interruptions de l'exploitation.
- **Complexe** : travaux de transformation plus importants et interruptions de l'exploitation.

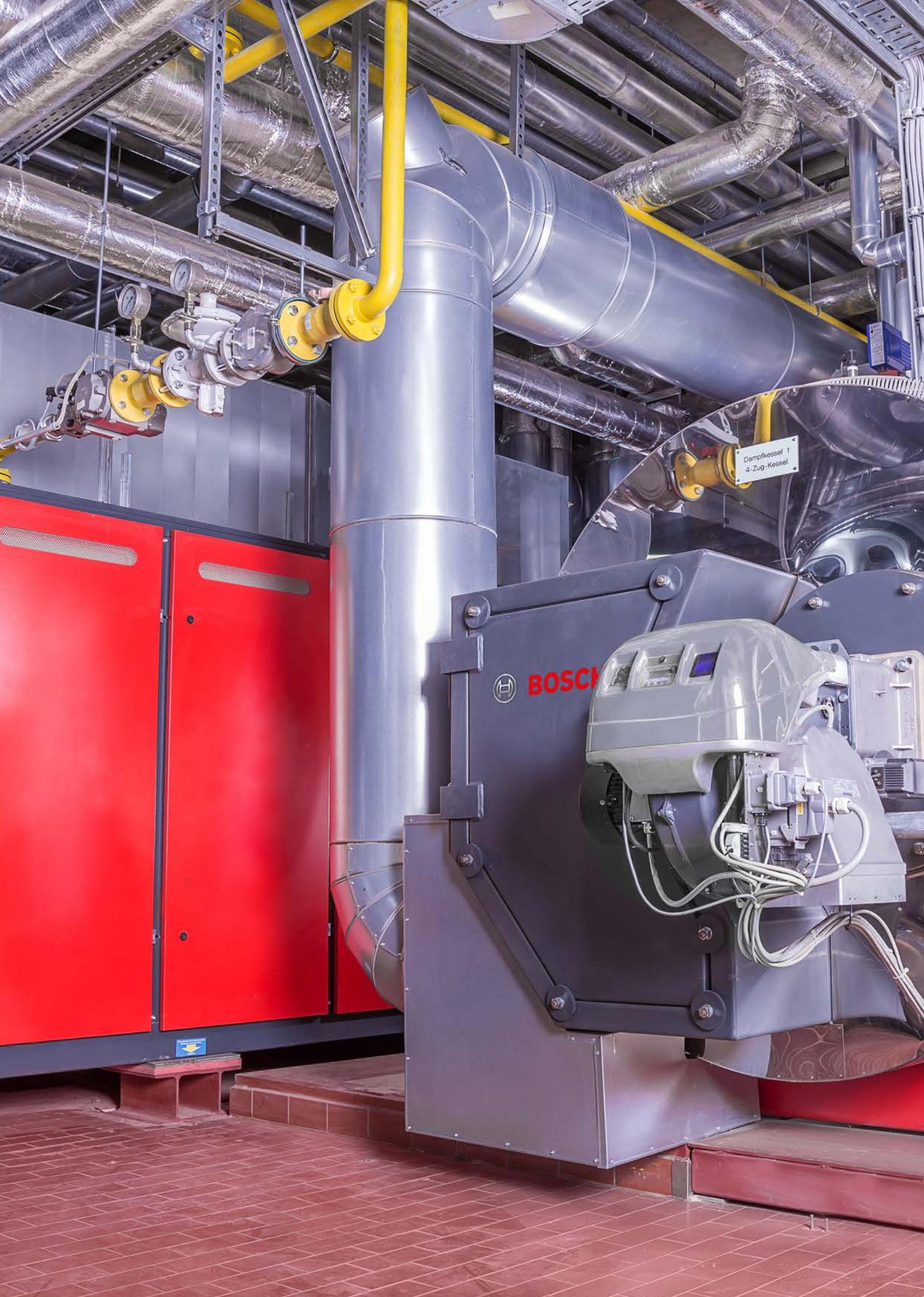
vi) Association fédérale de l'industrie allemande du chauffage, 2007



Principes de base	Augmenter l'efficacité de la combustion	Augmenter l'efficacité du côté de l'eau et du condensat	Augmenter l'efficacité de la chaudière et du système	Combinaison de processus
-------------------	---	---	---	--------------------------

Particulièrement adapté à la rénovation	Économies potentielles	Dépenses de mise en œuvre
Remplacement de l'isolation défectueuse ou manquante	3 – 8% de combustible	Très facile
(p. ex. vannes, ouvertures d'inspection)	≤ 0,5% de combustible	Facile
Refroidissement de l'eau d'alimentation	≤ 1,8% de combustible	Facile
Module d'expansion et de récupération de chaleur	≤ 1,0% de combustible Économies d'eau douce Réduction des eaux usées	Facile
Déminéralisation complète	1 – 5% de combustible	Facile
Vanne de vapeur d'échappement contrôlée	0,5 – 1% de combustible	Facile
Remplacement du brûleur pour ajuster la puissance	≤ 8% de combustible	Facile
Contrôle de la combustion, contrôle de l'O ₂ et du CO	≤ 1,0% de combustible	Facile
Contrôle de la vitesse, ventilateur	≤ 75% des coûts d'électricité	Facile
Surveillance automatique de l'état et optimisation de la régulation	1 – 3% de combustible	Facile
Vapeur d'expansion dans le condensat	1 – 3% de combustible	Facile
Échangeur de chaleur des gaz de combustion	5 – 7% de combustible	Facile
Échangeur de chaleur à condensation	5 – 7% de combustible	Facile
Préchauffage de l'air	1 – 3% de combustible	Complexe
Conversion du fonctionnement au fioul en fonctionnement au gaz, utilisation de systèmes de combustion multicom bustibles	≤ 25% de coûts, ≤ 30% d'émissions de CO ₂	Complexe
Système de condensat à haute pression	5 – 12% de combustible	Complexe

Tab. 31 Mesures de modernisation avec potentiel d'économies correspondant



Dampfkessel 1
4-Zug-Kessel

BOSCH

Principes
de baseAugmenter
l'efficacité de
la combustionAugmenter l'efficacité
du côté de l'eau et du
condensatAugmenter l'efficacité
de la chaudière et du
système**Combinaison de
processus**

5 Combinaison de processus

5.1 Chaleur et électricité combinées

L'utilisation d'un système de production combinée de chaleur et d'électricité pour des applications commerciales ou industrielles peut constituer une alternative viable à la production pure de chaleur industrielle ou de chaleur thermique.

Une turbine à gaz ou une unité de production combinée de chaleur et d'électricité génère de l'énergie mécanique (puissance) qui est convertie en courant par un générateur. Les gaz de combustion chauds, dont la température est normalement comprise entre 300 et 600 °C, sont ensuite acheminés vers une chaudière à chaleur perdue ou une chaudière à quatre passages pour produire de la vapeur ou de l'eau chaude (chaleur).

Une chaudière à 4 passes est une chaudière conventionnelle à 3 passes avec une quatrième passe supplémentaire intégrée dans le tube de fumée et peut être conçue comme une chaudière à vapeur ou à eau chaude

→ Produits – Chapitre 3.2 : Chaudière à 4 parcours avec brûleur, page 336

Grâce à la combustion intégrée, les chaudières de charge de pointe qui sont habituellement nécessaires lorsqu'on utilise uniquement des chaudières à récupération de chaleur peuvent normalement être supprimées. Cela réduit considérablement les coûts d'investissement, l'espace nécessaire et les dépenses d'équipement. La puissance thermique obtenue par l'introduction de la chaleur résiduelle représente jusqu'à 15% de la puissance nominale totale de la chaudière. C'est généralement tout à fait suffisant pour couvrir la puissance de la charge de base par rapport à la demande d'énergie thermique.

→ Produits – Chapitre 3.1 : Chaudière à vapeur à récupération de chaleur UNIVERSAL HRSB, page 333

Toutefois, si la puissance de la charge de base est nettement supérieure, l'utilisation d'une chaudière à charge de pointe en combinaison avec une chaudière à chaleur perdue pure peut s'avérer être une alternative plus appropriée.

Dans tous les cas, il est recommandé de sélectionner la puissance de l'unité produisant la chaleur perdue (turbine à gaz/module CHP) de manière à ce que l'énergie thermique acquise à partir des gaz de combustion ne dépasse pas la puissance de base des consommateurs de chaleur. Cela permet de générer de l'énergie en continu au point de fonctionnement le plus économique sans avoir à détourner de temps en temps la chaleur inutilisée des gaz de combustion vers l'atmosphère.



Fig. 169 Chaudière à récupération de chaleur Bosch HRSB

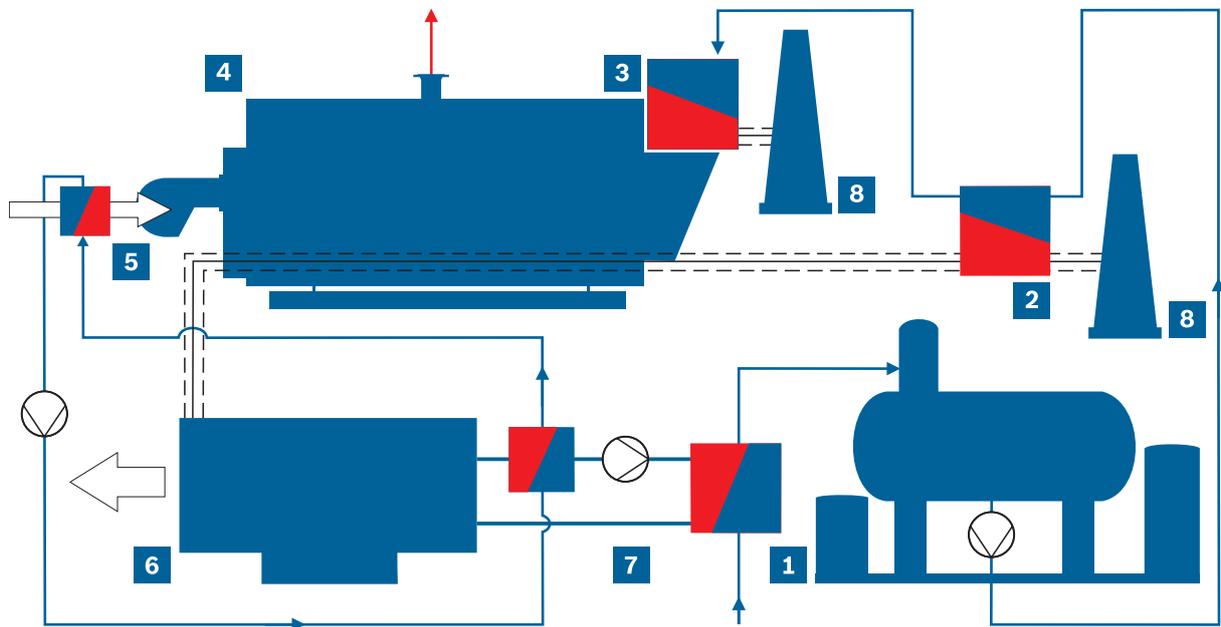


Fig. 170 Exemple de raccordement d'une unité de cogénération à la production de vapeur de procédé via une chaudière à vapeur à calandre à allumage interne

- | | |
|---|---|
| 1 Module d'alimentation en eau WSM-V | 5 Préchauffeur d'air de combustion |
| 2 Échangeur de chaleur des gaz de combustion | 6 CHP |
| 3 Economiseur | 7 Eau de refroidissement du moteur |
| 4 Chaudière à vapeur à 4 passages | 8 Cheminée |

Principes
de baseAugmenter
l'efficacité de
la combustionAugmenter l'efficacité
du côté de l'eau et du
condensatAugmenter l'efficacité
de la chaudière et du
système**Combinaison de
processus**

5.2 Chauffage solaire d'appoint

Si la demande en eau d'appoint d'un système de chaudière à vapeur est très élevée, il est judicieux d'utiliser des combinaisons avec la chaleur solaire. L'eau d'appoint traitée peut être préchauffée à l'aide de l'énergie solaire. L'énergie supplémentaire est alors fournie au générateur de vapeur pour produire de la vapeur saturée à haute pression.

Si les conditions cadres sont favorables, ce type de combinaison de systèmes permet d'assurer un approvisionnement en énergie économique et écologique.

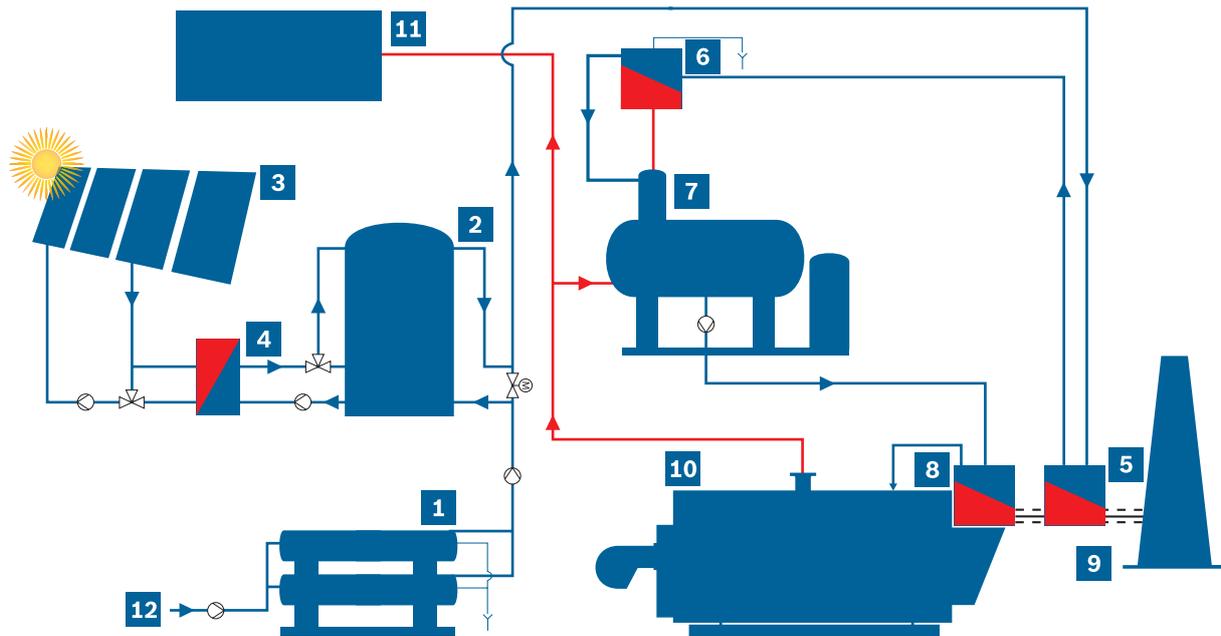


Fig. 171 Exemple de raccordement d'une installation solaire thermique à la production de vapeur industrielle (représentation très simplifiée)

- | | |
|--|---|
| 1 Système d'osmose | 7 Module d'alimentation en eau WSM-V |
| 2 Accumulateur de chaleur | 8 Economiseur ECO |
| 3 Système de chauffage solaire | 9 Cheminée |
| 4 Echangeur de chaleur | 10 Chaudière à vapeur UL-S |
| 5 Échangeur de chaleur à condensation ECO | 11 Consommateur |
| 6 Refroidisseur de vapeur VC | 12 Eau douce |

Produits

1	Aperçu des produits de chaudière à vapeur	309
2	Chaudières à vapeur	311
2.1	Chaudière à vapeur UNIVERSAL CSB	311
2.2	Chaudière à vapeur UNIVERSAL U-MB	316
2.3	UNIVERSAL steam boiler UL-S/UL-SX	321
2.4	Chaudière à deux tubes foyer ZFR	326
2.5	Module de surchauffage	331
3	Chaudières à récupération de chaleur et récupération de la chaleur perdue	333
3.1	Chaudière à vapeur à récupération de chaleur UNIVERSAL HRSB	333
3.2	Chaudière à 4 parcours avec brûleur	336
3.3	Technologie des systèmes d'économie d'énergie	340
4	Modules pour chaudières à vapeur	343
4.1	Module de distribution d'eau WSM	343
4.2	Distributeur de vapeur SD	345
4.3	Module d'accumulateur de vapeur SAM	346
4.4	Module de service des condensats CSM, installation haute-pression de condensat CHP	347
4.5	Module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM	349
4.6	Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM	350
4.7	Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB	351
4.8	Refroidisseur de vapeurs VC	352
4.9	Module de pompage PM	352
4.10	Module de régulation de l'eau d'alimentation RM	353
4.11	Échangeur de chaleur des gaz de combustion ECO autonome	354
4.12	Echangeur de chaleur pour gaz de fumée autonome avec condensation des gaz de fumée	355
4.13	Système de préchauffage de l'air APH	356

4.14	Module de refroidissement de l'eau d'alimentation FWM	358
4.15	Analyseur d'eau WA	359
5	Modules d'alimentation de chaudières	363
5.1	Module de traitement de l'eau WTM	363
5.2	Module de régulation du gaz GRM	364
5.3	Module de circulation du fioul OCM	364
5.4	Module d'alimentation en fioul OSM	365
5.5	Module de régulation de la pression du fioul ORM	365
5.6	Module de préchauffage du fioul OPM	366
6	Contrôles de système	369
6.1	Commande de la chaudière BCO	369
6.2	Commande compacte de chaudière à vapeur CSC	371
6.3	Contrôle du système SCO	372
6.4	MEC Optimize	374
6.5	MEC System	375
6.6	MEC Remote	376



BOSCH

Bosch Industriekessel GmbH

Ein Unternehmen der
Bosch Thermotechnik GmbH



BOSCH





Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

1 Aperçu des produits de chaudière à vapeur

Chaudière à vapeur

	CSB ¹⁾	CSB ²⁾	U-MB	UL-S(X)	ZFR(X)
					
Puissance t/h	0,3–4,8	0,3–5,2	0,2–2	1,2–28	18–55
Temperature max °C	110	204	204	300	300
Pression max bar	0,5	16	16	30	30

Tab. 32 Chaudières à vapeur

1) Variante basse-pression

2) Variante haute pression

Récupération de chaleur

Chaudière à récupération de chaleur HRSB	Chaudière à 4 parcours avec bruleur	Chaudière à 3 parcours sans bruleur	Récupération et utilisation
			
Chaudière à récupération de vapeur	Chaudière à récupération eau / vapeur		Récupération de chaleur résiduelle

Tab. 33 Récupération de chaleur

Contrôle de la chaudière	Eau	Vapeur / Condensat	Alimentation en combustible
			
Contrôles	Modules	Modules	Système de combustion

Tab. 34 Composants





2 Chaudières à vapeur

2.1 Chaudière à vapeur UNIVERSAL CSB

Chaudière à vapeur ultra-compacte pour les petites capacités de production. Elle permet de réduire les émissions et d'atteindre un haut niveau de rendement. La solution idéale pour les industries agroalimentaires, les industries manufacturières, les hôpitaux, les blanchisseries et les hôtels.



Fig. 172 Chaudière à vapeur CSB

Donnée technique CSB

Fluide caloporteur	Vapeur saturée à basse pression	Vapeur saturée à haute pression
Conception	Chaudière à coque	Chaudière à coque
Capacité de production en kg/h	300 jusqu'à 4 800	300 jusqu'à 5 200
Pression de sécurité en bar	jusqu'à 0,5	jusqu'à 16
Température maximale en °C	110	204
Combustible	Huile, gaz, combustion multicom bustible	Huile, gaz, combustion multicom bustible



Un haut niveau d'efficacité pour des coûts d'exploitation réduits

L'économiseur intégré utilise la chaleur des gaz de combustion pour réduire la consommation de combustible et abaisser la température des gaz de combustion. Associé au concept d'isolation innovant et aux matériaux isolants composites Bosch, cela permet d'obtenir un niveau particulièrement élevé d'efficacité de la chaudière.

- Rendement élevé jusqu'à 95,3% avec économiseur intégré (optionnel)
- Réduction de la consommation d'énergie du ventilateur du brûleur grâce à une faible résistance du côté des gaz de combustion.
- Prêt pour l'avenir : Grâce au brûleur à faible teneur en NOx et au tube de flamme largement dimensionné, la chaudière se situe déjà de manière fiable en dessous des limites d'émissions européennes strictes du MCPD pour 2025 et/ou réglementations locales en matière d'émissions.

Concept de fonctionnement à utilisation facile

- Contrôle compact CSC avec écran tactile monté sur la chaudière
- Disponible en alternative avec la commande de chaudière BCO qui offre des fonctions supplémentaires : Accès à distance via MEC Remote, connexion aux systèmes d'automatisation et assistant d'efficacité MEC Optimize.

Des performances fiables et des équipements sur mesure

L'unité de séchage à la vapeur et la chambre à vapeur aux dimensions généreuses du modèle Universal CSB garantissent un niveau élevé de qualité de la vapeur, adapté à vos processus.

- Disponible en version haute/basse pression.
- Équipement de chaudière flexible, y compris l'unité de combustion, l'échangeur de chaleur des gaz de combustion, le traitement d'eau et le système de contrôle.
- Universal, peut être utilisé, par exemple, avec du gaz naturel, du biogaz, du mazout ou des multicom bustibles.
- Certifié conformément au directive européenne des équipements sous pression (chaudières à vapeur haute pression), applicable au niveau international avec des équipements de sécurité spécifiques à chaque pays.

Installation rapide et maintenance sans problème

- Conception compacte optimisée pour une facilité de transport et une installation simple.
- Mise en service aisée grâce à la commande compacte précâblée et aux modules préassemblés.
- Nettoyage, maintenance et service faciles grâce à la chambre d'inversion télescopique
- L'absence d'inserts dans les tubes de l'échangeur de chaleur permet une bonne accessibilité.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

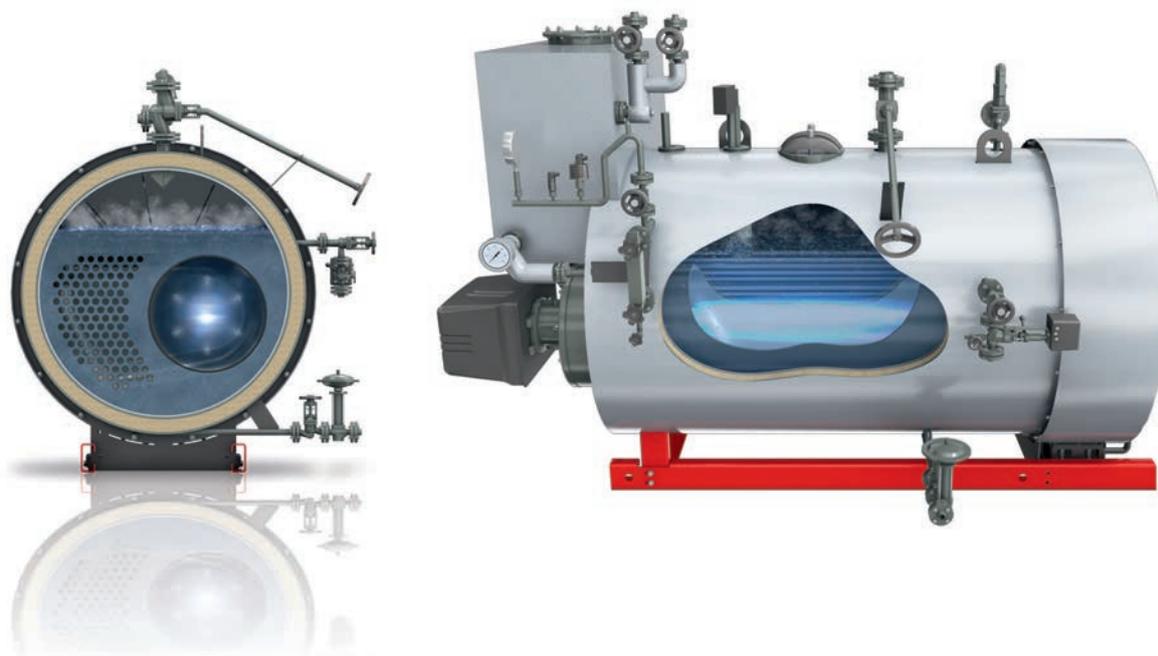


Fig. 173 Vue en coupe CSB

Construction

L'unité de séchage de la vapeur et la chambre à vapeur largement dimensionnée dans la conception de la chaudière Universal CSB garantissent un niveau élevé de qualité de vapeur adapté à vos processus. La fabrication de haute qualité du corps de la chaudière à l'aide des robots de soudage les plus récents permet d'obtenir un niveau particulièrement élevé de robustesse et de durabilité.

Grâce aux tubes hélicoïdaux spéciaux d'échange de chaleur, l'échange par m^2 de surface de chauffage est considérablement amélioré. L'utilisation d'inserts dans le système d'évacuation n'est pas nécessaire, ce qui facilite considérablement le nettoyage. En outre, le besoin du ventilateur du brûleur en énergie est réduit grâce à la faible résistance du côté des gaz de combustion.

La chambre d'inversion télescopique de la chaudière à vapeur industrielle facilite les travaux d'entretien et d'inspection. Elle peut être ouverte en toute sécurité par un système coulissant sans nécessiter beaucoup d'espace. De même, l'ensemble de la plaque tubulaire arrière est entièrement accessible

Composants associés de la chaufferie

- Échangeur de chaleur des gaz de combustion ECO
- Module de refroidissement de la bâche alimentaire FWM
- Module de service des condensats CSM
- Module de traitement d'eau WSM
- Module de traitement d'eau WTM
- Module de pompe PM
- Analyseur d'eau WA
- Module de régulation de la bâche alimentaire RM
- Module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM
- Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM
- Refroidisseur de vapeurs VC
- Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB
- Module de régulation des gaz GRM
- Module d'alimentation en fioul OSM
- Module de circulation du fioul OCM
- Module de régulation de la pression du fioul ORM
- Module de préchauffage du fioul OPM
- Distributeur de vapeur SD
- Module accumulateur de vapeur SAM
- Contrôles pour l'optimisation de la combustion
- Contrôle compact de la chaudière à vapeur CSC
- Contrôle de la chaudière BCO
- Contrôle du système SCO
- Accès à distance MEC Remote
- Assistant d'efficacité MEC MEC Optimize
- Contrôle pour les installations à grande échelle Système MEC



Fig. 174 Compact steam control CSC pour chaudière à vapeur CSB

→ Produits – Chapitre 4 : Modules pour chaudières à vapeur, page 343

→ Produits – Chapitre 5 : Modules d'alimentation de chaudières, page 363

Équipements

Nous proposons la chaudière à vapeur UNIVERSELLE CSB en tant que système de chaudière complet avec équipement*. L'équipement de base comprend le réservoir sous pression de la chaudière, les composants de contrôle et de sécurité, le brûleur, un économiseur intégré, un module de pompe, une boîte à bornes et la commande compacte CSC montée sur la chaudière. Vous pouvez également choisir la commande de la chaudière BCO qui permet la connexion à des systèmes d'automatisation.

*Le niveau d'équipement est variable et peut être librement configuré selon les besoins du client.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Les capteurs, les actionneurs et les équipements de sécurité spécifiques au pays sont déjà câblés et combinés dans la boîte à bornes. Des faisceaux de câbles préassemblés, branchés et codés simplifient la connexion entre l'armoire de commande de la chaudière et la boîte à bornes.

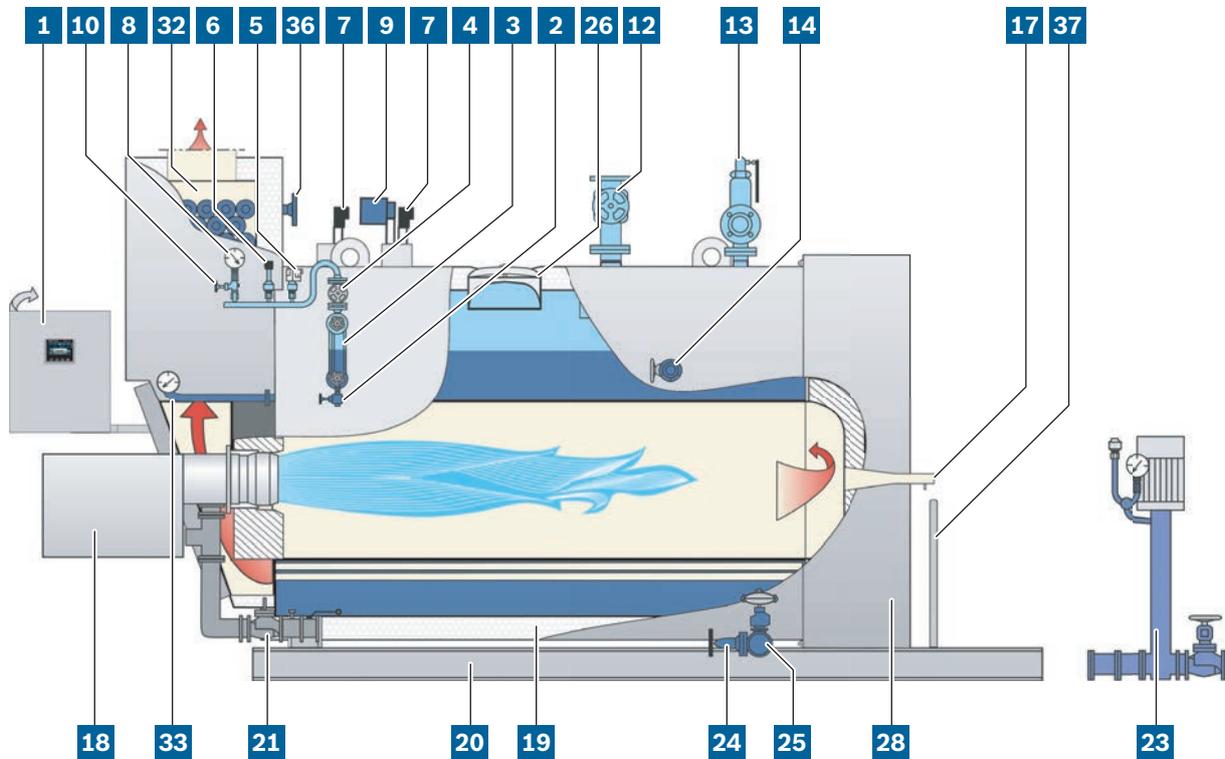


Fig. 175 Illustration de la CSB

- | | |
|---|---|
| 1 Armoire de commande avec contrôle compact de la vapeur | 17 Trou d'observation |
| 2 Robinet de purge | 18 Brûleur |
| 3 Indicateur de niveau d'eau réfléchissant | 19 Isolation avec coque de protection |
| 4 Vanne d'arrêt du tube Manostat, sans entretien | 20 Cadre de base |
| 5 Limiteur de pression | 21 Module de régulation du gaz |
| 6 Transmetteur de pression (4 – 20 mA) | 23 Module de pompe |
| 7 Électrode du limiteur de niveau bas | 24 Vanne d'arrêt de vidange, sans entretien |
| 8 Manomètre | 25 Vanne de purge à fermeture rapide |
| 9 Transducteur de niveau (4 – 20 mA) | 26 Ouverture d'inspection, côté vapeur |
| 10 Vanne d'arrêt du manomètre avec fonction de test | 28 Chambre d'inversion arrière télescopique pour inspection facile |
| 12 Vanne d'évacuation de la vapeur | 32 Échangeur de chaleur des fumées ECO |
| 13 Soupape de sécurité à lever totale | 33 Tuyauterie de raccordement ECO/chaudière |
| 14 Dessalage et mesure de la conductivité entièrement automatique (ici non dessinée) | 36 Raccord d'arrivée d'eau ECO |
| | 37 Poignée en arc pour la chambre d'inversion |

2.2 Chaudière à vapeur UNIVERSAL U-MB

La désignation du produit U-MB signifie « UNIVERSAL Modular Boiler » (chaudière à vapeur à 3 parcours avec conception modulaire). Le type U-MB se compose de plusieurs modules, qui répondent parfaitement aux exigences individuelles. Les domaines d'application typiques sont l'industrie alimentaire et des boissons, les blanchisseries et les entreprises de nettoyage, ainsi que les petites entreprises industrielles.



Fig. 176 Image du system U-MB

Données techniques	type U-M
Fluide caloporteur	Vapeur saturée à haute pression
Conception	Tube de flamme à 3 parcours/Technologie des tubes de fumée
Débit en kg/h	200 à 2 000
Pression de sécurité en bar	Jusqu'à 16
Température Max en °C	204
Combustible	Huile, gaz, combustion multicom bustible



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Un rendement élevé pour des coûts d'exploitation réduits

Les composants de la chaudière sont configurés de manière à réduire les émissions, à obtenir une vapeur de haute qualité et à obtenir un rendement énergétique optimal

- Haut niveau d'efficacité grâce à l'économiseur intégré
- Maximisation de l'efficacité grâce aux modules de récupération de chaleur modulaires



Concept d'exploitation convivial

- Contrôle intuitif de la chaudière par PLC (API)
- Contrôle automatique du démarrage, de la mise en veille et de l'arrêt SUC
- Prêt à être connecté aux systèmes d'automatisation
- Assistant numérique d'efficacité MEC
- Accès à distance protégé MEC

Des performances fiables et un équipement personnalisé

La chaudière à vapeur à trois passages peut être utilisée de manière universelle pour toutes les applications. Naturellement, elle peut être combinée avec tous les autres composants de système disponibles dans notre gamme modulaire pour l'alimentation en combustible et en eau, l'évacuation de l'eau, l'analyse de l'eau et la récupération de chaleur.

- Un équipement standard complet et de série
- Chaudière à enveloppe et technologie à 3 parcours
- Faible encombrement grâce à une empreinte compacte
- La conception modulaire, qui repose sur l'utilisation systématique de caractéristiques de conception et de pièces qui sont également utilisées dans d'autres séries de types, garantit un rapport qualité-prix particulièrement intéressant.

Installation rapide et maintenance efficace

- Un effort d'installation réduit grâce à la livraison d'une seule unité - l'équipement, le système de combustion et l'économiseur ont déjà été montés en usine.
- Conception compacte permettant de transporter facilement la chaudière sur le site si l'espace est limité.
- Câblage simplifié sur site grâce aux connexions enfichables.
- Câblage simplifié sur site grâce aux connexions enfichables.

→ Étude et conception – Tab. 4 : Chaudière à vapeur avec des conditions d'installation facilitées (exemple Allemagne), page 51

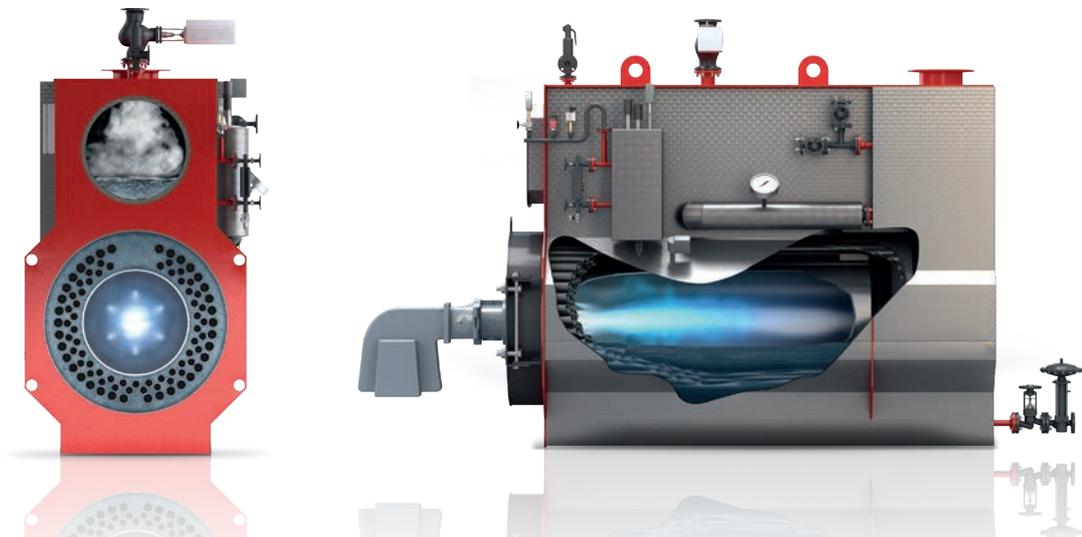


Fig. 177 *Vue en coupe U-MB*

Construction

La chaudière à vapeur U-MB est conçue comme une chaudière à tube de flamme et à tube de fumée à trois passages. Elle se compose de plusieurs modules, à savoir la section de production de chaleur en version à trois passages, la chambre à vapeur située au-dessus et un économiseur intégré. Grâce à sa conception à trois parcours, il n'est pas nécessaire de prévoir des composants d'écoulement dans les tubes de fumée.

La section de production de chaleur de l'U-MB est basée sur la conception de la chaudière UNIMAT, éprouvée depuis des décennies et des milliers de fois dans la pratique. La géométrie généreuse des tubes de flamme permet un processus de combustion efficace.

Le choix de la section vapeur a une influence déterminante sur la qualité de la vapeur. Un dimensionnement généreux a un impact très positif sur l'humidité résiduelle de la vapeur.

L'économiseur intégré a une influence directe sur l'efficacité énergétique. La chaleur contenue dans les gaz de combustion est utilisée pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière, ce qui signifie que la majeure partie de cette chaleur est récupérée. Cela permet de réduire la consommation de combustible et les émissions.

Le générateur de vapeur est testé pour l'examen de type et est fabriqué selon les directives strictes du système d'assurance qualité du module D de la directive sur les équipements sous pression.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Composants associés de la chaufferie

- Échangeur de chaleur des fumées ECO et échangeur de chaleur des fumées ECO pour la condensation
- Module de refroidissement de l'eau d'alimentation FWM
- Module de service des condensats CSM
- Module de traitement de l'eau WSM
- Module de traitement de l'eau WTM
- Module de pompe PM
- Analyseur d'eau WA
- Module de régulation de l'eau d'alimentation RM
- Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM
- Refroidisseur de vapeur VC
- Module de régulation des gaz GRM
- Module d'alimentation en fioul OSM
- Module de circulation du fioul OCM
- Module de régulation de la pression du fioul ORM
- Module de préchauffage du fioul OPM
- Distributeur de vapeur SD
- Module accumulateur de vapeur SAM
- Commandes pour l'optimisation de la combustion
- Module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM
- Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB
- Contrôle de la chaudière BCO
- Contrôle du système SCO
- Accès à distance MEC Remote
- Assistant d'efficacité MEC Optimize
- Contrôle pour les installations à grande échelle Système MEC



Fig. 178 Module de traitement de l'eau WSM

→ Produits – Chapitre 4 : Modules pour chaudières à vapeur, page 343

→ Produits – Chapitre 5 : Modules d'alimentation de chaudières, page 363

Équipement

Nous proposons la chaudière à vapeur UNIVERSAL U-MB en tant que système de chaudière complet avec équipement*. L'équipement de base comprend le réservoir sous pression de la chaudière, les composants de commande et de sécurité, le brûleur, un économiseur intégré, un module de pompe, une boîte à bornes et l'armoire électrique de commande, y compris la commande de chaudière BCO

facile à utiliser. Les capteurs, les actionneurs et les dispositifs de sécurité spécifiques au pays sont déjà câblés et combinés dans la boîte à bornes.

Des faisceaux de câbles préassemblés, enfichables et codés simplifient la connexion entre l'armoire de commande de la chaudière et le boîtier de raccordement lors de l'installation. L'armoire électrique autoportante ou murale peut être adaptée et configurée pour répondre au mieux aux exigences du site.

*Le niveau d'équipement est variable et peut être librement configuré selon les besoins du client.

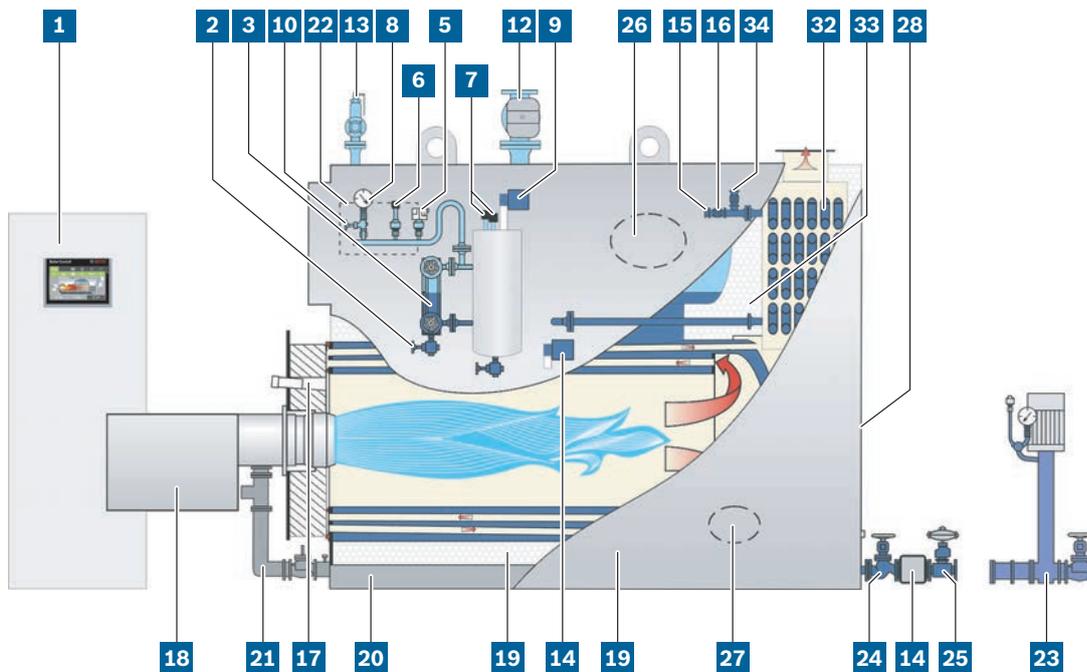


Fig. 179 Illustration de l'U-MB

- | | |
|---|--|
| 1 Armoire de commande avec contrôle de la chaudière BCO | 18 Brûleur |
| 2 Robinet de purge | 19 Isolation avec coque de protection |
| 3 Indicateur de niveau d'eau réfléchissant | 20 Cadre de base |
| 5 Limiteur de pression | 21 Module de régulation du gaz |
| 6 Transmetteur de pression (4 – 20mA) | 22 Boîte à bornes |
| 7 Électrode du limiteur de niveau bas | 23 Module de pompe |
| 8 Manomètre | 24 Vanne d'arrêt de vidange, sans entretien |
| 9 Level transmitter (4 – 20mA) | 25 Vanne de purge de fond à ouverture rapide |
| 10 Vanne d'arrêt du manomètre avec fonction de test | 26 Ouverture d'inspection, côté vapeur |
| 12 Vanne d'évacuation de la vapeur | 27 Ouverture d'inspection, côté eau |
| 13 Soupape de sécurité à lever totale | 28 Ouverture d'inspection, côté gaz de combustion |
| 14 Mesure de la conductivité entièrement et purge de surface automatique | 32 Echangeur thermique des gaz de combustion ECO |
| 15 Clapet anti-retour d'eau d'alimentation | 33 Tuyauterie de raccordement ECO/chaudière |
| 16 Vanne d'arrêt de l'eau d'alimentation, sans entretien | 34 Vanne d'arrêt de l'évent ECO |
| 17 Trou d'inspection de la flamme | |



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

2.3 UNIVERSAL steam boiler UL-S/UL-SX

La chaudière UNIVERSAL UL -S est une chaudière à grand volume d'eau à triple parcours qui répond à toutes les exigences de performances très élevées. Les domaines d'application typiques sont les industries de transformation, les secteurs commerciaux et les bâtiments publics.



Fig. 180 Image du système de l' U-LS/UL-SX

Données techniques	UL-S	UL-SX
Transfert de chaleur	Vapeur saturée haute pression	Vapeur surchauffée haute pression
Modèle	Technologie à tube foyer et tube de fumées triple parcours	Technologie à tube foyer et tube de fumées triple parcours
Débit (kg/h)	1 250 à 28 000	2 600 à 28 000
Limite de suppression (bar)	Jusqu'à 30	Jusqu'à 30
Température Maxi (°C)	235	300
Combustible	Fioul, gaz	Fioul, gaz



Rendement élevé pour des coûts d'exploitation réduits

En plus du potentiel des flux de gaz de combustion, le rendement peut augmenter grâce à l'économiseur intégré pour la récupération de chaleur des gaz de combustion. Les modules complémentaires pour le contrôle d'eau d'alimentation, le ventilateur de brûleur modulant et la régulation O₂ ou CO₂ peuvent s'utiliser pour un fonctionnement plus efficace et respectueux de l'environnement.

- Rendement élevé grâce à la technologie triple parcours, l'économiseur intégré et l'isolation thermique.
- La possibilité des températures de fumées inférieures à 50 °C avec l'utilisation de la technologie de condensation
- La chaudière peut être équipée d'un quatrième parcours séparé pour exploiter la chaleur résiduelle
- Combustion à faibles émissions et rejets jusqu'à moins de 50 mg de NO_X grâce à l'utilisation de systèmes de combustion de pointe et à une détermination minutieuse de la meilleure combinaison chaudière/brûleur

Concept d'utilisation facile

- Commande de chaudière intuitive sur une base automate avec transparence des données opérationnelles
- Dispositif de démarrage, de mise à disposition et de départ automatique SUC

Des performances fiables et des équipements sur mesure

Le foyer, la chambre d'inversion des gaz noyée, le 1^{er} parcours et le 2^{ème} parcours des tubes sont placés dans le corps de chaudière afin d'optimiser le débit des fumées.

Les surfaces de rayonnement et convection produisent ensemble une circulation, d'eau très rapide et accélèrent ainsi le transport des bulles de vapeur vers l'enceinte de vapeur.

La chaleur transférée de combustion est rapidement transformée en vapeur, sans causer de nuisance au matériel

- Stabilité de pression et qualité de vapeur élevées même avec des besoins en vapeur fortement fluctuants grâce à une chambre à vapeur élevée et un contrôle à 3 composants
- Grande chambre de vapeur grâce à un design asymétrique
- Adapté à de nombreux brûleurs
- le corps de chaudière est également utilisable comme chaudière de récupération pour cogénérateur ou turbine à gaz
- Robuste, fiable et durable.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Installation rapide et maintenance efficace

- Mise en service facile grâce aux modules préassemblés et à la commande pré-paramétrée de la chaudière
- Extension et modernisation ultérieures faciles
- Câblage facile sur le site grâce à une connexions plug-in
- Maintenance facile - simple à inspecter du coté gaz de combustion et du coté eau

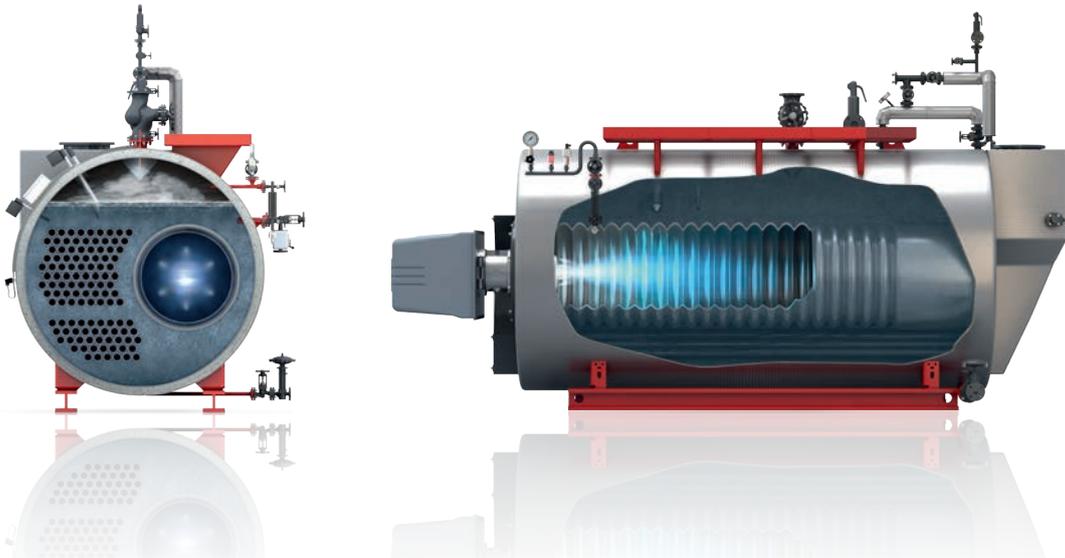


Fig. 181 *Vue en coupe UL-S/UL-SX*

Construction

Notre brevet datant de 1952 est le secret de la réussite de cette série : Le système à triple parcours.

Le tube foyer (1er parcours) et deux ensembles de tube fumés (2ème et 3ème parcours) sont parfaitement intégrés dans le corps de pression avec la chambre d'inversion des gaz noyée. Grâce au tube foyer latéral et à l'inversion horizontale à l'arrière et verticale à l'avant des gaz surchauffés, une grande surface de rayonnement et de convection avec un grand volume de vapeur est obtenue avec un faible encombrement.

Les fonds sont ancrés dans le foyer et sont reliés avec l'isolation de la chaudière pour une répartition de charges équilibrée. Contrairement aux conceptions dépassées avec des goujons, ces chaudières sont plus robustes et durables. Même en période de charges dynamiques.

Eléments de chaufferie liés

- Module de conditionnement d'eau WTM
- Bâche alimentaire WSM
- Module de condensats CSM
- Module de purge, de détente et de refroidissement BEM.
- Analyseur d'eau WA
- Echangeur de chaleur sur fumées ECO 1 (montage individuel)
- Echangeur de chaleur sur fumées ECO 6 (montage individuel)
- Module de détente et de récupération de la chaleur EHM
- Module de pompe PM
- Module de détente, récupération de chaleur et purge d'eau EHB
- Refroidisseur de vapeur VC
- Module de régulation gaz GRM
- Module de circulation de fioul OCM
- Module d'approvisionnement du fioul OSM
- Module de préchauffage de fioul OPM
- Système de gestion de l'installation SCO
- Module de refroidissement d'eau d'alimentation FWM
- Système de préchauffage de l'air APH
- Module surchauffeur
- Distributeur de vapeur SD



Fig. 182 Distributeur de vapeur SD

→ Produits – Chapitre 5 : Modules d'alimentation de chaudières, page 363

Equipement

Vous pouvez obtenir toutes nos chaudières comme une unité fonctionnelle et complètement équipée. Cela comprend la chaudière isolée avec ces accessoires, l'armoire de commandes BCO et le brûleur. Les capteurs sont déjà cablés dans la boîte intégrée. Pour les chaudières UL-S avec une puissance jusqu'à 4000 kg/h, la version de contrôle CSC approchable peut être utilisée comme alternative. Préassemblée et cablée par un faisceau de câbles codés, ceci simplifie l'installation électrique de la chaudière avec l'armoire électrique.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

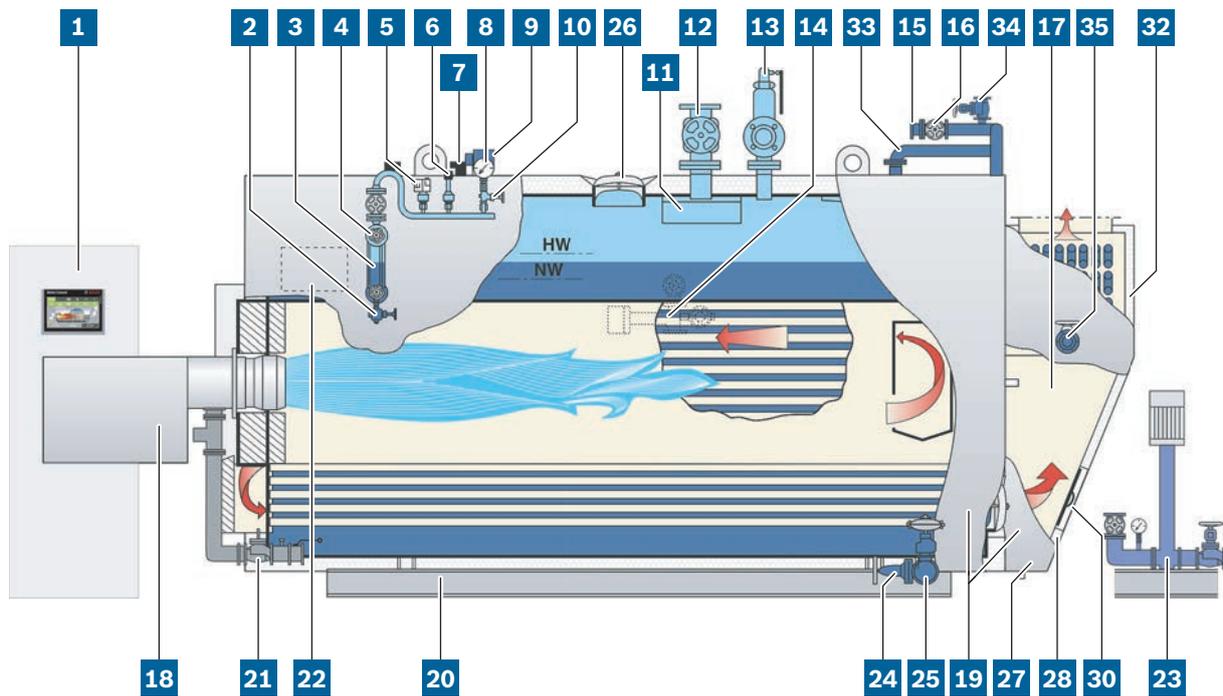


Fig. 183 Illustration de l'UL-S/UL-SX

- | | |
|---|---|
| 1 Armoire électrique de commande avec commande de chaudière BCO (la version de contrôle CSC peut être utilisée pour des chaudières d'une puissance allant jusqu'à 4000 kg / h) | 17 Regard de flamme |
| 2 Robinet de vidange | 18 Brûleur |
| 3 Indicateur de niveau d'eau | 19 Isolation avec enveloppe de protection |
| 4 Rampe manostat | 20 Chassis porteur |
| 5 Limiteur de pression | 21 Module de régulation du gaz |
| 6 Transmetteur de pression (4 – 20mA) | 22 Boîtier de raccordement |
| 7 Electrode de limitation niveau bas | 23 Module de régulation du gaz |
| 8 Manomètre | 24 Robinet de vidange |
| 9 Transmetteur de niveau (4 – 20mA) | 25 Robinet de purge à fermeture rapide |
| 10 Soupape de fermeture du manomètre avec le bride de controle | 26 Trappe de visite, coté vapeur |
| 11 Séchoir de vapeur | 27 Trappe de vsite, coté eau |
| 12 Vanne d'extraction de vapeur | 28 Trappe de visite, coté fumée |
| 13 Soupape de sécurité de course complète | 30 Collecteur des gaz de combustion |
| 14 Mesure conductivité et purge entièrement automatiques | 32 Echangeur de chaleur sur fumées ECO |
| 15 Clapet anti-retour pour eau d'alimentation | 33 Tube de raccordement ECO/chaudière |
| 16 Robinet de remplissage | 34 Vanne d'arrêt d'évent ECO |
| | 35 Vanne d'arrêt de vidange ECO (drainant) |

2.4 Chaudière à deux tubes foyer ZFR

La chaudière UNIVERSAL ZFR à deux tubes de foyer est une chaudière à grand volume d'eau. Cette chaudière est équipée de la technologie à triple parcours avec deux foyers et des tubes de fumée totalement séparés. Elle est présente dans tous les secteurs où est requis un approvisionnement élevé en vapeur et en chaleur. Les secteurs d'application typiques sont les fournisseurs d'énergie, les bâtiments publics, les industries de transformation et les entreprises commerciales.



Fig. 184 Système de chaudière à vapeur ZFR/ZFR-X

Données techniques	Type ZFR	Type ZFR-X
Transfert de chaleur	Vapeur saturée haute pression	Vapeur surchauffée haute pression
Modèle	Chaudière à tube de foyer à triple parcours	Chaudière à tube de foyer à triple parcours
Débit (kg/h)	18 000 à 55 000	18 000 à 55 000
Limite de surpression (bar)	jusqu'à 30	jusqu'à 30
Température Maxi (°C)	235	300
Combustible	Fioul, gaz	Fioul, gaz



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Rendement élevé pour des coûts d'exploitation réduits



Pour la chaudière UNIVERSAL à deux tubes de foyers, une commande de puissance modulante est obligatoire pour un fonctionnement sur un ou deux tubes foyers et une alimentation continue en eau. Pour exploiter le potentiel d'économies supplémentaires, nous vous proposons des modules en option pour augmenter l'efficacité, par exemple. Les ventilateurs de brûleur à commande de vitesse ou les commandes de combustion en maintenant les niveaux de O₂ et / ou de CO.

- Rendement élevé grâce à la technologie de triple parcours, l'économiseur intégré et l'isolation thermique
- Concept efficace d'isolation thermique
- Combustion à faibles émissions de rejets grâce aux systèmes de combustion de pointe et à la meilleure combinaison chaudière/brûleur

Concept d'utilisation facile

- Commande de chaudière intuitive sur une base automate avec transparence des données opérationnelles
- Dispositif de démarrage, de mise à disposition et de départ automatique SUC

Performance fiable et équipement personnalisé

La chaudière UNIVERSAL ZFR fonctionne également sur un seul foyer. Le principe de triple parcours avec la chambre d'inversion des gaz noyée a été breveté par Bosch depuis 1952.

Nos chaudières peuvent être complétées simplement soit par un économiseur ou un surchauffeur. Les dimensions des tubes et de la chambre à vapeur sont thermodynamique et les surfaces de rayonnement et de convection produisent une dynamique particulière. Un transfert de chaleur permet d'assurer rapidement la conversion de la chaleur apportée par le combustible en vapeur et cela sans causer de choc thermique pour la chaudière.

- Consistance de pression et qualité de la vapeur élevées même avec des besoins en vapeur fortement fluctuants
- Adaptée à de nombreux brûleurs
- Plage de réglage extrêmement élevée avec le fonctionnement à un tube foyer
- Réception selon la directive européenne des équipements sous pression, utilisable dans le monde entier
- Robuste, fiable et incomparablement durable

Installation rapide et maintenance efficace

- Mise en service facile grâce à des modules préassemblés une commande de chaudière pré-paramétrée
- Actualisation et mise à niveau faciles (technologie modulaire intégrée)
- Câblage facile sur site grâce aux connexions plug-in
- Accessibilité pour l'entretien-inspection facile aussi bien côté fumée que côté eau

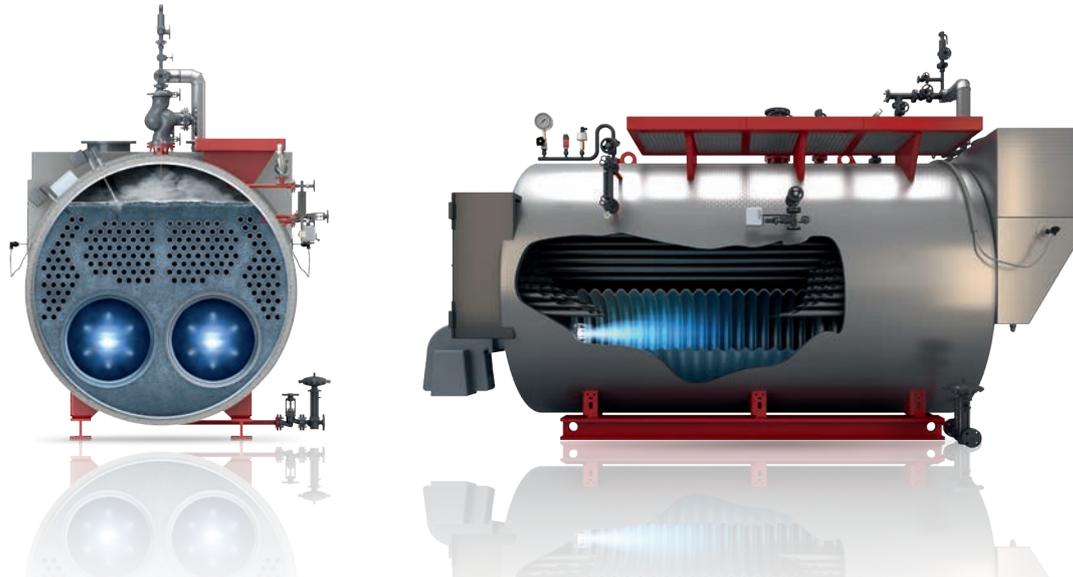


Fig. 185 *Vue en coupe ZFR/ZFR-X*

Construction

Les foyers fonctionnent en parallèle ou individuellement sans restriction grâce à la stabilité de l'alimentation en combustible. De plus, un design de construction spécifique neutralise les contraintes thermiques avec un fonctionnement sur un foyer et assure une fiabilité continue.

Les tubes foyers sont solidement soudés dans les côtés avant et arrière.

La boîte noyée est séparée par une paroi stabilisante, traversée d'eau, ficée au fond arrière. La circulation d'eau et le transport de chaleur sont dynamisés par des profils conducteurs. La circulation d'eau est également accélérée par des gaz de balayage entre les tubes foyers et les tubes de fumée.

Le TUV autorise un fonctionnement sur un foyer, et donc d'un ou de deux brûleurs.

L'utilisation de combustibles différents sur les deux brûleurs est possible. La plage de réglage est doublée et tout fonctionnement à faible charge bénéficie d'un rendement brûleur optimum.

→ Rapport technique FB003 : Chaudière à double tube de fumée



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Eléments de chaufferie liés

- Module de conditionnement d'eau WTM
- Bâche alimentaire WSM
- Module de condensats CSM
- Module de purge, de détente et de refroidissement BEM.
- Analyseur d'eau WA
- Echangeur de chaleur sur fumées ECO 1 (montage individuel)
- Echangeur de chaleur sur fumées ECO 6 (montage individuel)
- Module de détente et de récupération de la chaleur EHM
- Module de pompe PM
- Module de détente, récupération de chaleur et purge d'eau EHB
- Refroidisseur de vapeur VC
- Module de régulation gaz GRM
- Module de circulation de fioul OCM
- Module d'approvisionnement du fioul OSM
- Module de préchauffage de fioul OPM
- Système de gestion de l'installation SCO
- Module de refroidissement d'eau d'alimentation FWM
- Système de préchauffage de l'air APH
- Module surchauffeur
- Distributeur de vapeur SD



Fig. 186 Echangeur de chaleur des gaz de combustion ECO 6 pour une utilisation en condensation

→ Produits – Chapitre 5 : Modules d'alimentation de chaudières, page 363

Equipment

Vous pouvez obtenir toutes nos chaudières comme une unité fonctionnelle et complètement équipée. Cela comprend la chaudière isolée avec ces accessoires, l'armoire de commandes BCO, brûleur et le module de pompe.

Les capteurs sont déjà cablés dans la boîte intégrée. Préassemblé et câblé par un faisceau de câbles codés, ceci simplifie l'installation électrique de la chaudière avec l'armoire électrique.

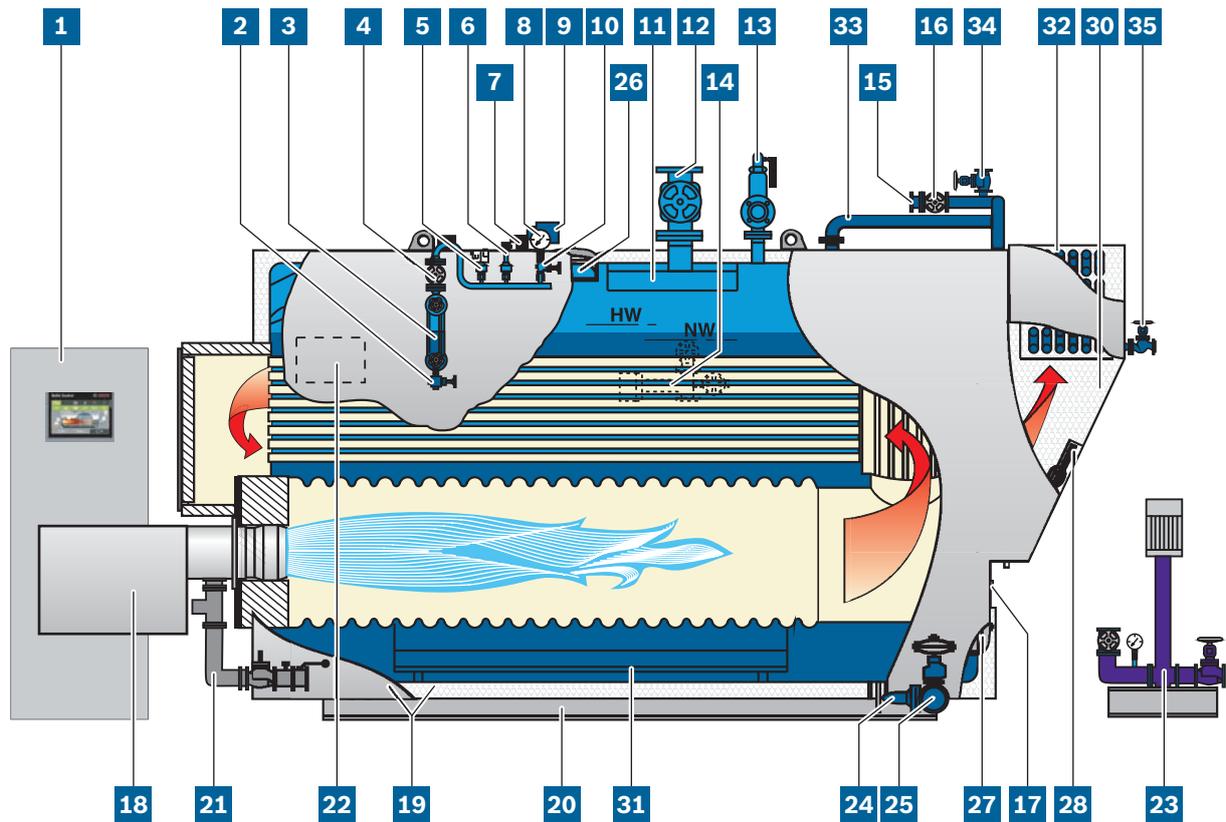


Fig. 187 Illustration de ZFR/ZFR-X

- | | |
|---|---|
| 1 Armoire électrique de commande avec BCO | 18 Brûleur |
| 2 Robinet de vidange | 19 Isolation avec enveloppe de protection |
| 3 indicateur de niveau d'eau | 20 Chassis porteur |
| 4 Rampe manostat | 21 Module de régulation de gaz |
| 5 Limiteur de pression | 22 Boîtier de raccordement |
| 6 Transmetteur de pression (4 – 20mA) | 23 Module de pompe d'alimentation |
| 7 Electrode de limitation niveau bas | 24 Robinet de vidange |
| 8 Manomètre | 25 Robinet de purge à fermeture rapide |
| 9 Transmetteur de niveau (4 – 20mA) | 26 Trappe de visite, côté vapeur |
| 10 Soupape de fermeture du manomètre avec bride de controle. | 27 Trappe de visite, côté eau |
| 11 Séchoir de vapeur | 28 Trappe de visite, côté fumée |
| 12 Vanne d'extraction de vapeur | 30 Collecteur des gaz de combustion |
| 13 Soupape de sécurité de course complète | 31 Echangeur de chaleur sur fumées ECO |
| 14 Mesure conductivité et purge entièrement automatiques | 32 Profils conducteurs entourés d'eau |
| 15 Clapet anti-retour d'eau d'alimentation | 33 Tube de raccordement ECO/Chaudière |
| 16 Robinet de remplissage | 34 Vanne d'arrêt d'évent ECO |
| 17 Trou d'inspection de la flamme | 35 Vanne d'arrêt de vidange ECO (drainant) |



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

2.5 Module de surchauffage

Chaudières à simple et double tube de flamme/tube de fumée avec surchauffeurs pour la production de vapeur surchauffée.

Si de la vapeur surchauffée est requis au lieu de la vapeur saturée, un module de surchauffage peut être placé à l'avant de la chambre d'inversion. Un clapet by-pass contrôle constamment la température de la vapeur surchauffée sur une large plage de chargement. Les zones des tubes de fumée restent facilement accessibles grâce à la porte à charnière de la chambre d'inversion.

- Système modulaire, contrôlé du côté des gaz de combustion - aucune injection d'eau n'est requis pour le contrôle de la température de la vapeur surchauffée.
- Maintenance et installation faciles - possibilité de nettoyage simple du 2ème et 3ème parcours de la chaudière
- Longue durée de vie grâce à la faible charge thermique du faisceau de l'échangeur de chaleur du super chauffeur.

→ Rapport technique FB020 : chaudière à vapeur avec module de surchauffage

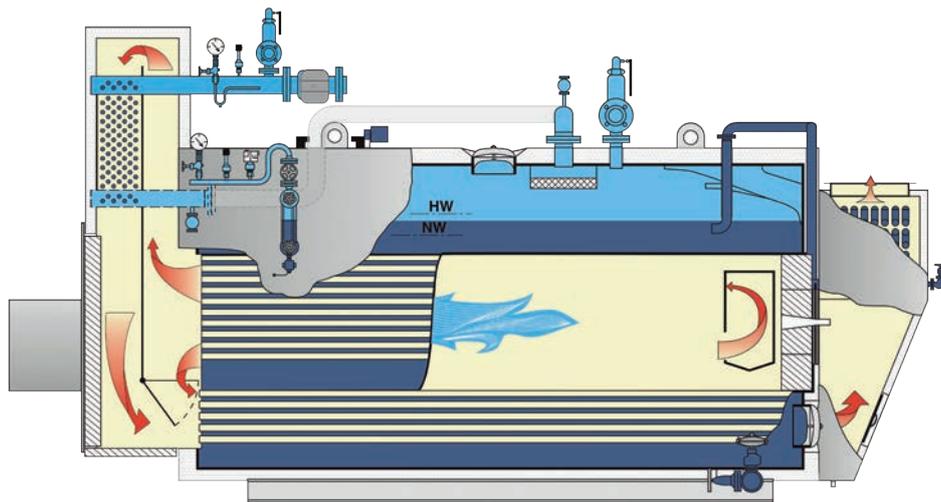


Fig. 188 Vue en section de UL-SX

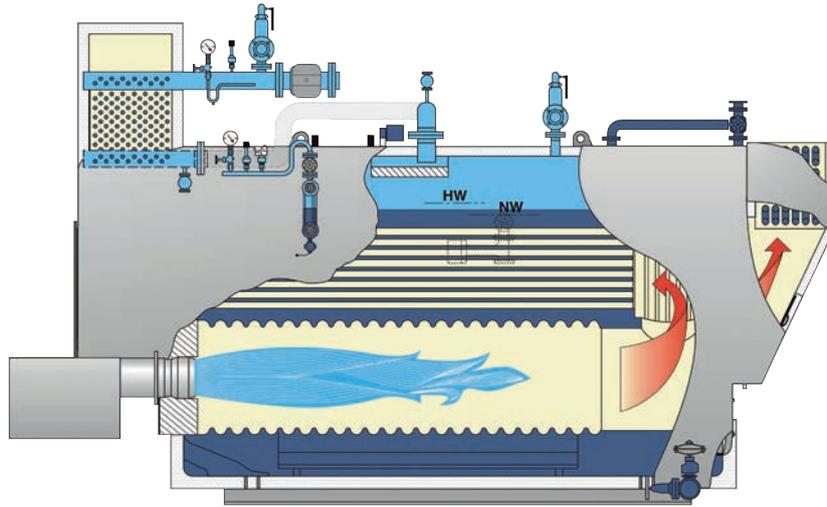


Fig. 189 *Vue en coupe ZFR-X*



Fig. 190 *Chaudière à Double tube de fumée avec module de surchauffage*



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

3 Chaudières à récupération de chaleur et récupération de la chaleur perdue

3.1 Chaudière à vapeur à récupération de chaleur UNIVERSAL HRSB

La chaudière à récupération de chaleur utilise la chaleur des gaz de combustion pour produire de la vapeur industrielle.



Fig. 191 Chaudière à vapeur de récupération de chaleur UNIVERSAL avec système HRSB

Données techniques	Type HRSB
Fluide caloporteur	Vapeur saturée haute pression
Conception	Chaudière à enveloppe de récupération de chaleur
Débit en kg/h	400 à 4 100
Pression de sécurité en bar	10 à 16
Température maximale des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en °C	550
Volume minimal des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en kg/h	500
Volume maximal des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en kg/h	23 500
Combustible de la source de chaleur perdue	Gaz naturel (autres types de gaz de combustion sur demande)
Plage de puissance des unités de production combinée de chaleur et d'électricité combinables en MWel	Environ 0,5 à 4

Utilisée en combinaison avec une unité de production combinée chaleur/électricité, la chaudière à vapeur de récupération de chaleur HRSB peut jouer un rôle important dans l'utilisation efficace de l'énergie primaire. Les gaz de combustion chauds provenant des processus de combustion en amont sont acheminés vers la chaudière de récupération de chaleur et utilisés pour la production de vapeur industrielle. Grâce à sa conception modulaire et à ses dimensions compactes, elle constitue un choix idéal à la fois pour les nouvelles installations ainsi que pour les projets de modernisation.

Construction

La chaudière à vapeur à récupération de chaleur, qui est certifiée conformément à la PED (directive relative aux équipements sous pression), est disponible en huit versions standardisées. Elle se compose d'un échangeur de chaleur tubulaire hautement efficace, dont l'efficacité peut être encore accrue par l'utilisation d'un économiseur intégré en option. En outre, nous proposons une dérivation des gaz de combustion. Si aucune vapeur n'est extraite, la chaudière l'utilise pour la dérivation du côté des gaz de combustion. Cela signifie que l'unité de production combinée de chaleur et d'électricité ou d'autres sources de chaleur perdue peuvent continuer à fonctionner sans interruption.

Équipement

La chaudière à vapeur à récupération de chaleur est isolée et dispose d'un équipement de sécurité de pointe. La dérivation des gaz de combustion est fournie séparément pour faciliter le transport et est montée et isolée sur place. La commande de la chaudière BCO, basée sur un automate programmable, peut être contrôlée par écran tactile et est logée dans une armoire de commande séparée, posée au sol ou fixée au mur.

Les avantages en un coup d'œil

- Augmentation de l'efficacité et de la responsabilité environnementale grâce à l'utilisation de sources de chaleur perdue.
- Sécurité d'approvisionnement élevée grâce à la combustion propre
- Rendement élevé grâce à un échangeur de chaleur tubulaire efficace et une bonne isolation thermique
- Gain d'efficacité supplémentaire grâce à l'économiseur intégré en option
- Système modulaire adapté pour une étude et conception facile et une installation rapide
- Système complet avec unité de production combinée de chaleur et d'électricité sur demande.
- Commande intuitive de la chaudière par automate programmable avec une transparence exceptionnelle des données d'exploitation.
- Mise en service aisée grâce à la commande pré-paramétrée de la chaudière.
- Câblage sur site simplifié grâce aux connexions enfichables.
- Robuste, fiable et durable
- Réduction de la diversité des composants en ce qui concerne le stock de pièces de rechange
- Service d'une seule source
- Possibilité de commander le système par SCO avec des BCO de chaudières à récupération de chaleur et de chaudières à combustion conventionnelle.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

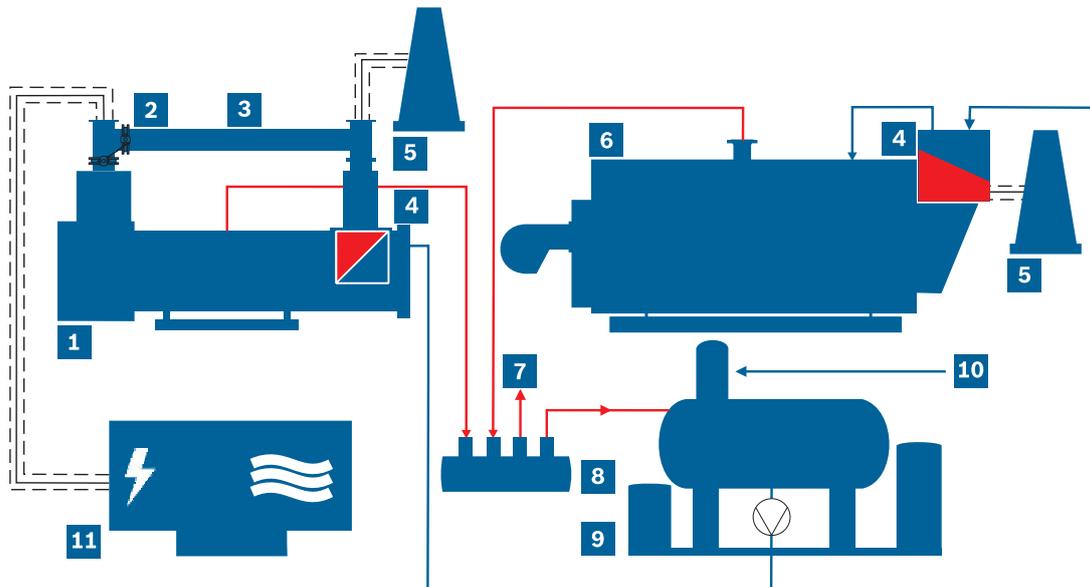


Fig. 192 Schéma fonctionnel de la chaudière à vapeur à récupération de chaleur UNIVERSAL HRSB (une représentation très simplifiée)

- | | |
|--|--|
| 1 Chaudière à récupération de chaleur | 7 Consommateur |
| 2 Volets de dérivation | 8 Distributeur |
| 3 Dérivation des gaz de combustion | 9 Module d'alimentation en eau WSM-V |
| 4 Economiseur | 10 Eau d'appoint |
| 5 Cheminée | 11 Unité de production combinée de chaleur et d'électricité |
| 6 Chaudière à vapeur à charge de pointe | |

La série UL-S comme chaudière de récupération de chaleur à 3 passages

- La série UL-S peut également être utilisée comme chaudière à récupération de chaleur pure.
- Pour une utilisation avec des températures élevées des gaz de combustion
- Pour une utilisation en combinaison avec des unités de production combinée de chaleur et d'électricité ou des turbines à gaz.
- Utilisation de la chaleur perdue pour produire de la vapeur



Fig. 193 Vue de face d'une chaudière de récupération de chaleur à 3 parcours sans brûleur.

3.2 Chaudière à 4 parcours avec brûleur

La chaudière conventionnelle produit de la chaleur industrielle tout en utilisant le potentiel thermique des sources de chaleur résiduelle.



Fig. 194 Chaudière à 4 parcours avec brûleur

Données techniques	Chaudière à 4 parcours type UL-S
Fluide caloporteur	Vapeur saturée haute pression
Conception	Chaudière à 3 parcours de tube de flamme/tube de fumée avec 4ème parcours tube de fumée intégré
débit en kg/h	700 à 28 000
Pression de sécurité en bar	Jusqu'à 30
Température maximale des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en °C	550
Volume minimal des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en kg/h	500
Volume maximal des gaz de combustion de la source de chaleur perdue en kg/h	23 500
Combustible de la source de chaleur perdue	Gaz naturel (autres types de gaz de combustion sur demande)
Plage de puissance des unités de production combinée chaleur / électricité en MWel	Environ 0,5 à 4
Combustible pour l'alimentation de la chaudière	Combustion au gaz, au fioul ou multicom bustibles

Cette variante de chaudière à vapeur industrielle est une chaudière conventionnelle à trois parcours avec un parcours supplémentaire intégré de tubes de fumée pour l'utilisation de la chaleur perdue. Elle est principalement utilisée en combinaison avec des centrales de cogénération ou des turbines à gaz. Dans le quatrième parcours de la chaudière, les gaz de fumée chauds provenant des processus de combustion en amont sont utilisés pour contribuer à la production de chaleur industrielle.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

L'utilisation de chaudières à chaleur perdue sans combustion nécessite normalement une chaudière supplémentaire pour la charge de pointe. Sur la variante de conception avec son propre allumage, le quatrième parcours fournit la puissance de base et le système d'allumage se met en marche si la demande augmente. Il n'est donc pas nécessaire de prévoir des temps et des coûts d'installation, des besoins en espace et des coûts d'investissement pour un réservoir sous pression supplémentaire avec un équipement de sécurité complet et des pompes d'alimentation. En outre, l'utilisation d'échangeurs de chaleur dans le système de gaz de combustion de la centrale de cogénération est réduite.

Construction

La conception de nos chaudières de récupération de chaleur avec brûleur correspond à la conception de base de la série UL.-S. Les chaudières sont équipées d'un parcours supplémentaire intégré dans le tube de fumée (4e parcours) pour l'utilisation de la chaleur résiduelle.

Equipment

Les options d'équipement sont identiques à celles disponibles pour la chaudière à vapeur UNIVERSAL de la série UL.-S.

Les avantages en un coup d'œil

- Augmentation de l'efficacité et de la responsabilité environnementale grâce à l'utilisation des sources de chaleur perdues.
- Sécurité d'approvisionnement élevée grâce à la combustion propre
- Système modulaire adapté pour une étude et conception simple et une installation rapide
- Système complet comprenant une unité de cogénération chaleur / électricité et une commande de système intégrée sur demande.
- Commande intuitive de la chaudière basée sur un API avec une transparence exceptionnelle des données d'exploitation
- Mise en service aisée grâce à la commande pré-paramétrée de la chaudière.
- Câblage sur site simplifié grâce aux connexions enfichables.
- Robuste, fiable et durable
- Réduction de la diversité des composants en ce qui concerne le stock de pièces de rechange
- Service par un seul et même fournisseur

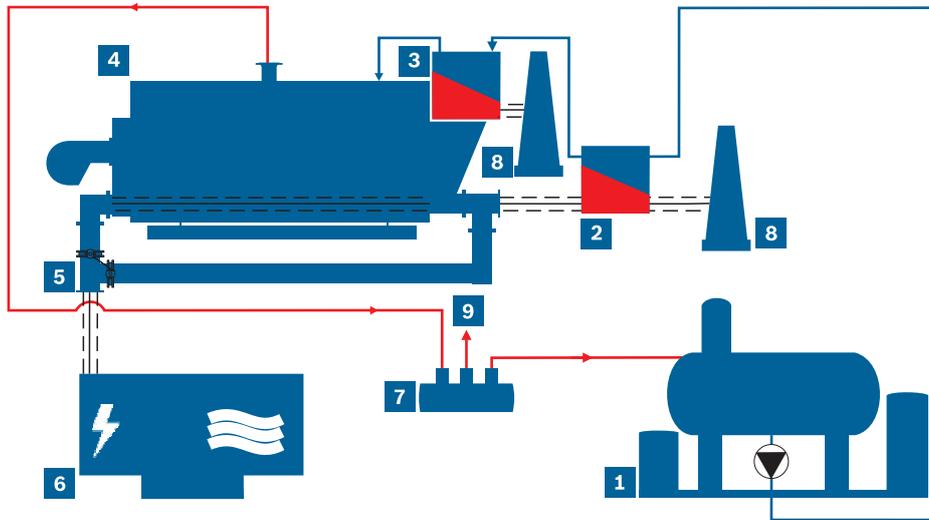


Fig. 195 Schéma fonctionnel d'une chaudière à 4 allures avec brûleur (représentation très simplifiée)

- | | |
|---|--|
| 1 Module d'alimentation en eau WSM-V | 6 Unité de cogénération chaleur / électricité |
| 2 Échangeur de chaleur des fumées | 7 Distributeur |
| 3 Economiseur | 8 Cheminée |
| 4 Chaudière à vapeur à 4 parcours | 9 Consommateur |
| 5 Dérivation des fumées | |



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

3.3 Technologie des systèmes d'économie d'énergie

Schéma fonctionnel des composants de la chaufferie

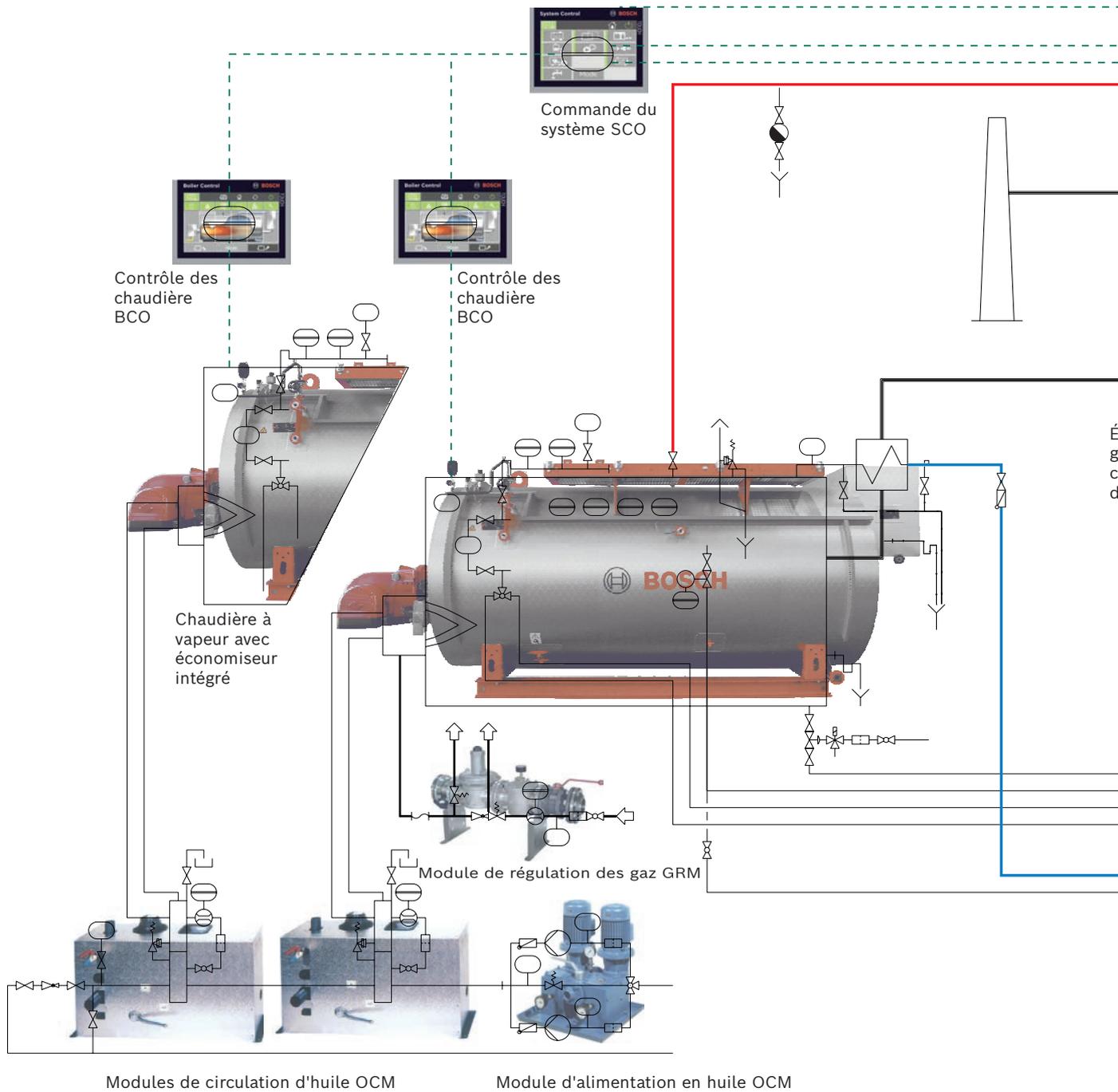


Fig. 196 Schéma fonctionnel des composants de la chaufferie



Aperçu des produits

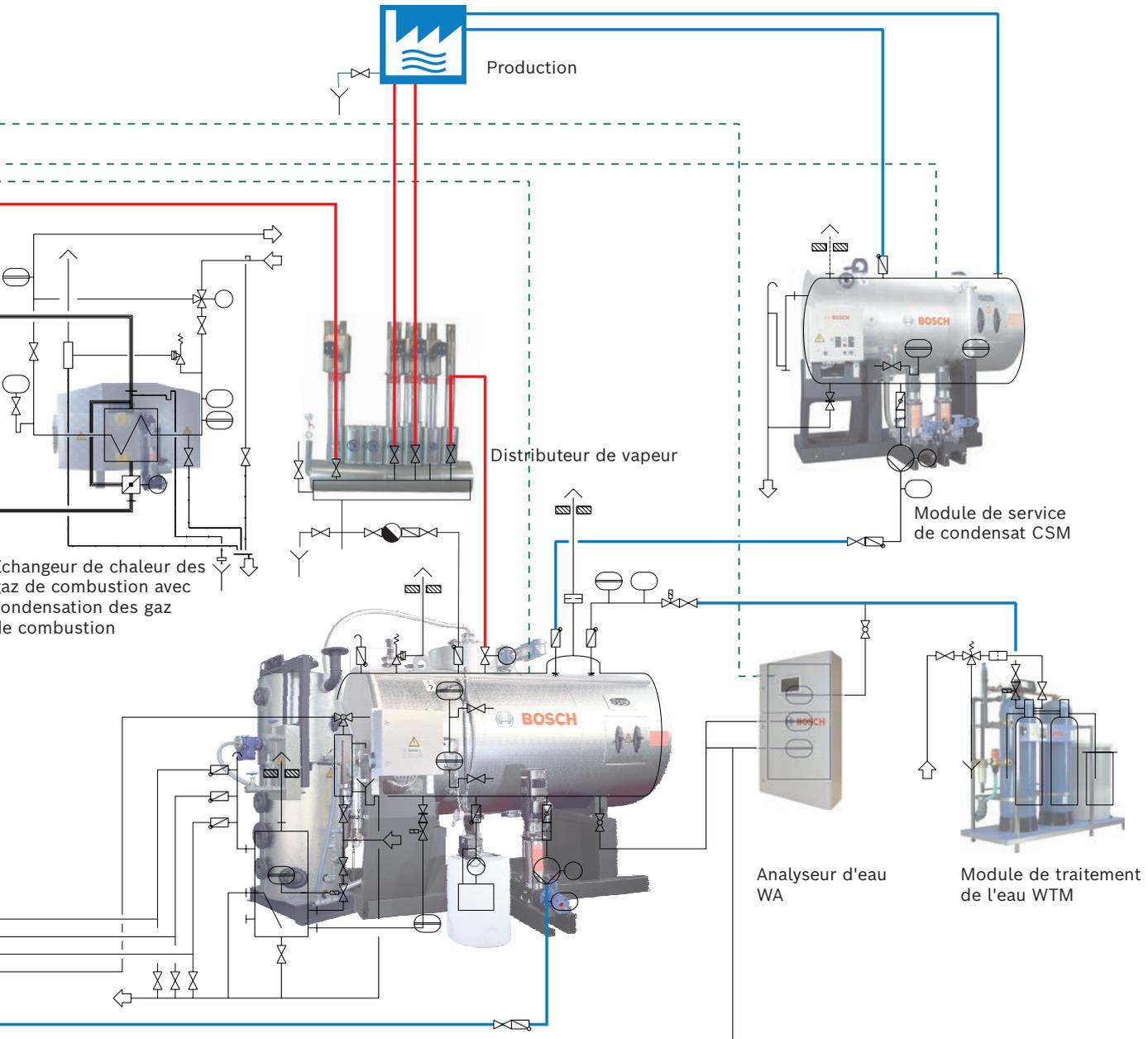
Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système



Module de traitement de l'eau WTM
Module de récupération et de purge de la chaleur d'expansion EHB



Dampf

BOSS



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4 Modules pour chaudières à vapeur

Les modules Bosch pour chaudières à vapeur vous permettent d'équiper votre système en fonction de vos besoins. Ils garantissent une sécurité de fonctionnement maximale, une longue durée de vie et un haut degré d'efficacité dans des conditions d'exploitation spécifiques.

4.1 Module de distribution d'eau WSM

Le module de service d'eau alimente les chaudières à vapeur en eau d'alimentation dégazée et conditionnée chimiquement et évacue l'eau de purge de surface et de fond.

- Alimentation et stockage des condensats et de l'eau d'appoint.
- Dégazage thermique partiel de l'eau d'alimentation avec WSM-T.
- Dégazage thermique complète de l'eau d'alimentation avec le WSM-V.
- Conditionnement chimique de l'eau d'alimentation
- Expansion et refroidissement de l'eau de purge de surface et de fond.
- Refroidissement des échantillons d'eau
- Contrôle et visualisation PLC (API) de
 - Niveau d'eau dans le réservoir
 - Température de l'eau d'alimentation pour le WSM-T
 - Pression du réservoir pour le WSM-V
 - Température de purge
- Contrôle du dosage des produits chimiques
- Protection contre la marche à sec du module de la pompe d'alimentation
- Protection contre le débordement



Fig. 197 Module d'alimentation en eau WSM-V pour le dégazage complet de toutes les chaudières à vapeur d'un débit de 2 000 à environ 100 000 kg/h.

Construction

Tous les composants sont canalisés, isolés thermiquement et câblés électriquement dans une unité d'assemblage multifonctionnelle. Les échafaudages complexes ne sont pas nécessaires : le module compact est monté sur un dispositif de support stable et conçu pour être installé au niveau du sol. Toutes les fonctions sont assistées par ordinateur et contrôlées automatiquement par un contrôleur logique programmable avec écran tactile.

Équipement

Le module se compose d'un réservoir d'eau d'alimentation chauffé à la vapeur, d'un doseur de produits chimiques, d'un vase d'expansion de purge, d'un refroidisseur d'échantillons d'eau et des accessoires associés, ainsi que d'une armoire de commande. Des composants supplémentaires optionnels, tels qu'une installation de récupération de chaleur pour l'eau de purge de surface, un second dispositif de dosage de produits chimiques ou des modules de pompe d'alimentation, sont disponibles. Un désaérateur à pulvérisation ou à ruissellement est monté sur le réservoir d'eau d'alimentation du WSM-V.

Les avantages en un coup d'œil

- Étude et conception, installation et réception rapides et faciles
- Pas besoin de hauteur d'aspiration positive, installation au niveau du sol.
- Prêt à fonctionner avec seulement quelques raccords
- Mise en service, entretien et exploitation faciles
- Unité de garantie complète
- Transport et déplacement faciles
- Efficacité de dégazage élevée avec WSM-T
- Efficacité de dégazage exceptionnelle avec le WSM-V
- Consommation réduite de produits chimiques avec le WSM-V



Fig. 198 Module d'alimentation en eau WSM-T pour le dégazage partiel de toutes les chaudières à vapeur d'une puissance allant jusqu'à 8 000 kg/h.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4.2 Distributeur de vapeur SD

Dans le distributeur, le débit massique de la vapeur générée est distribué aux consommateurs et l'humidité résiduelle est séparée et évacuée.

Construction

Un tuyau collecteur avec un nombre de sorties de tuyau en fonction de la commande est entièrement assemblé avec des raccords à bride et tous les raccords nécessaires dans une unité modulaire.

Équipement

Les distributeurs sont équipés d'indicateurs de pression, de vannes d'arrêt, de clapets anti-retour et de purgeurs de condensat et seront livrés thermiquement isolés.

Les avantages en un coup d'œil

- Réduction des pertes de réseau grâce à la distribution centralisée pour les systèmes avec des structures de consommateurs complexes.
- Économies grâce à l'exploitation et à la maintenance centralisées



Fig. 199 Distributeur de vapeur SD dans un système existant

4.3 Module d'accumulateur de vapeur SAM

Le module sert à stocker un contenu énergétique défini qui est disponible comme vapeur d'expansion lors de la réduction de la pression. Le domaine d'application est la couverture des charges de pointe, par exemple si la capacité d'un générateur de vapeur est brièvement dépassée. Plus la teneur en eau de l'accumulateur est élevée, plus la chaleur de réévaporation est importante. L'accumulateur de vapeur est rempli à 50% d'eau et est chauffé avec de la vapeur jusqu'à la pression de charge. L'accumulateur est déchargé en ouvrant les dispositifs d'arrêt du côté du consommateur. L'accumulateur est alimenté avec la même quantité de vapeur que celle prélevée précédemment. Cela signifie qu'il n'est généralement pas nécessaire de fournir de l'eau d'alimentation supplémentaire à l'accumulateur de vapeur pendant le fonctionnement. Un purgeur de condensat à flotteur est prévu pour empêcher une augmentation du niveau d'eau.

Construction

L'accumulateur de vapeur est constitué d'un réservoir cylindrique horizontal avec un tuyau d'injection de vapeur intégré.

Equipment

Le module est isolé thermiquement et livré avec un équipement assemblé prêt à fonctionner. Le module est équipé d'une ventilation, d'une fermeture de vidange, d'une fermeture de remplissage, de vannes d'entrée et de sortie de vapeur, d'une protection contre le débordement et la surpression, d'un affichage direct de la température ainsi que d'un indicateur de niveau d'eau.

Les avantages en un coup d'œil

- Équilibre des charges de pointe brèves
- Réduction de l'entraînement d'eau et de ses effets négatifs
- Réduction de la fréquence de commutation des générateurs de vapeur
- Réduction de la consommation d'énergie et de l'usure



Fig. 200 Module d'accumulateur de vapeur SAM



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4.4 Module de service des condensats CSM, installation haute-pression de condensat CHP

Les condensats provenant des consommateurs de vapeur sont canalisés, collectés et stockés temporairement dans le module de service des condensats. Une pompe à condensat renvoie le condensat dans l'installation de désaération de l'eau d'alimentation si le besoin en eau correspondant apparaît. Les modules de service des condensats non pressurisés sont généralement installés près du consommateur.

L'installation haute pression du condensat maintient le condensat à la pression et à la température nécessaires pour éviter ou réduire considérablement les pertes de vapeur d'expansion. Si nécessaire, le condensat est directement acheminé vers la chaudière à vapeur via la pompe à condensat. Une désaération supplémentaire du condensat à haute pression n'est pas nécessaire. Les installations de condensat à haute pression doivent toujours être utilisées si le déversement dans le réservoir d'eau d'alimentation ou dans des modules de service de condensat non pressurisés s'accompagne de pertes de vapeur d'expansion élevées en raison des paramètres du condensat.

Construction

Tous les composants sont canalisés, isolés thermiquement et câblés électriquement dans une unité d'assemblage multifonctionnelle. Le module de service de condensat non pressurisé est monté sur un dispositif de support stable et conçu pour être installé au niveau du sol. L'installation haute pression de condensat est préparée pour une installation ouverte et nécessite une hauteur d'aspiration positive d'au moins 1,5 mètre. Toutes les fonctions sont assistées par ordinateur et contrôlées automatiquement par un automate programmable.

Equipment

L'installation se compose des éléments : réservoir des condensats, module de pompe à condensat, armoire de commande et accessoires d'équipement. La tuyauterie et l'isolation thermique du système sont préinstallées départ usine.

Les avantages en un coup d'œil

- Diminution de la consommation d'énergie et d'eau par la réduction des quantités d'eau d'appoint
- Minimisation des pertes par expansion de vapeur, des quantités de purge de surface et de fond, réduction de la consommation de produits chimiques et du potentiel de corrosion dans le système de condensat de vapeur lors de l'utilisation d'installations à haute pression de condensat.
- Des économies de carburant et d'eau douce allant jusqu'à 12% sont possibles avec la centrale haute pression à condensats.



Fig. 201 *Le module de service des condensats non pressurisé co-traite les flux de condensats et les renvoie dans le circuit eau/vapeur via le système de désaération.*



Fig. 202 *La quantité de combustible, les besoins en eau d'appoint et l'utilisation de produits chimiques pour le traitement de l'eau peuvent être réduits de manière drastique par une installation haute pression de condensats.*



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4.5 Module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM

L'objectif du module de purge, d'expansion et de refroidissement est l'admission de toutes les eaux usées chaudes d'un système de chaudière à vapeur. Ces eaux usées sont collectées, détendues et refroidies dans le module jusqu'à la température de décharge autorisée et définie. Le module est conçu pour les systèmes multi-chaudières avec un maximum de trois chaudières à vapeur.

Construction

Un conteneur vertical fermé, monté sur une structure de support, avec divers raccords d'alimentation et de vidange. La moitié inférieure du module est remplie d'eau pendant le fonctionnement, la moitié supérieure est un espace d'expansion. La température du milieu ambiant est enregistrée et convertie en un signal électrique grâce au transducteur de mesure de la température situé dans la partie inférieure du module. Le refroidissement mixte est obtenu par l'alimentation en l'eau d'appoint froide et adoucie et les eaux usées sont évacuées en toute sécurité lorsque la température de refoulement autorisée est atteinte. La température de refoulement peut être contrôlée par le système de commande du module de service de l'eau.

Équipement

Le module est constitué d'un cylindre vertical étanche avec des plaques aux deux extrémités et une protection périphérique contre les contacts. Il est isolé thermiquement et entièrement assemblé départ usine avec tous les raccords nécessaires.

Les avantages en un coup d'œil

- Montage simple et rapide, prêt à fonctionner immédiatement avec peu de raccords
- Respect exact des directives officielles grâce au mode de fonctionnement automatique



Fig. 203 Module de purge, d'expansion et de refroidissement BEM

4.6 Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM

Ce module récupère une grande partie de la quantité de chaleur contenue dans l'eau chaude (eau de purge de surface/condensat) d'un système de chaudière. L'eau sous pression est détendue dans le vase d'expansion. La vapeur d'expansion ainsi produite permet de chauffer le réservoir d'eau d'alimentation. L'eau d'appoint du système de chaudière est préchauffée dans l'échangeur de chaleur en aval et l'eau de purge/condensat de surface est refroidie à une température d'environ 35 °C.

Construction

Le module comprend un vase d'expansion, un échangeur de chaleur intégré pour la récupération de la chaleur, la structure de support et l'équipement nécessaire.

Équipement

Le module est proposé isolé thermiquement et entièrement monté au départ de l'usine avec tous les raccords nécessaires.

Les avantages en un coup d'œil

- Montage rapide et facile, prêt à fonctionner immédiatement en rajoutant des raccords supplémentaires.
- Augmentation de l'efficacité du système
- Réduction des coûts de combustible, d'eau de refroidissement et d'eaux usées jusqu'à 2%.



Fig. 204 Module d'expansion et de récupération de chaleur EHM



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4.7 Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB

Ce module est constitué de la combinaison du module de détente, de récupération de chaleur et de purge EHM avec le module de purge, de détente et de refroidissement BEM. Il a donc pour objet la récupération de l'énergie thermique contenue dans l'eau chaude (eau de purge de surface/condensat) et l'évacuation des eaux usées en tenant compte de la température de rejet autorisée.

Construction

Le module est constitué d'un vase d'expansion ainsi que d'un réservoir d'eaux usées et de refroidissement. Un échangeur de chaleur avec les raccords associés est intégré pour la récupération de la chaleur.

Equipment

Deux cylindres superposés scellés par des plaques aux deux extrémités, une station de collecte, tous les raccords nécessaires, la tuyauterie interne et l'isolation thermique sont inclus dans la livraison et sont proposés départ usine entièrement montés.

Les avantages en un coup d'œil

- Montage simple et rapide, prêt à fonctionner immédiatement en rajoutant des raccords supplémentaires.
- Respect exact des directives et réglementations officielles grâce au mode de fonctionnement automatique
- Augmentation de l'efficacité de l'installation
- Réduction des coûts du combustible, d'eau de refroidissement et d'eaux usées jusqu'à 2%.



Fig. 205 Module d'expansion, de récupération de chaleur et de purge EHB

4.8 Refroidisseur de vapeurs VC

En raison de leur principe de fonctionnement, les systèmes de dégazage intégral thermique produisent des vapeurs d'échappement. Sans refroidisseur de vapeur, les vapeurs d'échappement seraient rejetées à l'air libre sans être utilisées. Dans le refroidisseur de vapeur, la vapeur d'échappement se condense au moyen d'un échangeur de chaleur. L'énergie thermique accumulée pendant le refroidissement de la vapeur d'échappement est utilisée pour chauffer l'eau d'appoint.

Construction

Échangeur de chaleur à plaques avec raccords filetés, les parties en contact avec le fluide sont en acier inoxydable.

Équipement

Le module comprend un échangeur de chaleur avec les raccords associés.

Avantages en un coup d'œil

- Récupération de la chaleur et donc amélioration du rendement
- Énergie utilisable pour un chauffage supplémentaire ou pour le transfert vers un circuit d'eau séparé



Fig. 206 Refroidisseur de vapeur VC

4.9 Module de pompage PM

Le module sert à pomper l'eau d'alimentation du réservoir d'eau d'alimentation vers la chaudière à tubes ou à pomper le condensat du réservoir de condensat vers l'installation de désaération. En option, le module de pompe peut être équipé d'un moteur avec un convertisseur de fréquence pour une régulation continue de la quantité d'eau en fonction des besoins.

Construction

Les pompes fournies sont des pompes centrifuges verticales multi-étagées à haute pression avec un moteur entièrement fermé, moteur entièrement fermé et refroidi par ventilateur. Elles sont spécialement conçues pour être utilisées dans les chaudières à tubes.

Équipement

Le module de pompe est livré entièrement assemblé, départ usine, sur une console avec indicateur de pression, vanne d'arrêt, filtre et clapet anti-retour.



Fig. 207 Module de pompe PM



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Avantages en un coup d'œil

- Pré-assemblé pour une installation rapide
- Version à vitesse réglée pour augmenter l'efficacité de l'échangeur de chaleur des gaz de combustion
- Réduction de la consommation électrique et augmentation du confort d'utilisation

4.10 Module de régulation de l'eau d'alimentation RM

Si aucune pompe d'alimentation à régulation de vitesse n'est disponible, une régulation continue avec le module de régulation de l'eau d'alimentation est recommandée comme alternative pour toutes les chaudières équipées de brûleurs modulants et d'échangeurs thermiques de gaz de fumée et d'échangeurs de chaleur de gaz de combustion. Le module assure des temps de passage plus longs de l'échangeur de chaleur des gaz de combustion et donc une récupération optimale de la chaleur des gaz de combustion de la chaudière. En même temps, il garantit la quantité minimale requise pour le refroidissement de la pompe d'alimentation via le module de contrôle de l'eau d'alimentation.



Fig. 208 Module de régulation de l'eau d'alimentation RM

Le module préassemblé est utilisé à un endroit approprié de la ligne de pression de l'eau d'alimentation. Il est commuté comme contrôle du débit d'alimentation.

Équipement

Le module de régulation de l'eau d'alimentation pour la régulation continue se compose d'une vanne de régulation de l'eau d'alimentation, d'un dispositif de décharge, d'un dispositif de rétention des impuretés et de deux vannes d'arrêt ainsi que d'un dispositif de dérivation.

Les avantages en un coup d'œil

- Efficacité accrue de l'échangeur de chaleur des gaz de combustion
- Réduction du nombre d'opérations de commutation de la pompe
- Niveau d'eau constant dans la chaudière
- Débit minimum garanti pour le refroidissement de la pompe d'alimentation

4.11 Échangeur de chaleur des gaz de combustion ECO autonome

L'échangeur de chaleur des gaz de combustion est conçu pour économiser de l'énergie en abaissant la température des gaz de combustion par le chauffage de l'eau de retour du réseau.

Les gaz de combustion contiennent un potentiel thermique important à haute température. Les modules économiseurs, grâce à leurs surfaces de récupération de chaleur très efficaces, utilisent ce potentiel thermique et augmentent ainsi considérablement le rendement des chaudières à vapeur nouvelles ou existantes. L'échangeur de chaleur des gaz de combustion est installé en aval de la chaudière et est utilisé en fonctionnement « à sec » pour réchauffer l'eau d'alimentation. Pour utiliser la chaleur de condensation, la condensation des gaz de combustion peut avoir lieu dans un module supplémentaire d'échangeur de chaleur des gaz de combustion en aval et l'eau d'appoint peut être chauffée. L'installation ultérieure dans des systèmes existants de chaudières à vapeur à tube de flamme unique peut être réalisée très facilement par ces modules.

Construction

Dans la partie inférieure, les gaz de combustion sont collectés et passent par l'échangeur de chaleur intégré dans la partie supérieure pour la récupération de chaleur.

Equipment

Le module est monté sur un cadre de base stable et dispose de rails à l'arrière pour le transport. L'actionneur, la tuyauterie des raccords, le contrôle des gaz de combustion et les vannes d'arrêt de vidange sont entièrement montés et inclus avec l'isolation thermique dans le périmètre de livraison départ usine.

Les avantages en un coup d'œil

- Rendement accru de la chaudière
- Réduction de la consommation de combustible jusqu'à 7%.
- Montage facile sur des installations existantes

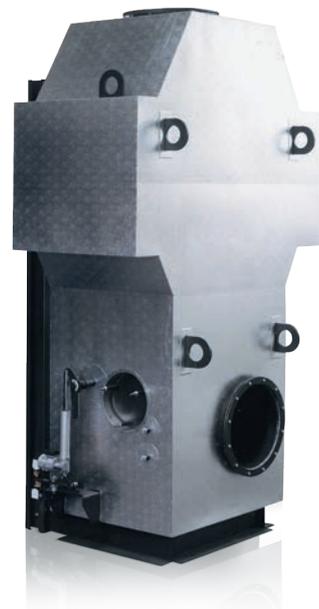


Fig. 209 *Echangeur de chaleur des gaz de combustion autonome ECO*



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

4.12 Echangeur de chaleur pour gaz de fumée autonome avec condensation des gaz de fumée

Grâce à la technologie de condensation, cet échangeur de chaleur des gaz de combustion récupère l'énergie de la chaleur résiduelle des gaz de combustion de la chaudière.

Le mode de fonctionnement est le même que celui d'un économiseur normal. L'échangeur de chaleur des gaz de combustion récupère la chaleur des gaz de combustion chauds de la chaudière, tandis que de l'eau froide circule dans les tubes de l'échangeur de chaleur et réduit la température des gaz de combustion. L'énergie gagnée par la condensation des gaz de combustion permet d'augmenter l'efficacité de la chaudière et donc de réduire la consommation de combustible et les émissions de gaz de combustion.

Construction

Échangeur de chaleur en acier inoxydable soudé pour une installation en aval de la chaudière, avec des pièces de raccordement pour l'entrée et la sortie de l'eau et le drainage, et comprenant des ouvertures d'inspection du côté des gaz de combustion. Pour le modèle avec by-pass, les fumées chaudes sont contrôlées par des clapets de régulation.

Équipement

Le module est entièrement équipé d'œillets de levage et de pieds, ainsi que d'une vanne de contrôle des gaz de combustion et d'une isolation thermique.

Les avantages en un coup d'œil

- Amélioration du taux d'utilisation
- Économies de combustible jusqu'à 7%.
- Adaptation facile aux systèmes existants
- Peut être utilisé avec les systèmes à vapeur et à eau chaude.

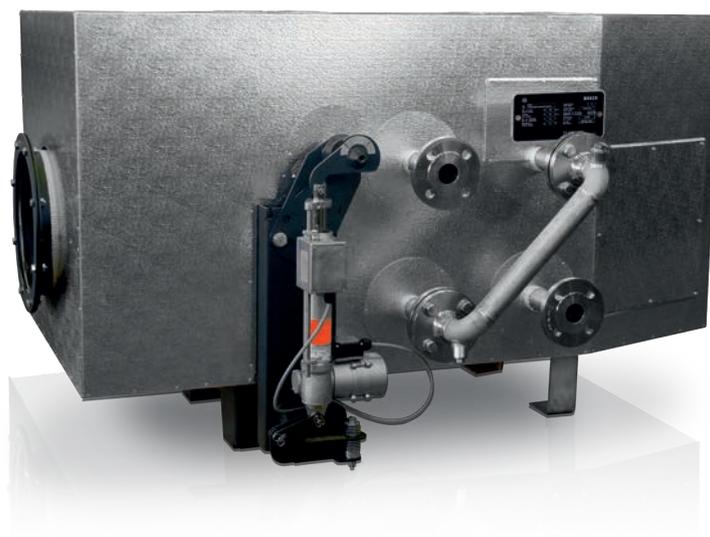


Fig. 210 Echangeur de chaleur autonome pour les gaz de combustion avec condensation des gaz de combustion

4.13 Système de préchauffage de l'air APH

Grâce à ce système, l'air de combustion est préchauffé et la température des gaz de combustion est réduite. Le rendement est augmenté. Lors de l'installation d'un nouveau système de chaudière à vapeur avec économiseur, le préchauffage de l'air est la solution idéale pour augmenter le rendement, en particulier dans les cas où l'intégration d'un condenseur de gaz de combustion est irréalisable pour des raisons de processus. Le système de préchauffage de l'air Bosch est disponible pour les chaudières à simple ou double tube de fumée avec brûleurs duoblock. Le système est économiquement viable à partir d'une capacité de chaudière d'environ cinq tonnes de vapeur par heure d'environ cinq tonnes de vapeur par heure. Le ventilateur peut être installé sur le dessus de la chaudière, ce qui signifie que le système compact nécessite peu d'espace pour son installation. Le retour sur investissement (ROI) est généralement atteint après 1,5 à 2 ans, mais selon le profil de charge, il peut être atteint plus tôt.

Construction

Dans le système Bosch, une partie du flux d'eau d'alimentation chauffée est utilisée pour augmenter la température de l'air de combustion. L'eau d'alimentation refroidie de cette manière augmente l'efficacité en réduisant davantage la température des gaz de combustion dans l'échangeur de chaleur des gaz de combustion combiné en aval.

Equipment

Le système de préchauffage de l'air se compose d'une vanne à trois voies, d'un échangeur de chaleur combiné pour les gaz de combustion et d'un échangeur de chaleur côté air. Par rapport aux systèmes classiques à deux circuits, il est désormais possible de renoncer à la pompe de circulation, au vase d'expansion et à divers systèmes électroniques de sécurité et de contrôle. Cela réduit non seulement les coûts d'investissement, mais aussi les coûts récurrents de maintenance et de pièces de rechange.



Fig. 211 Système de préchauffage de l'air APH sur une chaudière



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Les avantages en un coup d'œil

- Efficacité accrue du système
- Réduction de la consommation de combustible jusqu'à 2,5%.
- Réduction des émissions
- Coûts d'investissement réduits par rapport aux solutions conventionnelles
- Faibles coûts de maintenance et d'entretien
- Durée d'amortissement plus courte
- Système standardisé de qualité supérieure de Bosch

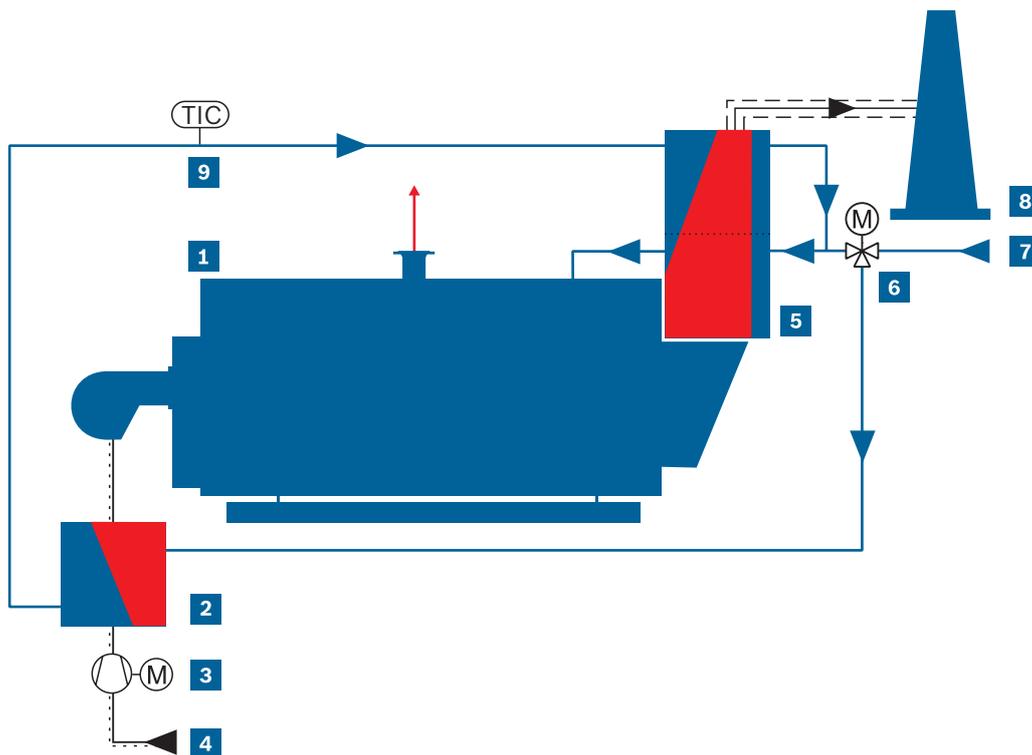


Fig. 212 Illustration d'un système de préchauffage de l'air sur une chaudière à vapeur (représentation très simplifiée).

1 Chaudière à vapeur

2 Échangeur de chaleur, air de combustion

3 Ventilateur Air de combustion

4 Échangeur de chaleur

5 Gaz de combustion combinés

6 Vanne à trois voies

7 Eau d'alimentation

8 Cheminée

9 Régulateur de température

4.14 Module de refroidissement de l'eau d'alimentation FWM

La température des gaz de combustion est un critère important pour évaluer l'efficacité d'un système de chaudière à vapeur. Les systèmes plus anciens et plus petits ont souvent des températures de gaz de combustion relativement élevées. Cela s'accompagne par des coûts de combustible inutilement élevés. Pour les systèmes ayant des heures de fonctionnement moyennes à élevées, l'utilisation de solutions techniques pour réduire les pertes de gaz de combustion, telles que les échangeurs de chaleur à condensation ou les systèmes de préchauffage de l'air, est rapidement rentable. Cependant, le module de refroidissement de l'eau d'alimentation est une alternative particulièrement rentable et facile à installer ultérieurement pour les systèmes ayant un nombre d'heures de fonctionnement hebdomadaire inférieur :

- Les chaudières avec une recirculation des condensats faible à moyenne.
- Les systèmes sans module de préchauffage de l'eau d'appoint
- En cas de demande continue d'eau chaude, par exemple pour les immeubles de bureaux ou les processus industriels.
- Systèmes de chaudières avec économiseurs mais sans échangeurs de chaleur à condensation en aval
- Chaudières ayant un faible nombre d'heures de fonctionnement, par exemple pour la production avec un seul poste de travail.
- Chaudières avec des rendements < 10 t/h

Construction

L'eau d'appoint froide est réchauffée dans le module de refroidissement de l'eau d'alimentation en utilisant l'eau d'alimentation chaude dans un échangeur de chaleur. En raison du refroidissement de l'eau d'alimentation, la différence de température entre l'eau et les gaz de combustion dans l'économiseur est plus importante. L'amélioration du transfert de chaleur dans l'économiseur réduit la température d'évacuation des gaz de combustion. L'efficacité de la combustion est ainsi améliorée jusqu'à 1,8%. Le contrôle du module permet de s'assurer que les températures et les débits sont toujours dans la plage autorisée. Cela permet d'éviter :

- Les contraintes thermiques causées par une eau d'alimentation trop froide circulant dans la chaudière
- La corrosion causée par la condensation indésirable des gaz de combustion lorsqu'ils sont trop refroidis. Le module de refroidissement de l'eau d'alimentation est une mesure fiable et efficace pour réduire les coûts énergétiques.

Équipement

Le module de refroidissement de l'eau d'alimentation se compose d'un échangeur de chaleur à plaques, y compris l'isolation, les vannes,

Le module de refroidissement de l'eau d'alimentation se compose d'un échangeur de chaleur à plaques, y compris l'isolation, les vannes, les adaptateurs de tuyauterie et les capteurs de température. Le dimensionnement du module et le paramétrage de la commande sont réalisés spécifiquement sur commande et sont adaptés au mode de fonctionnement du système.



Fig. 213 Module de refroidissement de l'eau d'alimentation FWM



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Les avantages en un coup d'œil

- Jusqu'à 1,8% d'économie de combustible.
- Rattrapage facile des anciens systèmes grâce à un faible encombrement et à une tuyauterie simple.
- Régulation adaptée pour un fonctionnement sûr de la chaudière et des composants.
- Amortissement rapide, même sur les systèmes ayant peu d'heures de fonctionnement
- Prêt à fonctionner avec seulement quelques raccords
- Mise en service, maintenance et exploitation faciles

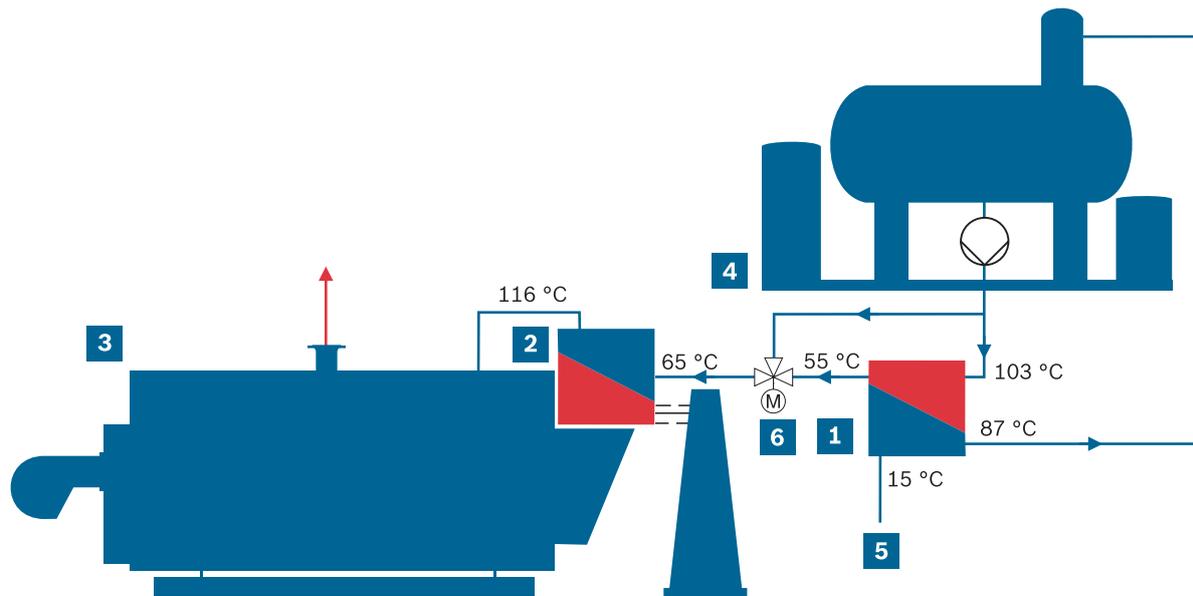


Fig. 214 Module de refroidissement de l'eau d'alimentation FWM

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1 Module de refroidissement de l'eau d'alimentation | 4 Module d'alimentation en eau |
| 2 Economiseur | 5 Eau d'appoint |
| 3 Chaudière à vapeur | 6 Vanne à trois voies |

4.15 Analyseur d'eau WA

Le bon fonctionnement de la chaudière repose sur une bonne qualité de l'eau. L'analyseur d'eau mesure et surveille en permanence les paramètres suivants :

- La valeur du pH dans l'eau de la chaudière
- valeur du pH, teneur en oxygène et conductivité de l'eau d'alimentation de la chaudière
- Valeur du pH et conductivité du condensat ou du contenu de l'eau de l'accumulateur de vapeur.

Toutes les données sont transmises à la commande du système SCO via le système de bus. Tous les paramètres d'eau pertinents, ainsi que la conductivité de l'eau de la chaudière et les conductivités des différents flux de condensat, sont donc disponibles dans la commande du système SCO. Les tâches de contrôle basées sur les besoins peuvent être exécutées de manière entièrement automatique. En cas de dépassement des limites définies, tous les paramètres sont transférés dans la mémoire de défauts de la commande système SCO de la commande de l'installation. Les données peuvent également être enregistrées en continu. Celles-ci peuvent être transférées via le système de bus à un système de contrôle de niveau supérieur pour un traitement ultérieur.

Les fonctions de l'analyseur d'eau sont les suivantes :

- Commande en continu du système de dosage du liant d'oxygène.
- Commande en continu du système de dosage de l'alcalinisation.
- Activation de la vanne de vapeur d'échappement avec affichage de l'énergie de vapeur d'échappement économisée en kWh.

Construction

L'analyseur d'eau se compose d'un composant d'analyse et d'un composant électronique, tous deux logés dans deux boîtiers muraux qui sont interconnectés en usine.

Équipement

Le composant d'analyse contient les modules de mesure :

- Contrôle du pH pour mesurer la valeur du pH de l'eau d'alimentation de la chaudière et de la teneur en eau de la chaudière pour un maximum de trois chaudières.
- Commande O₂ pour la mesure de la teneur en O₂ de l'eau d'alimentation de la chaudière.
- Capteur de conductivité pour mesurer la valeur de conductivité de l'eau d'alimentation de la chaudière.
- Pour la préparation des échantillons, des refroidisseurs de flux pour
 - l'eau de la chaudière et l'eau d'alimentation de la chaudière
 - Vannes de régulation pour la commutation et la distribution de chaque fluide individuel
- Indicateur de débit pour le contrôle visuel

Le composant électronique se compose de :

- Une unité de commande avec écran tactile
- Alimentation électrique
- L'électronique des modules de mesure
- Processeurs de communication pour l'échange de données entre l'analyseur d'eau WA et le système de contrôle SC0.
- Les avantages en un coup d'œil
- Augmentation de la sécurité de fonctionnement grâce à la surveillance continue des valeurs de l'eau
- Surveillance automatisée avec mesure constante de la valeur du pH, de la teneur en oxygène et de la conductivité
- Économies de produits chimiques grâce au dosage des additifs en fonction des besoins.
- Efficacité accrue du système grâce à la réduction des pertes de dessalement et à l'économie de l'énergie des vapeurs d'échappement.
- Un analyseur d'eau peut surveiller jusqu'à trois chaudières.



Fig. 215 Analyseur d'eau WA



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système



Dampfessel 2
3-Zug-Kessel

 **BOSCH**







Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

5 Modules d'alimentation de chaudières

Grâce à nos modules d'alimentation de chaudière prêts à être installés, vous pouvez configurer le fonctionnement des chaudières à vapeur en fonction de vos besoins. En même temps, notre technologie vous permet d'optimiser la commande de votre installation et de la protéger contre les influences néfastes du fonctionnement.

5.1 Module de traitement de l'eau WTM

Afin d'éviter l'entartrage des chaudières, les installations de chaudières ne peuvent être exploitées qu'avec une eau d'alimentation adoucie. Dans la directive Bosch B002 sur les caractéristiques de l'eau, la dureté totale autorisée pour les différents types de chaudières et modes de fonctionnement est limitée. Pour adoucir l'eau, l'eau brute est filtrée et l'eau d'appoint est générée au moyen du processus d'échange d'ions

Les composants durcissants que sont les ions calcium et magnésium sont remplacés par des ions sodium. Les versions entièrement automatiques simplifient le fonctionnement, évitent les erreurs de manipulation, permettent un fonctionnement continu et assurent une utilisation accrue de la capacité en utilisant la même dureté d'eau brute. Le module peut être contrôlé en fonction de la qualité ou du volume.

Construction

Sur une structure de support, tous les éléments de l'installation d'adoucissement de l'eau sont disposés de manière claire et fonctionnelle, entièrement assemblés. Le module de traitement de l'eau est adapté à toutes les tailles de chaudières.

Équipement

Le module de traitement de l'eau se compose de l'unité d'adoucissement de l'eau et d'un réservoir d'adoucissement du sel. Un raccord d'eau de drainage, un dispositif d'échantillonnage, un indicateur de pression ainsi que des raccords de commande, des vannes d'arrêt et de filtrage complètent le module.

Les avantages en un coup d'œil

- Eau d'alimentation constamment adoucie pour éviter l'entartrage des surfaces de chauffe de la chaudière
- Bon transfert de chaleur, haut rendement et longue durée de vie de la chaudière
- Haut niveau de sécurité de fonctionnement
- La version à qualité contrôlée permet de se passer d'une surveillance externe de la dureté - par exemple pour une meilleure utilisation de la capacité et sans qu'il soit nécessaire de surveiller en permanence le fonctionnement, même en cas de variation de la dureté de l'eau brute.



Fig. 226 Module de traitement de l'eau WTM

5.2 Module de régulation du gaz GRM

Le module régule la pression constante du gaz en amont du brûleur - dans la zone de pression et de débit respective. Il assure une protection contre les surpressions inadmissibles et les débits de gaz inadmissibles et dispose d'une vanne d'arrêt rapide du gaz.

Construction

Tous les éléments compris dans l'étendue de la livraison sont disposés dans l'ordre nécessaire et livrés entièrement montés sur une structure de support.

Equipment

Le module de régulation du gaz comprend tous les équipements tels que le filtre, le robinet à boisseau sphérique, la vanne d'arrêt, etc., qui sont nécessaires à l'alimentation en combustible du brûleur côté gaz.

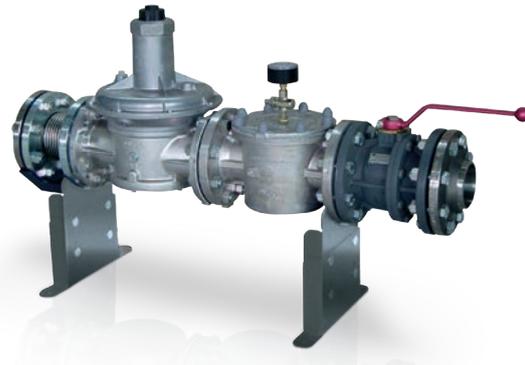


Fig. 227 Module de régulation des gaz GRM

Les avantages en un coup d'œil

- Pré-assemblé pour une installation rapide
- Conformité exacte aux directives officielles
- Sécurité de fonctionnement accrue

5.3 Module de circulation du fioul OCM

Le module de circulation du fioul prépare les combustibles liquides et mesure le débit. Il se présente sous la forme d'un module d'extraction prêt à être raccordé par brûleur pour une installation aisée dans des conduites circulaires avec une pression amont d'au moins 1,5 bar. Le réservoir collecteur de fioul à deux chambres est conçu pour les brûleurs à pulvérisation sous pression de fioul léger et lourd avec un système de pulvérisation de retour et un contrôle du fioul de fuite.

Construction

Le module de circulation de fioul est combiné en une unité compacte entièrement assemblée sur une plaque de support et est livré avec un couvercle de protection.

Equipment

Le module comprend un réservoir collecteur à deux chambres, une vanne de filtrage, un indicateur de quantité de fioul, une vanne d'arrêt, une vanne de sécurité de pression, une vanne d'arrêt de ventilation et deux bouchons de vidange. Pour le fonctionnement au fioul lourd, il existe également une cartouche chauffante pour le filtre et la cuve.



Fig. 216 Module de circulation du fioul OCM



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Les avantages en un coup d'œil

- Pré-assemblé pour une installation rapide
- Enregistrement fiable du débit d'huile

5.4 Module d'alimentation en fioul OSM

Le module d'alimentation en fioul est utilisé pour le pompage et le filtrage des combustibles liquides dans les lignes annulaires pour alimenter un ou plusieurs brûleurs.

Construction

Il est pré-assemblé dans un bac de récupération de fioul en tant que station simple ou double avec tous les raccords pour une installation facile dans la ligne circulaire et le contrôle du fioul de fuite.

Equipment

Les stations doubles permettent le nettoyage du filtre sans interruption des opérations et offrent une réserve de 100%. Le module de pompe à fioul lourd est équipé d'un chauffage électrique ou combiné pour la vapeur ou l'eau chaude.



Fig. 217 Module d'alimentation en fioul OSM

Les avantages en un coup d'œil

- Utilisable pour tous les systèmes de chaudières Bosch avec chauffage au mazout et alimentation par ligne annulaire
- Pré-assemblé pour une installation rapide

5.5 Module de régulation de la pression du fioul ORM

Dispositif de régulation de la pression pour le maintien de la pression dans la ligne annulaire de fioul.

Construction

Le module de régulation de la pression du fioul se compose d'un régulateur, y compris des pièces de raccordement telles qu'un manomètre, une vanne de manomètre et une vanne de dérivation.

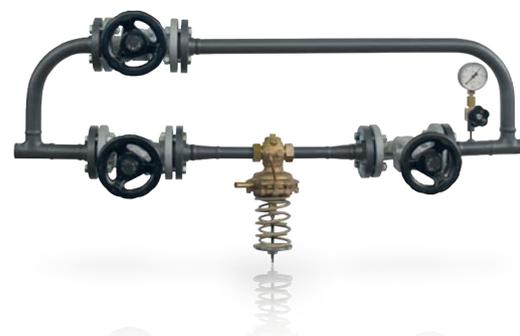


Fig. 218 Module de régulation de pression du fioul ORM

Avantages en un coup d'œil

- Pré-assemblé pour une installation rapide
- Sécurité de fonctionnement accrue

5.6 Module de préchauffage du fioul OPM

Le module de préchauffage du fioul préchauffe le fioul lourd pompable à la température de l'atomiseur du brûleur concerné.

Construction

Un échangeur de chaleur cylindrique est combiné en une unité compacte assemblée avec des raccords et livrée sur une structure de support stable.

Équipement

L'échangeur de chaleur avec un faisceau de tubes extensible ig. 221 Module de préchauffage du fioul OPM

peut être équipé en option d'un chauffage à la vapeur ou à la vapeur/électrique. Le module, y compris la commande de chauffage, l'isolation thermique et tous les raccords, est prémonté et prêt à être raccordé.



Fig. 219 Module de préchauffage du fioul OPM

Les avantages en un coup d'œil

- Peut être utilisé pour tous les systèmes de chaudières Bosch avec une alimentation au fioul et une alimentation en ligne circulaire.
- Sécurité de fonctionnement accrue



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système



BOSCH

BOSCH





6 Contrôles de système

6.1 Commande de la chaudière BCO

La commande intuitive de la chaudière, basée sur un automate programmable API, offre une transparence exceptionnelle des données d'exploitation pour un fonctionnement optimal de la chaudière.



Fig. 220 Écran d'accueil de la commande de chaudière BCO pour les systèmes de chaudière à vapeur

La commande intuitive de la chaudière basée sur un automate programmable offre une transparence exceptionnelle des données de fonctionnement pour une exploitation optimale de la chaudière. La commande de chaudière BCO offre toutes les fonctions nécessaires au fonctionnement optimal des chaudières à vapeur et à eau chaude, conformément aux exigences spécifiques. De nombreuses informations concernant les états de fonctionnement, les données de fonctionnement et les valeurs mesurées peuvent être visualisées sur son écran tactile. Différentes données du système sont analysées, évaluées et affichées de manière transparente via un modèle de feux tricolores à l'aide du logiciel intégré de surveillance des conditions. Les caractéristiques de fonctionnement susceptibles d'entraîner une baisse de rendement, une usure accrue ou des arrêts non planifiés peuvent être déterminées à un stade précoce et, dans de nombreux cas, évitées. Cela garantit que le système de chaudière fonctionne à un niveau d'efficacité et de disponibilité élevé et constant. La fonction de diagnostic incluse de série, aide l'exploitant de la chaudière ou le technicien de service à localiser et à corriger rapidement les irrégularités de fonctionnement. Cela augmente encore la transparence et la sécurité de fonctionnement.

La commande automatique de démarrage, de mise en veille et d'arrêt SUC pour les chaudières à vapeur haute pression est disponible en tant que fonction optionnelle de la commande de chaudière BCO. Lorsque la SUC est utilisée, les processus de démarrage et d'arrêt sont effectués de manière entièrement automatique, par simple pression sur un bouton ou en réponse à un signal de demande externe. Les fonctions automatiques intégrées protègent le système contre les contraintes inutiles lors des démarrages à froid, en mode maintien de la chaleur et en fonctionnement normal.

Équipement standard

- Écran tactile de 9, 12, 15 ou 19 pouces
- Régulation de la sortie
- Contrôle de niveau
- Contrôle de faible charge
- Surveillance de l'état et du rendement
- Compteur d'heures de fonctionnement pour les chaudières, les pompes et les brûleurs
- Fonction de diagnostic
- Registre du nombre de démarrages du brûleur
- Affichage en texte clair des données de fonctionnement et d'erreur
- Historique des messages
- Affichage et stockage intermédiaire de toutes les valeurs mesurées et de tous les états pertinents pour le fonctionnement.
- Pour les systèmes de chaudières à vapeur : commande de purge de surface et purge de fond automatique

En plus des fonctions de régulation de la puissance, du niveau, de la qualité de l'eau, de la purge de fond et de la chaîne de sécurité qui font partie de l'équipement standard de toutes les chaudières à vapeur modernes, le BCO de la commande de la chaudière peut être complété par les options et fonctions supplémentaires suivantes :

- Démarrage automatique à froid
- Mesure et contrôle de la température des gaz de combustion pour les chaudières avec économiseur.
- Mesure et contrôle de la température de la vapeur surchauffée pour les chaudières avec surchauffeur.
- Mesure des débits de vapeur, d'eau d'alimentation et de combustible.
- Changement automatique de la pompe d'alimentation en fonction de la pression, de l'heure ou d'un défaut.
- Mode de maintien de la chaleur contrôlé par le temps avec réduction de la pression
- Affichage des heures de fonctionnement, de la fréquence des démarrages, du nombre de démarrages à froid dans le temps.
- Détection de conditions de démarrage défavorables
- Détection d'encrassement côté eau et côté gaz de fumée ou de condensation indésirable
- Création de rapports d'entretien en fonction des besoins
- Affichage des pertes d'énergie dues aux purges de fond et aux purges de surface.
- Affichage de la consommation de combustible et d'eau dans le temps
- Affichage du taux d'élimination de la vapeur dans le temps
- Affichage du profil de charge de la chaudière dans le temps
- Interfaçage avec des systèmes de contrôle de niveau supérieur
- Télémaintenance via MEC Remote
- Interfaçage avec un système d'automatisation central

Avantages en un coup d'œil

- Fonctionnement intuitif grâce à l'utilisation de symboles graphiques sur les écrans tactiles.
- Optimisation simple de toutes les fonctions de mesure et de contrôle



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

- Les fonctions intégrées de surveillance et de protection garantissent une fiabilité exceptionnelle de l'alimentation et du fonctionnement.
- Connexion facile aux systèmes de visualisation et de contrôle de niveau supérieur
- Accès à distance en option grâce à MEC Remote : visualisation de l'interface utilisateur
- Surveillance de l'état pour une efficacité et une disponibilité élevées et constantes des systèmes de chaudières.
- Fonctionnement entièrement automatique des chaudières à vapeur haute pression grâce à la commande de démarrage, de veille et d'arrêt SUC.

6.2 Commande compacte de chaudière à vapeur CSC



Fig. 221 CSC contrôle pour installation sur chaudière ou comme armoire de commande murale.

La commande pour la petite gamme de débit de vapeur jusqu'à 4 000 kg/h est un produit qui convainc par sa facilité d'utilisation. Elle est livrée d'usine avec toutes les fonctions importantes pour le fonctionnement semi-automatique de la chaudière.

Vue d'ensemble

La commande programmable compacte CSC est la solution idéale pour les chaudières à vapeur avec des débits de vapeur jusqu'à 4 000 kg/h. Elle est dotée de toutes les fonctions standard importantes pour une commande et un fonctionnement confortables. Alors que la commande de chaudière BCO est conçue pour des systèmes plus complexes, la CSC est une alternative abordable pour les chaudières à vapeur simples de petite capacité.

Construction

La commande logique programmable est équipée d'un écran tactile intuitif. Il est intégré dans une armoire de commande de chaudière et monté de façon permanente sur la chaudière, avec le câblage des capteurs, des actionneurs et du brûleur. Une installation murale de l'armoire de commande est disponible en option.

Fonctions standard de l'équipement

- Indicateur de niveau d'eau bas et de niveau d'eau haut
- Limiteur de pression pour une surpression maximale
- Contrôle du niveau d'eau, à 2 niveaux ou en continu
- Dispositif de protection contre l'ébullition de la pompe d'alimentation
- Régulation de la puissance, à 2 niveaux ou en continu
- Messages d'alarme et de défaut avec mémoire de messages

En plus des fonctions standard, le CSC peut être étendu pour inclure des fonctions supplémentaires, telles que le contrôle de la conductivité ou la purge automatique du fond.

Contrôle du système SCO

- Rapport prix/performance attractif pour les chaudières à vapeur avec des débits de vapeur allant jusqu'à 4 000 kg/h.
- Écran tactile couleur pour une utilisation simple et une visualisation claire des conditions de fonctionnement.
- Installation flexible et encombrement minimal : montage sur la chaudière en usine ou fourniture d'une armoire électrique murale.
- Pré-câblage et test de fonctionnement en usine.
- Electronique de puissance pour l'alimentation en combustible, la pompe d'eau d'alimentation, la purge de fond et la purge de surface.
- Conditions d'eau idéales grâce à une purge de surface et une purge de fond entièrement automatiques et contrôlées par la conductivité.

6.3 Contrôle du système SCO



Fig. 222 Écran d'accueil pour système de contrôle SCO

Le SCO combine les commandes des chaudières à vapeur et/ou des chaudières à eau chaude ainsi que les commandes des modules individuels dans un système de gestion de niveau supérieur et ouvre un large éventail de nouvelles possibilités. Les commandes individuelles des chaudières BCO,



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

les commandes supplémentaires éventuelles et le SCO communiquent via un système de bus à haute performance. Il n'est donc pas nécessaire d'effectuer des travaux de câblage complexes et d'isoler les signaux. La connexion aux systèmes de visualisation et de contrôle de niveau supérieur peut être établie via différents protocoles, par exemple Modbus ou BACnet.

Construction

Automate programmable haute performance avec interface opérateur sous forme d'écran couleur TFT avec interface tactile.

Équipement

- Commande séquentielle des systèmes multi-chaudières
- Intégration des analyses d'eau
- Intégration des systèmes de dégazage et de condensat
- Intégration du contrôle de divers composants dans une seule armoire de commande
- Intégration des systèmes de surveillance des matières étrangères
- Intégration des systèmes d'approvisionnement en fioul
- Une gamme extrêmement large de contrôles de pression et de température
- Contrôle de la pompe de réserve avec contrôle automatique de la séquence de la chaudière (pour la vapeur)
- Intégration de pompes de dosage

Équipement optionnel

- Climatisation intégrée pour les régions tropicales
- Armoire de commande en acier inoxydable
- Actionnement externe à l'aide d'un système d'automatisation

Bénéfices en un coup d'oeil

- Connexion facile aux systèmes de visualisation et de contrôle de haut niveau
- Fonctions de surveillance et de sécurité intégrées pour éviter les dysfonctionnements
- Mémorisation complète des paramètres de fonctionnement et des messages d'état du système
- Accès à distance optionnel grâce à MEC Remote : visualisation de l'interface utilisateur.
- Fonctionnement intuitif à travers l'utilisation de symboles graphiques sur les écrans tactiles modernes

6.4 MEC Optimize



Fig. 223 Efficacité et disponibilité en un coup d'oeil : MEC Optimize enregistre, évalue et visualise les données pour tous les composants connectés du système

MEC Optimize est un système intelligent fourni par Bosch pour la surveillance et l'optimisation des systèmes de chaudières industrielles. MEC Optimize saisit et analyse toutes les données provenant du système de chaudière et des composants connexes du système et les stocke pendant de nombreuses années. Le système indique clairement et précisément toute augmentation de la consommation d'énergie et évalue le mode de fonctionnement du système. Les prévisions d'usure des composants sont également émises en fonction du mode de fonctionnement individuel, ce qui permet d'améliorer l'étude et conception de la maintenance et d'augmenter ainsi la disponibilité du système.

La manipulation de la documentation du système est simplifiée : tous les documents importants pour le système de chaudière, tels que les instructions de fonctionnement, sont préchargés sous forme numérique sur le système.

Grâce au carnet de bord numérique de la chaudière, les utilisateurs de la chaudière peuvent saisir les valeurs de mesure enregistrées à chaque intervalle de test, et utiliser la fonction d'exportation pour les imprimer afin de les signer ou de les archiver séparément, selon les besoins.

Le carnet de bord intelligent de la chaudière vérifie également toutes les données saisies, puis les compare aux spécifications du fabricant et donne des recommandations d'action en cas de divergence.

L'interface utilisateur de MEC Optimize peut être visualisée à l'aide de n'importe quel PC de bureau ou tablette standard, ainsi que dans le monde entier à l'aide de n'importe quel dispositif de terminal muni d'Internet en combinaison avec MEC Remote. Ainsi, les responsables peuvent garder un œil sur la consommation d'énergie et la disponibilité du système à tout moment.

En option, MEC Optimize peut également transférer l'état actuel du système à MEC Remote, l'outil de maintenance à distance de Bosch, et transmettre les informations importantes à l'opérateur par SMS ou par e-mail. Pour une analyse plus approfondie des données du système, il est également possible d'accéder à l'interface opérateur par le biais de plusieurs niveaux de sécurité et de la visualiser à distance.



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Bénéfices en un coup d'oeil

- Amélioration de l'efficacité énergétique – identification des pertes d'énergie grâce à une analyse intelligente des données
- Système de chaudière durable – la surveillance automatique du comportement de fonctionnement permet d'éviter les mauvaises manipulations
- Disponibilité augmentée du système – les prévisions d'usure permettent une étude et conception optimale de la maintenance
- Une plus grande sécurité opérationnelle – journal de bord intelligent de la chaudière avec évaluation automatique des données de test
- Données d'exploitation historiques – l'acquisition continue de données facilite l'optimisation et le dépannage du système
- Stockage de documents numériques – Tous les documents importants du système sont enregistrés localement et peuvent être récupérés à tout moment
- Connexion à distance optionnel via MEC Remote – envoie l'état actuel du système et signale les événements importants par SMS ou e-mail à l'opérateur
- Interfaces préconfigurées avec les systèmes de contrôle de processus par des protocoles communs (par exemple Modbus, BACnet, OPC UA) pour une connexion facile et rentable

6.5 MEC System



Fig. 224 MEC System pour une visualisation claire et colorée de la localisation et des conditions de fonctionnement, températures et performances du système.

Le système global MEC (Master Energy Control) pour les grandes installations vous permet de combiner différents éléments du système, tels que la chaudière, les unités de production combinée de chaleur et d'électricité et les bouteilles de stockage, pour former un système énergétique efficace qui peut être contrôlé via une interface opérateur intuitive. Master Energy Control combine des fonctions intelligentes d'autodiagnostic et d'optimisation avec une technologie à distance fiable. Les fonctions intégrées de contrôle de l'énergie surveillent en permanence les flux et les coûts de l'énergie. Une série de données enregistrées et de prévisions significatives créent la transparence nécessaire pour garantir un fonctionnement efficace sur le plan énergétique.

Construction

- La technologie de navigateur web standard permet un accès via toutes les tablettes, ordinateurs de bureau et smartphones disponibles dans le commerce.
- Accès sécurisé, à tout moment et en tout lieu
- Des solutions adaptées aux besoins individuels des clients avec de faibles dépenses d'ingénierie.
- Interfaces avec les systèmes de gestion des bâtiments, de gestion de l'énergie et de centrales électriques virtuelles.

Equipment

- Contrôle de l'efficacité énergétique selon la norme EN 50001
- Outil approuvé dans le cadre d'un système de gestion de l'énergie (BAFA, dena)
- Fonctions de limitation de la charge et de surveillance
- Prévion de la durée de fonctionnement des modules de cogénération pour la conformité aux exigences en matière de subventions
- Surveillance du fonctionnement et de l'état

Gamme de fonctions

- Visualisation claire et en couleur de l'emplacement et des états de fonctionnement, des températures et des performances des systèmes
- Gestion des utilisateurs et concept d'exploitation adapté à la configuration du système.
- Gestion des alarmes et des rapports par e-mail et SMS
- Paramétrage via le panneau de commande du système (HMI)
- Surveillance de l'énergie et des données, tableau de bord, fonction de recherche.

Les avantages en un coup d'œil

- Exploitation plus efficace et plus économique de vos installations et du système global
- Transparence grâce à la surveillance de l'énergie et des données
- Contrôle optimal de vos systèmes de production et de distribution d'énergie
- Interface utilisateur moderne et facile à utiliser
- Compatible avec le multiprotocole
- Système MEC pour une visualisation claire et colorée de l'emplacement et des conditions de fonctionnement, des températures et des performances des systèmes

6.6 MEC Remote



Fig. 225 Représentation simplifiée du flux de données dans un système avec différents contrôles et MEC Remote



Aperçu des produits

Chaudières à vapeur

Chaleur perdue

Modules pour chaudières à vapeur

Modules d'alimentation de la chaudière

Contrôles du système

Grâce à MEC Remote, les opérateurs peuvent désormais accéder à distance à leurs systèmes de chaudières à eau chaude et à vapeur de manière pratique et sécurisée. Cela signifie que l'ensemble du contrôle de la chaudière et du système peut être visualisé à l'aide d'appareils standard compatibles avec Internet.

MEC Remote est donc la solution idéale pour les opérations :

- dans lesquelles le personnel de surveillance ne peut pas être présent en permanence
- avec des systèmes multi-chaudières qui sont soumis à une surveillance obligatoire
- avec un service de veille le week-end

Les commandes de chaudière Bosch sont compatibles avec les systèmes de contrôle de processus disponibles dans le commerce. MEC Remote peut également être utilisé avec des systèmes sans interface de contrôle de processus.

Grâce à une carte générale, il est également possible de surveiller plusieurs systèmes dans le monde en même temps.

Si nécessaire, l'opérateur peut également être automatiquement informé par SMS ou par e-mail des anomalies et des pannes. Cela réduit considérablement la surveillance nécessaire pour les systèmes ayant des exigences de fiabilité élevées, comme ceux qui fonctionnent en permanence. Un autre avantage pour les opérateurs est l'assistance à distance disponible en option auprès de Bosch Industrial Service. Les experts de Bosch peuvent procéder à des paramétrages avancés, à la programmation PLC (API) et au dépannage directement via le système de télémaintenance. Lorsque des composants tombent en panne, les experts du service peuvent analyser et réduire la cause à distance et s'assurer qu'ils arrivent avec l'équipement approprié. Les temps d'arrêt de la chaudière et les coûts d'entretien sont ainsi réduits au minimum.

L'une des exigences les plus importantes pour la connexion à distance est une sécurité maximale. Celle-ci est assurée par le concept ingénieux de rôle qui contrôle les droits d'accès et les interventions de contrôle autorisées. L'accès à distance lui-même dispose d'un concept de sécurité à plusieurs niveaux. La connexion de données externe peut être activée ou désactivée dans la chaufferie, côté matériel, à l'aide d'une clé. Outre la connexion avec le nom d'utilisateur et le mot de passe via un transfert de données crypté (https), une procédure TAN mobile est utilisée. Comme pour la banque en ligne, les données d'accès sont envoyées sur le téléphone mobile de l'opérateur. Au lieu d'être stockées dans un Cloud, les données d'exploitation des chaudières industrielles sont stockées localement sur le système. Les concepts de sécurité de MEC Remote ont été élaborés par ESCRYPT GmbH. Un audit de sécurité régulier est effectué par Cirosec GmbH.

Les avantages en un coup d'œil

- Accès aux données de fonctionnement, à tout moment et en tout lieu
- Les systèmes de chaudières et les centrales de cogénération de tous les sites sur un seul écran d'aperçu.
- Surveillance rapide, pratique et économique des données de l'installation.
- Transmission sécurisée grâce à un concept de sécurité à plusieurs niveaux
- Assistance à distance de Bosch Industrial Service en option
- Notifications par SMS ou e-mail pour des événements définis, si nécessaire.



Outils

1	Symboles	381
1.1	Symboles physiques	381
1.2	Rapports	383
1.3	Operations	383
1.4	Indices	383
1.5	Désignations de tuyauterie et d'instrumentation	385
2	Conversion	389
2.1	Puissances décimales	389
2.2	Masse	389
2.3	Longueurs, superficies et volumes	390
2.4	Pression	391
2.5	Température	391
2.6	Énergie	391
3	Carburants	393
3.1	Caractéristiques des carburants	393
3.2	Point de rosée des gaz de combustion	395
3.3	Diagrammes de point de pincement, système de Chaudière	396
4	Principes de base de la vapeur d'eau	399
4.1	Pression et température d'ébullition	399
4.2	Tableau d'eau vapeur	400
4.3	Densité	405
5	Systèmes à vapeur	407
5.1	Débit vapeur et puissance de combustion	407
5.2	Purge de fond et purge de surface	408
5.3	Formule de la hauteur	409
5.4	Tuyauterie	409
5.5	Identification	417
5.6	Perte de chaleur	419
5.7	Son	421
6	Autres	423
6.1	Indices IP des boîtiers	423



1 Symboles

1.1 Symboles physiques

Variables physiques fondamentales

Symbole	Désignation	Unité
n	Quantité	
l	Longueur	mm ; m
r	Rayon	mm
d	Diamètre	mm
s	Épaisseur de la paroi	mm
u	Vitesse	m/s
A	Aire	mm ² ; m ²
V	Volume	m ³
\dot{V}	Débit volumique	m ³ /h
\dot{V}_n	Volume standard	m _n ³ /h
m	Masse	kg ; t
\dot{m}	Débit massique	kg/h ; t/h
Q	Quantité de chaleur	kJ ; kWh ; MJ ; MWh
\dot{Q}	Débit de chaleur	kW ; MW
t	Temps	s ; h ; a
T	Température	K ; °C
p	Surpression	Pa ; mbar ; bar
p_{abs}	Pression absolue	bara
ρ	Densité	kg/m ³
ρ_n	Densité standard	kg/m _n ³
h	Enthalpie	kJ/kg
r	Enthalpie d'évaporation	kJ/kg
c_p	Capacité calorifique	kJ/kgK

Tab. 35 Variables physiques fondamentales

Combustion

Symbole	Désignation	Unité
H_i	Pouvoir calorifique net	kWh/kg; kWh/m _n ³
H_s	Pouvoir calorifique brut	kWh/kg; kWh/m _n ³
α	Rapport de condensation des fumées	kg/kg
λ	Excès d'air	kg/kg

Tab. 36 Combustion

Rendement

Symbole	Désignation	Unité
η	Rendement	%
q_A	Perte de fumées par rapport à H_i	%
η_a	Degré annuel d'utilisation	%

Tab. 37 Efficacité

Transfert de chaleur

Symbole	Désignation	Unité
λ	Conductivité thermique	W/mK
α	Coefficient du transfert thermique	W/m ² K
k	Coefficient du transition thermique	W/m ² K

Tab. 38 Transfert de chaleur

Mécanique des fluides

Symbole	Désignation	Unité
ζ	Coefficient de perte de pression	
λ	Coefficient de frottement de la tuyauterie	

Tab. 39 Mécanique des fluides

Autres

Symbole	Désignation	Unité
α	Coefficient d'expansion thermique	mm/(m · 100 K)
L	Conductivité électrique	μS/cm

Tab. 40 Autres



1.2 Rapports

Symbole	Désignation	Unité
α	Taux de fumées	kg/kg
a	Taux de purge de surface = $m_{BD}/m_{S,boi}$	kg/kg
c	Taux d'accumulation de condensats = $m_{Co,tll}/m_S$	kg/kg
z	Taux d'eau d'appoint = m_{MW}/m_S	kg/kg
x	Fraction massique	kg/kg
y	Pourcentage de volume ou pourcentage molaire	m^3/m^3

Tab. 41 Ratios

1.3 Operations

Symbole	Désignation	Unité
Δ	Différentiel	
\cdot	Débit	e.g. : kg/h ; kg/s ; ...

Tab. 42 Operations

1.4 Indices

Général

Symbole	Désignation
min	Minimum
max	Maximum
avg	Moyenne
alw	Admissible
tll	Total
st	Stoechiométrique
abs	Absolut
n	Température et pression de référence (dans l'état standard)
b	Fonctionnement (en état de fonctionnement)
l	Perte

Tab. 43 Général

Etat d'eau/vapeur

Symbole	Désignation
S	Saturation (état d'ébullition)
'	Liquide saturé, eau bouillante
"	Vapeur saturée

Tab. 44 *Etat d'eau/vapeur***Emplacement/ Appareil/ Partie système**

Symbole	Désignation
SV	Soupape de sécurité
PL	Limiteur de pression
boi	Chaudière
Sys	(Chaudière à vapeur) système
bu	(Combustion) brûleur
P	Tuyauterie
valve	Vannes
C	Consommateur
dC	Consommateur direct
iC	Consommateur indirect
OU	Usage propre
dea	Désaération
HL	Perte de chaleur
ES	Perte d'expansion/vapeur
HX	Échangeur de chaleur
amb	Ambiant

Tab. 45 *Emplacement/ Appareil/ Partie système***Media**

Symbole	Désignation
A	Air
FG	Fumées
F	Carburant
MW	Eau d'appoint
PW	Eau de procédé



Symbole	Désignation
FW	Eau d'alimentation
S	Vapeur
HS	Vapeur d'échauffement (réservoir d'eau d'alimentation)
BD	Purge de surface
VS	Vapeur d'échappement
Co	Condensat
oCo	Condensat oxygéné
fCo	Condensat non oxygéné

Tab. 46 Media

1.5 Désignations de tuyauterie et d'instrumentation

Lettre	Catégorie	Fonction de traitement
A	Analyse	Alarme, message
B	Mesure optique (p. ex. surveillance des flammes)	Limitation
C	–	Contrôle
D	Différentiel	Tension électrique
E	Tension électrique	– (ne doit pas être utilisé)
F	Débit	Rapport
G	Distance, longueur, position	– (ne doit pas être utilisé)
H	Saisie manuelle, intervention manuelle	Limite supérieure, allumé, ouvert
I	Courant	Affichage Analogique
J	Sortie électrique	– (ne doit pas être utilisé)
K	Fonction temporelle	Taux de variation temporel, par exemple pour l'accélération ou le calcul d'une déduction
L	Niveau de remplissage	Limite inférieur, éteint, fermé
M	Humidité	– (ne doit pas être utilisé)
N	Actionnement électrique (tous les consommateurs électroniques, par exemple moteur, chauffage)	– Affichage de l'état local ou PCS des signaux binaires
O	–	Affichage de l'état local ou PCS des signaux binaires
P	Pression	Connexion ponctuelle (test)

Lettre	Catégorie	Fonction de traitement
Q	Quantité ou nombre, caractéristiques des matériaux*, facteurs de qualité*, analyse* (à l'exception de D, M, V)	quantité ou somme
R	Variables de rayonnement	Valeur enregistrée
S	Vitesse ou fréquence (y compris l'accélération)	Température
T	Température	– (ne doit pas être utilisé)
U	–	– (ne doit pas être utilisé)
V	Vibration, analyse mécanique, couple	– (ne doit pas être utilisé)
W	Poids, masse, force	– (ne doit pas être utilisé)
X	– (pour les significations non énumérées)	– (ne doit pas être utilisé)
Y	Actionnement hydraulique ou pneumatique (commutation, changement, restriction par servovalve par exemple) Fonction de calcul	Fonction de calcul
Z	–	Fonction de contrôle binaire ou fonction de commutation (pertinente pour la sécurité)

Tab. 47 Désignation de tuyauterie et d'instrumentation

Les lettres de code pour la technologie EMC selon la directive EN 62424:2014-05 sont utilisées.

* la signification de Q est tirée du prédécesseur DIN 19227-1 1993-10.



Exemple d'application de la nomenclature aux équipements de chaudière à vapeur :

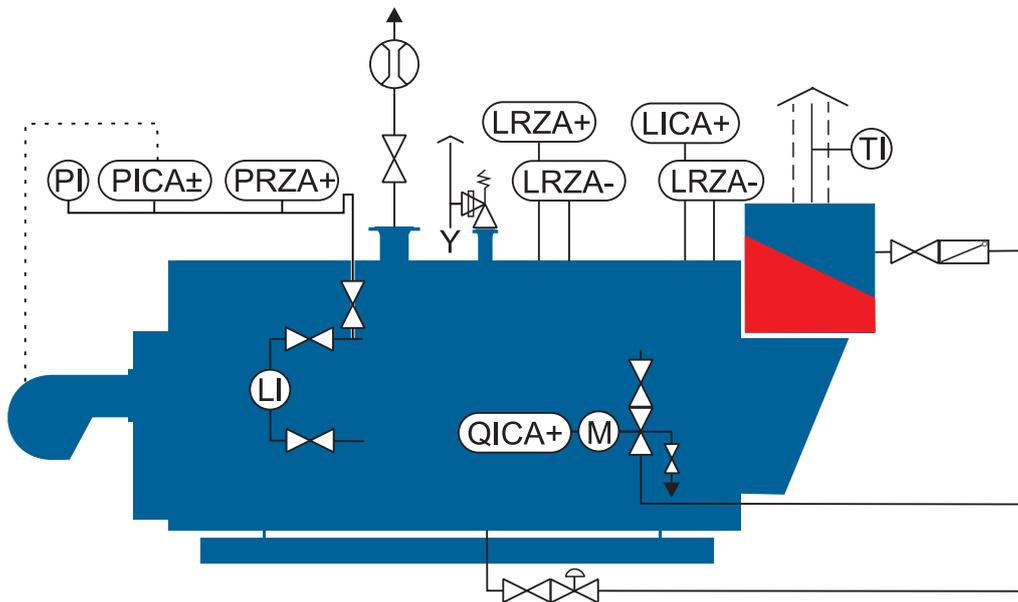


Fig. 228 Equipement d'une chaudière à vapeur

Exemple 1 :

	Limiteur de pression	P	R	Z	A+
Catégorie	Pression				
Fonction de traitement	Enregistrement				
	Fonction de commutation (avec sécurité)				
	Message d'alarme (max.)				

Exemple 2 :

	Contrôleur de purge de surface	Q	I	C	A+
Catégorie	Caractéristiques des matériaux, facteurs de qualité				
Fonction de traitement	Affichage				
	Contrôle				
	Message d'alarme (max.)				



2 Conversion

2.1 Puissances décimales

Prefix	Power	Abbreviation	
Exa	10^{18}	E	x 1 000 000 000 000 000 000
Peta	10^{15}	P	x 1 000 000 000 000 000
Tera	10^{12}	T	x 1 000 000 000 000
Giga	10^9	G	x 1 000 000 000
Mega	10^6	M	x 1 000 000
Kilo	10^3	k	x 1 000
Hecto	10^2	h	x 100
Deca	10^1	da	x 10
Deci	10^{-1}	d	/ 10
Centi	10^{-2}	c	/ 100
Milli	10^{-3}	m	/ 1 000
Micro	10^{-6}	μ	/ 1 000 000
Nano	10^{-9}	n	/ 1 000 000 000
Pico	10^{-12}	p	/ 1 000 000 000 000
Femto	10^{-15}	f	/ 1 000 000 000 000 000
Atto	10^{-18}	a	/ 1 000 000 000 000 000 000

Tab. 48 Puissances décimales

2.2 Masse

Table de conversion, masse

Depuis	À	kg	t	lb
kg 1,0			0,001	2,2046
t 1,0		1 000		2 204,6
lb 1,0		0,4536	0,0004536	

Tab. 49 Table de conversion, masse

2.3 Longueurs, superficies et volumes

Table de conversion, longueurs

Depuis \ À	m	in	ft	yd
m 1,0		39,37	3,281	1,094
in 1,0	0,0254		0,08333	0,02778
ft 1,0	0,3048	12		0,3333
yd 1,0	0,9144	36	3,0	

Tab. 50 Table de conversion, longueurs

Tableau de conversion, surface

Depuis \ À	m ²	in ²	ft ²	yd ²
m² 1,0		1 550	10,764	1,196
in² 1,0	0,000645		0,006944	0,000771
ft² 1,0	0,0929	144		0,1111
yd² 1,0	0,8361	1 296	9,0	

Tab. 51 Table de conversion, surface

Table de conversion, volumes

Depuis \ À	m ³	in ³	ft ³	yd ³
m³ 1,0		61 023	35,3198	1,3093
in³ 1,0	0,000016		0,000579	0,000021
ft³ 1,0	0,0283	1 728		0,0370
yd³ 1,0	0,7646	46 656	27,0	

Tab. 52 Table de conversion, volumes

Facteurs de conversion

Longueur = Facteur de conversion x

Aire = Facteur de conversion x²

Volume = Facteur de conversion x³



2.4 Pression

Tableau de conversion, pression

Depuis \ À	bar	atm	m WS	m Hg	psi	kgf/cm ²
bar	1,0	0,9869	10,20	0,7502	14,503	1,0194
atm	1,0133	1,0	10,33	0,7601	14,695	1,0329
m WS	0,09807	0,096784	1,0	0,073568	1,4223	0,09997
m Hg	1,3330	1,3156	13,593	1,0	19,333	1,3588
psi	0,06895	0,06805	0,7031	0,05173	1,0	0,07029
kgf/cm ²	0,981	0,96817	10,003	0,73593	14,228	1,0

Tab. 53 Table de conversion, pression

Corrélation des unités SI dérivées :

$$\text{bar} = 1\,000 \text{ mbar} = 10^5 \text{ Pa (N/mm}^2\text{)}$$



2.5 Température

Tableau de conversion, température

Depuis \ À	K	°C	°F
K	1,0	$K - 273,15$	$K \cdot 1,8 - 459,67$
°C	$^{\circ}\text{C} + 273,15$	1,0	$^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$
°F	$(^{\circ}\text{F} + 459,67) / 1,8$	$(^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$	1,0

Tab. 54 Table de conversion, température

2.6 Énergie

Tableau de conversion, énergie

Depuis \ À	kJ	kWh	kcal	PSh	BTU	t SKE
kJ	1,0	$2,778 \cdot 10^{-4}$	0,23901	$3,774 \cdot 10^{-4}$	0,94787	$3,412 \cdot 10^{-8}$
kWh	3 600	1,0	860,42	1,3585	3 412,3	$1,228 \cdot 10^{-4}$
kcal	4,184	$1,162 \cdot 10^{-3}$	1,0	$1,579 \cdot 10^{-3}$	3,9659	$1,428 \cdot 10^{-7}$
PSh	2,650	0,73611	633,37	1,0	2 511,8	$9,04202 \cdot 10^{-5}$
BTU	1,055	$2,931 \cdot 10^{-4}$	0,25215	$3,981 \cdot 10^{-4}$	1,0	$3,600 \cdot 10^{-8}$
t SKE	$2,931 \cdot 10^7$	8,141	$7,005 \cdot 10^6$	11,059	$2,778 \cdot 10^7$	1,0

Tab. 55 Tableau de conversion, énergie



3 Carburants

3.1 Caractéristiques des carburants

3.1.1 Carburants gazeux

Excès d'air	λ	1,2	Entrée	Résultat
Densité standard, air	$\rho_{n,A} [\text{kg/m}^3_{n,A}]$	1,293		

Valeur des matériaux	Unité	Gaz naturel L	Gaz naturel H	Propane	Propane Butane	Butane	Gaz naturel GZ35	Gaz naturel GZ41,5	Gaz naturel GZ50	
Pouvoir calorifique net	H_i	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	10,65	13,20	12,87	12,83	12,70	7,98	9,65	10,86
	H_i	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3_{n,F}}$	8,83	10,35	25,89	27,96	34,39	7	8	9
Pouvoir calorifique brut	H_S	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	11,80	14,62	13,98	13,92	13,75	8,86	10,80	12,01
	H_S	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3_{n,F}}$	9,78	11,46	28,12	30,34	37,23	7,77	8,95	9,95
Densité standard du carburant	$\rho_{n,F}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,F}}$	0,829	0,784	2,011	2,18	2,708	0,877	0,829	0,829
Demande d'air stœchiométrique	L_{ST}	$\frac{\text{kg}_A}{\text{kg}_F}$	13,10	16,24	15,57	15,51	15,36	9,84	13,10	13,10
Densité standard, gaz de combustion	$\rho_{n,FG,st} (\lambda=1)$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1,2366	1,2374	1,2650	1,2664	1,2699	1,2346	1,2366	1,2366
Densité standard, gaz de combustion	$\rho_{n,FG}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1,2451	1,2459	1,2693	1,2706	1,2735	1,2432	1,2451	1,2451
Indice de wobbe	W_i	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$	11,03	13,29	20,76	21,53	23,76	8,50	9,99	11,24
Point de rosée	t_{Co}	°C	56,9	57,0	53,1	52,9	52,4	56,7	56,9	56,9
Production de l'eau ¹⁾	$W_{spec,H2O}$	$\frac{\text{g}_{H2O}}{\text{kWh}}$	159,4	158,5	126,9	125,4	122,0	161,8	176,0	156,4
Émissions de CO ₂ ¹⁾	$W_{spec,CO2}$	$\frac{\text{g}_{CO2}}{\text{kWh}}$	201,3	202,6	232,6	234,3	238,5	197,6	222,2	197,5
Émissions de SO ₂ ¹⁾	$W_{spec,SO2}$	$\frac{\text{mg}_{SO2}}{\text{kWh}}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Débit-masse de gaz de combustion ¹⁾	\dot{m}_{spec}	$\frac{\text{kg}_{FG}}{\text{kWh}}$	1,570	1,552	1,529	1,529	1,530	1,605	1,733	1,540

Tab. 56 Carburants gazeux

¹⁾ relative à H_i

3.1.2 Carburants liquides

Excès d'air	λ	1,2	Entrée	Résultat
Densité standard, air	$\rho_{n,A} [\text{kg/m}^3_{n,A}]$	1,293		

Valeur des matériaux		Unité	Fioul EL	Fioul EL, faible teneur en soufre	Fioul SA	Mazout moyen HL Schwechat	Mazout moyen CLU3
Pouvoir calorifique net	H_i	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	11,89	11,89	11,28	11,64	11,40
	H_i	$\frac{\text{kWh}}{\text{l}}$	9,91	9,91	10,98	9,70	10,59
valeur calorifique brut	H_S	$\frac{\text{kWh}}{\text{kg}_F}$	12,70	12,70	11,96	12,38	12,05
	H_S	$\frac{\text{kWh}}{\text{l}}$	10,59	10,59	11,64	10,32	11,19
Densité standard du carburant	$\rho_{n,F}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	833,6	833,6	973,6	833,6	928,6
Demande d'air stœchiométrique	L_{ST}	$\frac{\text{kg}_A}{\text{kg}_F}$	14,45	14,46	13,89	14,19	13,71
Densité standard, gaz de combustion	$\rho_{n,FG,st} (\lambda=1)$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1,2923	1,2923	1,3063	1,2996	1,3097
Densité standard, gaz de combustion	$\rho_{n,FG}$	$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3_{n,FG}}$	1,2924	1,2924	1,3042	1,2985	1,3071
Point de rosée	t_{Co}	°C	48,6	48,6	46,0	47,2	45,4
Point de rosée acide	$t_{acid\ cond}$	°C	124,0	97,3	136,4	123,2	141,5
Production de l'eau¹⁾	w_{spec,H_2O}	$\frac{\text{g}_{H_2O}}{\text{kWh}}$	100,5	100,5	88,7	93,7	83,9
Émissions de SO₂¹⁾	w_{spec,CO_2}	$\frac{\text{g}_{CO_2}}{\text{kWh}}$	266,4	266,9	285,2	275,8	280,6
Émissions de SO₂¹⁾	w_{spec,SO_2}	$\frac{\text{mg}_{SO_2}}{\text{kWh}}$	108,4	2,6	597,9	99,2	1 213,8
Débit-masse de gaz de combustion¹⁾	\dot{m}_{spec}	$\frac{\text{kg}_{FG}}{\text{kWh}}$	1,542	1,543	1,567	1,548	1,531

Tab. 57 Carburants liquides

¹⁾ relative à H_i



3.2 Point de rosée des gaz de combustion

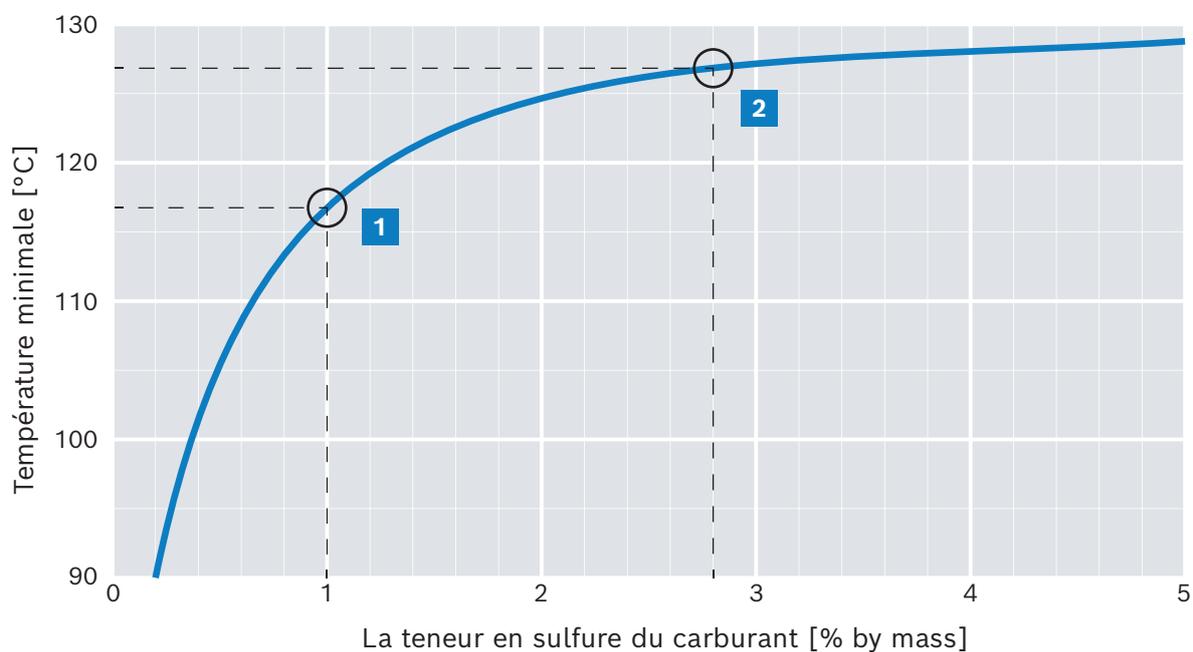


Fig. 229 Température minimale de l'eau d'alimentation en fonction de la teneur en soufre du combustible

- 1 Mazout SA
- 2 Mazout S

3.3 Diagrammes de point de pincement, système de Chaudière

3.3.1 Diagramme du point de pincement pour le gaz

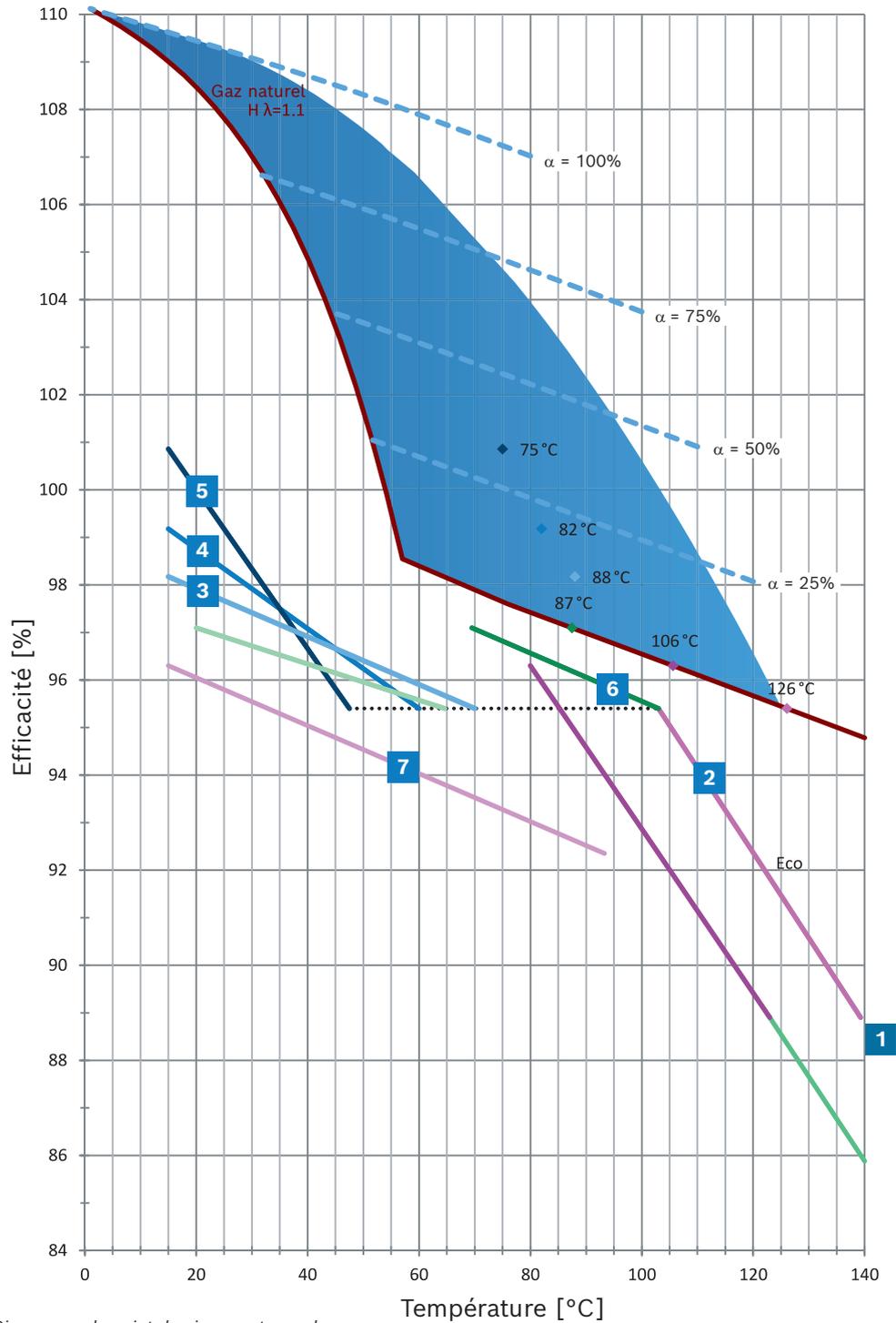


Fig. 230 Diagramme du point de pincement pour le gaz

- 1** Chaudière
- 2** Chaudière + économiseur
- 3** Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z = 0,3 / \alpha = 12\%$)



- 4** Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z = 0,5 / \alpha = 20\%$)
- 5** Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z = 1 / \alpha = 34\%$)
- 6** Chaudière + économiseur + préchauffeur de l'air (20 °C jusqu'à 65 °C)
- 7** Chaudière + économiseur + refroidissement de l'eau d'alimentation (avec $z = 0,3$)

Exemple :

KTaux d'accumulation des condensats $c = \dot{m}_{Co} / \dot{m}_S$
 Taux de l'eau d'appoint $z = 1 - c$
 UL-S 10 000 x 16
 Débit de vapeur de sortie 10 000 kg/h avec $p_{avg} = 13$ bar
 Taux de purge de surface 5%

Cas	Composants	Rendement	
		Composants	Total
1	Chaudière	88,9%	---
2	Chaudière + économiseur	88,9% + 6,5%	95,4%
3	Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z^1 = 0,3 / \alpha^2 = 12\%$)	88,9% + 6,5% + 2,8%	98,2%
4	Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z = 0,5 / \alpha = 20\%$)	88,9% + 6,5% + 3,8%	99,2%
5	Chaudière + économiseur + échangeur de condensation de la chaleur (avec $z = 1 / \alpha = 34\%$)	88,9% + 6,5% + 7,6%	100,9%
6	Chaudière + économiseur + préchauffeur de l'air (20 °C à 65 °C)	88,9% + 6,5% + 1,7%	97,1%
7	Chaudière + économiseur + refroidissement de l'eau d'alimentation (avec $z = 0,3$)	88,9% + 6,5% + 0,6%	96,0%

Tab. 58 Études de cas pour des combinaisons de mesures pour une récupération optimale de la chaleur

¹⁾ z = taux d'eau d'appoint

²⁾ α = taux d'accumulation de condensats

3.3.2 Diagramme de point de pincement pour l'huile

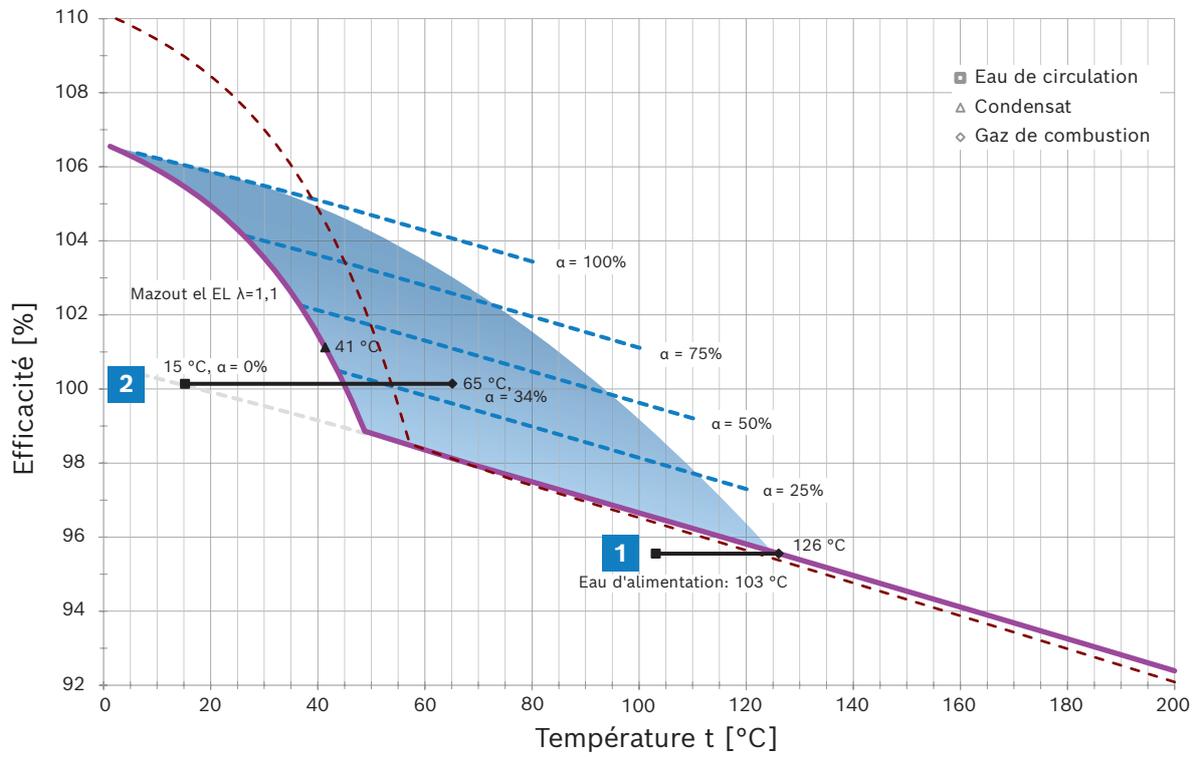


Fig. 231 Diagramme de point de pincement pour l'huile

- 1** Chaudière
- 2** Chaudière + économiseur



4 Principes de base de la vapeur d'eau

4.1 Pression et température d'ébullition

Le diagramme montre les courbes pression-température avec la courbe d'ébullition. Veuillez également observer les avis sur la lecture des graphiques logarithmiques.

→ Outils – Chapitre 4.3.1 : Lecture de graphiques logarithmiques, page 406

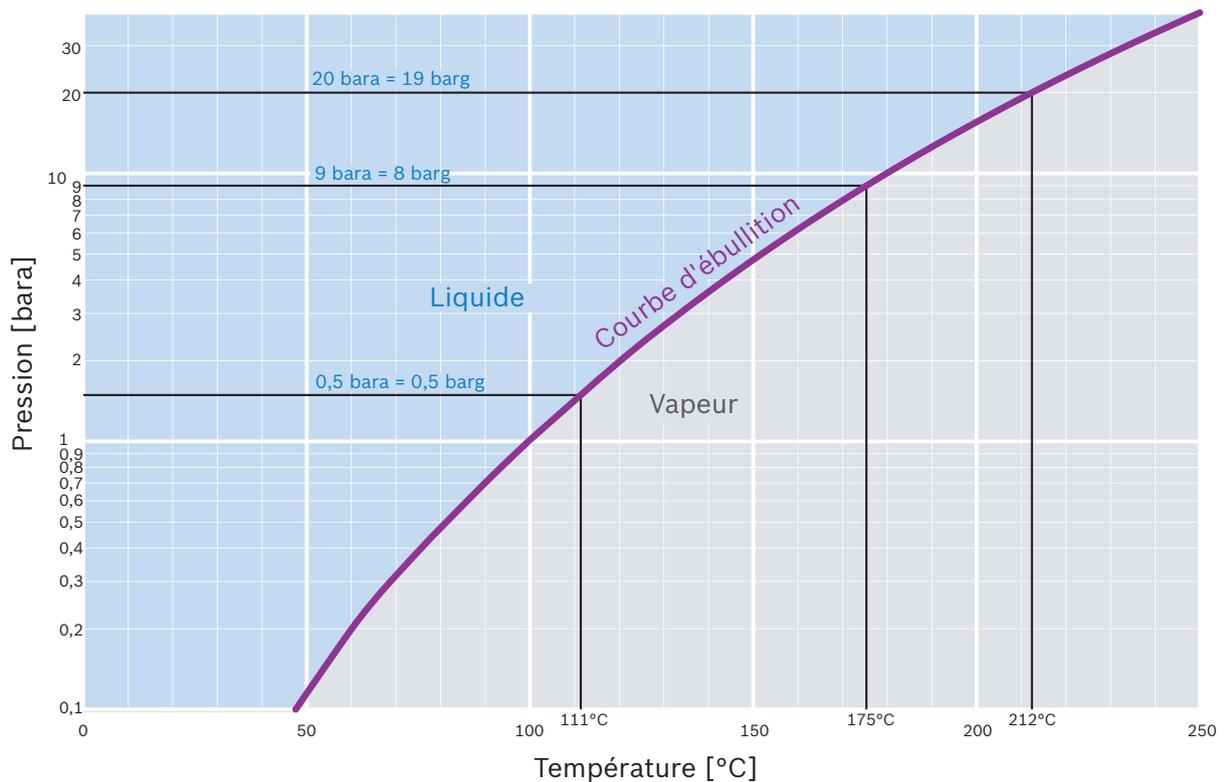


Fig. 232 Diagramme pression-température de l'eau avec courbe d'ébullition et zones de vapeur et d'eau (représentation logarithmique)

4.2 Tableau d'eau vapeur

4.2.1 Caractéristiques physiques de l'eau et de la vapeur selon IAPWS IF-97

Pres- sion posi- tive	Pression absolut	Tempéra- ture d'éb- ullition	Enthalpie			Densité	
			Eau	Vapeur saturée	Evaporation	Eau	Vapeur saturée
p [bar _g]	p [bar _a]	t [°C]	h' [kJ/kgK]	h'' [kJ/kgK]	r [kJ/kgK]	ρ' [kg/m ³]	ρ'' [kg/m ³]
- 0,9	0,1	45,8	191,8	2 583,9	2 392,1	989,8	0,0682
- 0,8	0,2	60,1	251,4	2 608,9	2 357,5	983,1	0,1308
- 0,7	0,3	69,1	289,2	2 624,6	2 335,3	978,3	0,1913
- 0,6	0,4	75,9	317,6	2 636,1	2 318,5	974,3	0,2504
- 0,5	0,5	81,3	340,5	2 645,2	2 304,7	971,0	0,3086
- 0,4	0,6	85,9	359,8	2 652,9	2 293,0	968,0	0,3661
- 0,3	0,7	89,9	376,7	2 659,4	2 282,7	965,4	0,4229
- 0,2	0,8	93,5	391,6	2 665,2	2 273,5	962,9	0,4791
- 0,1	0,9	96,7	405,1	2 670,3	2 265,2	960,7	0,5349
0,0	1,0	99,6	417,4	2 674,9	2 257,5	958,6	0,5903
0,1	1,1	102,3	428,8	2 679,2	2 250,4	956,7	0,6453
0,2	1,2	104,8	439,3	2 683,1	2 243,8	954,9	0,7001
0,3	1,3	107,1	449,1	2 686,6	2 237,5	953,1	0,7545
0,4	1,4	109,3	458,4	2 690,0	2 231,6	951,5	0,8086
0,5	1,5	111,4	467,1	2 693,1	2 226,0	949,9	0,8625
0,6	1,6	113,3	475,3	2 696,0	2 220,7	948,4	0,9162
0,7	1,7	115,1	483,2	2 698,8	2 215,6	947,0	0,9697
0,8	1,8	116,9	490,7	2 701,4	2 210,7	945,6	1,0230
0,9	1,9	118,6	497,8	2 703,9	2 206,1	944,2	1,0761
1,0	2,0	120,2	504,7	2 706,2	2 201,6	942,9	1,1290
1,5	2,5	127,4	535,4	2 716,5	2 181,2	937,0	1,3914
2,0	3,0	133,5	561,5	2 724,9	2 163,4	931,8	1,6507
2,5	3,5	138,9	584,3	2 732,0	2 147,7	927,1	1,9077
3,0	4,0	143,6	604,7	2 738,1	2 133,3	922,9	2,1627
3,5	4,5	147,9	623,2	2 743,4	2 120,2	919,0	2,4160
4,0	5,0	151,8	640,2	2 748,1	2 107,9	915,3	2,6681
4,5	5,5	155,5	655,9	2 752,3	2 096,5	911,8	2,9189
5,0	6,0	158,8	670,5	2 756,1	2 085,6	908,6	3,1688



Pres- sion posi- tive	Pression absolut	Tempéra- ture d'éb- ullition	Enthalpie			Densité	
			Eau	Vapeur saturée	Evaporation	Eau	Vapeur saturée
p [bar _g]	p [bar _a]	t [°C]	h' [kJ/kgK]	h'' [kJ/kgK]	r [kJ/kgK]	ρ' [kg/m ³]	ρ'' [kg/m ³]
6,0	7,0	165,0	697,1	2 762,7	2 065,6	902,6	3,6662
7,0	8,0	170,4	721,0	2 768,3	2 047,3	897,0	4,1610
8,0	9,0	175,4	742,7	2 773,0	2 030,3	891,9	4,6539
9,0	10,0	179,9	762,7	2 777,1	2 014,4	887,1	5,1454
10,0	11,0	184,1	781,2	2 780,7	1 999,5	882,6	5,6358
11,0	12,0	188,0	798,5	2 783,8	1 985,3	878,3	6,1256
12,0	13,0	191,6	814,8	2 786,5	1 971,7	874,3	6,6149
13,0	14,0	195,0	830,1	2 788,9	1 958,8	870,4	7,1039
14,0	15,0	198,3	844,7	2 791,0	1 946,3	866,6	7,5929
15,0	16,0	201,4	858,6	2 792,9	1 934,3	863,1	8,0820
16,0	17,0	204,3	871,9	2 794,5	1 922,6	859,6	8,5713
17,0	18,0	207,1	884,6	2 796,0	1 911,4	856,2	9,0611
18,0	19,0	209,8	896,8	2 797,3	1 900,4	853,0	9,5513
19,0	20,0	212,4	908,6	2 798,4	1 889,8	849,8	10,0421
20,0	21,0	214,9	920,0	2 799,4	1 879,4	846,7	10,5336
21,0	22,0	217,3	931,0	2 800,2	1 869,2	843,7	11,0259
22,0	23,0	219,6	941,6	2 800,9	1 859,3	840,8	11,5191
23,0	24,0	221,8	952,0	2 801,5	1 849,6	837,9	12,0132
24,0	25,0	224,0	962,0	2 802,0	1 840,1	835,1	12,5082
25,0	26,0	226,1	971,7	2 802,5	1 830,7	832,4	13,0044
26,0	27,0	228,1	981,2	2 802,8	1 821,5	829,7	13,5016
27,0	28,0	230,1	990,5	2 803,0	1 812,5	827,0	14,0000
28,0	29,0	232,0	999,5	2 803,2	1 803,6	824,4	14,4997
29,0	30,0	233,9	1 008,4	2 803,3	1 794,9	821,9	15,0006
30,0	31,0	235,7	1 017,0	2 803,3	1 786,3	819,4	15,5028
31,0	32,0	237,5	1 025,5	2 803,2	1 777,8	816,9	16,0064
32,0	33,0	239,2	1 033,7	2 803,1	1 769,4	814,5	16,5115
33,0	34,0	240,9	1 041,8	2 803,0	1 761,1	812,1	17,0180
34,0	35,0	242,6	1 049,8	2 802,7	1 753,0	809,7	17,5260

Tab. 59 Caractéristiques physiques de l'eau et de la vapeur selon IAPWS IF-97¹⁾1) Source : <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>

Pression positive p [bar _g]	Point d'ébullition t [°C]	Viscosité dynamique		Conductivité thermique	
		Eau η' [μPas]	Vapeur saturée η'' [μPas]	Eau λ' [W/mK]	Vapeur saturée λ'' [W/mK]
- 0,9	45,8	587,5	10,49	0,6357	0,0199
- 0,8	60,1	465,9	10,94	0,6508	0,0211
- 0,7	69,1	408,9	11,23	0,6588	0,0219
- 0,6	75,9	373,5	11,45	0,6641	0,0225
- 0,5	81,3	348,6	11,64	0,6678	0,0230
- 0,4	85,9	329,7	11,79	0,6707	0,0234
- 0,3	89,9	314,7	11,93	0,6730	0,0238
- 0,2	93,5	302,3	12,05	0,6748	0,0241
- 0,1	96,7	291,9	12,16	0,6763	0,0245
0,0	99,6	282,9	12,26	0,6776	0,0248
0,1	102,3	275,1	12,35	0,6787	0,0250
0,2	104,8	268,2	12,43	0,6796	0,0253
0,3	107,1	262,0	12,51	0,6804	0,0255
0,4	109,3	256,4	12,59	0,6811	0,0258
0,5	111,4	251,4	12,66	0,6817	0,0260
0,6	113,3	246,8	12,73	0,6822	0,0262
0,7	115,1	242,5	12,79	0,6826	0,0264
0,8	116,9	238,6	12,85	0,6830	0,0266
0,9	118,6	235,0	12,91	0,6834	0,0268
1,0	120,2	231,6	12,96	0,6836	0,0270
1,5	127,4	217,5	13,21	0,6846	0,0278
2,0	133,5	206,8	13,42	0,6849	0,0286
2,5	138,9	198,3	13,61	0,6849	0,0293
3,0	143,6	191,2	13,77	0,6846	0,0299
3,5	147,9	185,2	13,92	0,6842	0,0305
4,0	151,8	180,1	14,05	0,6836	0,0310
4,5	155,5	175,5	14,18	0,6829	0,0316
5,0	158,8	171,6	14,30	0,6821	0,0320
6,0	165,0	164,7	14,51	0,6804	0,0330
7,0	170,4	159,1	14,70	0,6786	0,0338
8,0	175,4	154,3	14,87	0,6766	0,0346



Pression positive p [bar _g]	Point d'ébullition t [°C]	Viscosité dynamique		Conductivité thermique	
		Eau η' [μPas]	Vapeur saturée η'' [μPas]	Eau λ' [W/mK]	Vapeur saturée λ'' [W/mK]
9,0	179,9	150,2	15,02	0,6747	0,0354
10,0	184,1	146,6	15,17	0,6726	0,0361
11,0	188,0	143,4	15,30	0,6706	0,0368
12,0	191,6	140,5	15,43	0,6686	0,0375
13,0	195,0	137,9	15,54	0,6665	0,0381
14,0	198,3	135,5	15,66	0,6645	0,0388
15,0	201,4	133,3	15,76	0,6625	0,0394
16,0	204,3	131,3	15,86	0,6604	0,0400
17,0	207,1	129,5	15,96	0,6584	0,0405
18,0	209,8	127,7	16,05	0,6564	0,0411
19,0	212,4	126,1	16,14	0,6544	0,0416
20,0	214,9	124,6	16,23	0,6525	0,0422
21,0	217,3	123,1	16,31	0,6505	0,0427
22,0	219,6	121,8	16,40	0,6486	0,0432
23,0	221,8	120,5	16,47	0,6466	0,0438
24,0	224,0	119,3	16,55	0,6447	0,0443
25,0	226,1	118,1	16,62	0,6428	0,0448
26,0	228,1	117,0	16,70	0,6409	0,0453
27,0	230,1	115,9	16,77	0,6390	0,0457
28,0	232,0	114,9	16,84	0,6372	0,0462
29,0	233,9	114,0	16,90	0,6353	0,0467
30,0	235,7	113,0	16,97	0,6335	0,0472
31,0	237,5	112,1	17,03	0,6316	0,0476
32,0	239,2	111,3	17,10	0,6298	0,0481
33,0	240,9	110,4	17,16	0,6280	0,0486
34,0	242,6	109,6	17,22	0,6262	0,0490

Tab. 60 Caractéristiques physiques de l'eau et de la vapeur selon IAPWS IF-97¹⁾1) Source : <http://www.iapws.org/relguide/IF97-rev.pdf>

4.2.2 Expansion de la vapeur

$$x = \frac{h - h'}{h'' - h'} = \frac{h - h'}{r}$$



F38. Équation pour calculer la fraction massique de l'expansion de la vapeur

- x Fraction massique de la vapeur d'expansion [%]
- h Enthalpie [kJ/kg]
- h' Enthalpie de l'eau bouillante [kJ/kg]
- h'' Enthalpie de la vapeur saturée [kJ/kg]
- r Enthalpie d'évaporation [kJ/kg]

$$x = \frac{919 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}}{2,780 \text{ [kJ/kg]} - 782 \text{ [kJ/kg]}} = 6,86 \%$$



B20. Exemple de calcul pour déterminer la fraction massique de l'expansion de la vapeur

Pression avant expansion	Température moyenne	Enthalpie	Pression après expansion	Température moyenne	Enthalpie, Eau bouillante	Enthalpie, vapeur saturée	Quantité de vapeur d'expansion
[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[%]
20,0	215,0	918,7	10,0	184,4	781,7	2 779,7	6,86
	Température moyenne	Enthalpie	Pression après expansion	Température moyenne	Enthalpie, Eau bouillante	Enthalpie, vapeur saturée	Quantité de vapeur d'expansion
	[°C]	[kJ/kg]	[barg]	[°C]	[kJ/kg]	[kJ/kg]	[%]
	165,0	696,8	0,2	103,5	433,9	2 680,2	11,70
Entrée	Résultat						

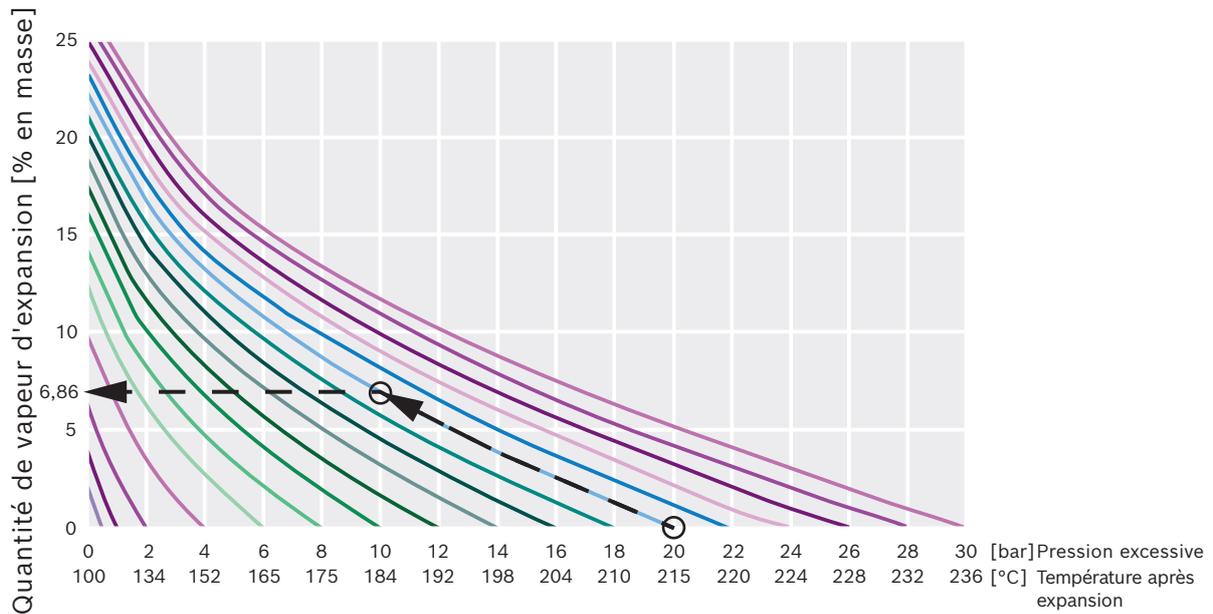


Fig. 233 Vapeur d'expansion

Exemple :

Si la pression est réduite de 20 à 10 bars, une quantité de vapeur d'expansion de 6,86% est générée.

4.3 Densité

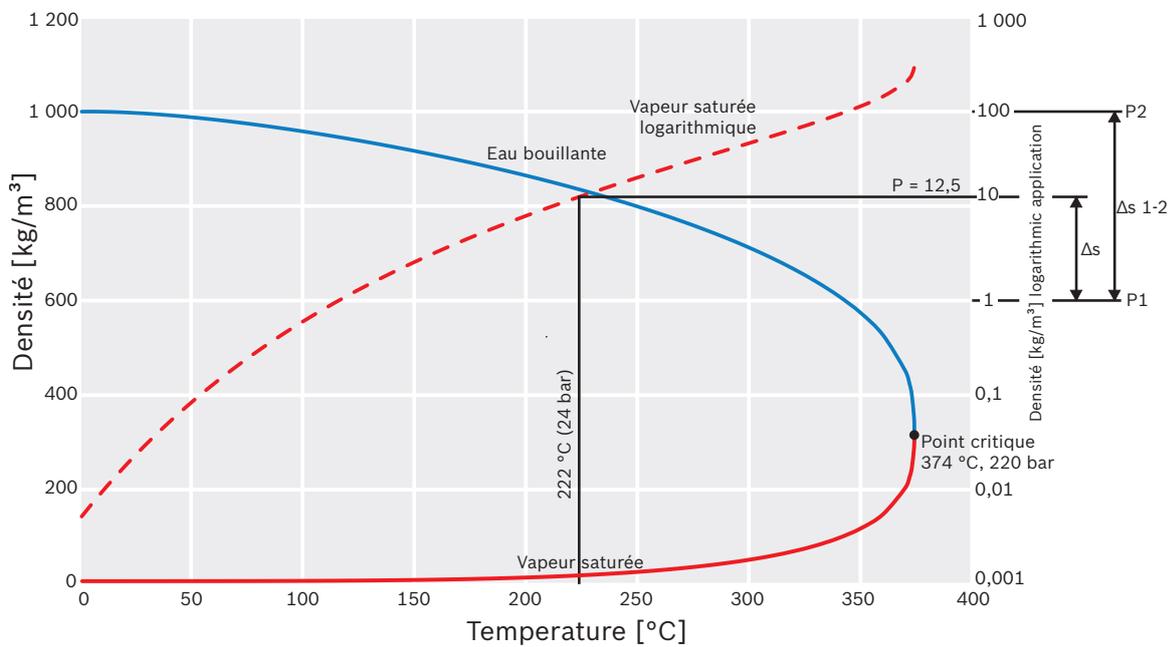


Fig. 234 Diagramme de la vapeur et de l'eau saturées en fonction de la température

- Eau bouillante
- - - Vapeur saturée, logarithmique
- Vapeur saturée

4.3.1 Lecture de graphiques logarithmiques

Calcul des distances et des valeurs numériques
densité de vapeur saturée

De la valeur à la distance dans le graphique

Premier point de l'échelle logarithmique
 Deuxième point de l'échelle logarithmique
 Distance entre les deux points
 Point requis
 Distance entre P1 et P

$$\Delta s = \frac{(\ln(P) - \ln(P_1))}{\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right)}$$

De la distance dans le diagramme à la valeur

Premier point de l'échelle logarithmique
 Deuxième point de l'échelle logarithmique
 Distance entre les deux points
 Point requis
 Distance entre P1 et P

$$P = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\Delta s}{\Delta s_{1-2}}} \cdot P_1$$

		Unités dans cet exemple 1) :
P1	1	kg/m ³
P2	100	kg/m ³
Δs_{1-2}	27,1	mm
P	12,5	kg/m ³
Δs	14,85	mm

P1	1	kg/m ³
P2	100	kg/m ³
Δs_{1-2}	27,1	mm
P	12,5	kg/m ³
Δs	14,85	mm

1) La conversion peut être appliquée à tous les diagrammes logarithmiques, quelles que soient les unités



5 Systèmes à vapeur

5.1 Débit vapeur et puissance de combustion

		Entrée	Résultat
$\dot{Q}_{\text{boi}} \approx \dot{m}_s \cdot 0,65$			
Débit de vapeur	<input type="text" value="10,501"/> Kg/h	Enthalpie, eau bouillante	<input type="text" value="829"/> kJ/kg
Pression moyenne de fonctionnement	<input type="text" value="13"/> bar	Enthalpie, vapeur saturée	<input type="text" value="2 788"/> kJ/kg
Température d'eau d'alimentation	<input type="text" value="103"/> °C	Enthalpie, eau d'alimentation	<input type="text" value="432"/> kJ/kg
$\dot{Q}_{\text{boi}} = \dot{m}_s \cdot (h'' - h_{\text{FW}}) \cdot \frac{1\text{h}}{3 600\text{s}}$			
Puissance thermique de la chaudière	<input type="text" value="6 872"/> KW	Rendement de la chaudière (combustion)	<input type="text" value="92,0"/> %
$\dot{Q}_{\text{bu}} = \frac{\dot{Q}_{\text{boi}}}{\eta_{\text{bu}}}$			
Puissance de la Combustion	<input type="text" value="7 470"/> KW	Pouvoir calorifique net du carburant	<input type="text" value="10,35"/> kWh/kg (kWh/m ³ n)
$\dot{m}_F = \frac{\dot{Q}_{\text{bu}}}{H_i}$			
Quantité de carburant	<input type="text" value="721,7"/> kg/h (m ³ n/h)		

5.2 Purge de fond et purge de surface

		Entrée	Résultat
Paramètres de l'eau			
		Dans l'eau d'appoint	L_{MW} 15
		Taux d'accumulation de condensat	c 90 %
Dans l'eau d'alimentation (via l'analyse de l'eau)	L_{FW} 50	Dans l'eau d'alimentation	$L_{FW} \approx L_{MW} \cdot (1-c)$ 1,500
Valeur limite pour l'eau de chaudière	L_{boi} 2 000	Valeur limite pour l'eau de chaudière	L_{boi} 2 000
$a = \frac{L_{FW}}{L_{boi} - L_{FW}}$			
Taux de purge de surface requis	2,6 %	Taux de purge de surface requis	0,1 %
Purge de surface requise	269,3 Kg/h	Purge de surface requise	7,9 Kg/h
Dont 5% via la purge de fond	13,5 Kg/h	Dont 5% via la purge de fond	0,4 Kg/h
Absolu	59 KW	Absolu	2 KW
% sortie de la chaudière	0,9 %	%sortie de la chaudière	0,0 %



5.3 Formule de la hauteur

Entrée
Résultat

Formule internationale de la hauteur

Hauteur	Pression	Température	Densité
300 m	0,97773 bar	13,05 °C	1,191 kg/m ³

$$p(h) = p_0 \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \frac{K}{m} \cdot h}{T}\right)^{\frac{K}{K-1}} = 1,01325 \text{ bar} \cdot \left(1 - \frac{0,0065 \frac{K}{m} \cdot h}{288,15 \text{ K}}\right)^{5,255}$$

$$T(h) = 15 - 0,0065 \frac{K}{m} \cdot h$$

$$\rho = 1,293 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{p}{1,01325 \text{ bar}}$$

Densité standard, air $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$ à 0 °C et 1,01325 bar

Avec conversion de la température

Hauteur	Pression	Température	Densité
300 m	0,97773 bar	40,00 °C	1,089 kg/m ³

5.4 Tuyauterie

5.4.1 Dimensions

Épaisseurs des parois de tuyaux pour brides soudées (EN 1092-1:2013-04)

Vannes	PN 2,5	PN 6	PN 10	PN 16	PN 25	PN 40	PN 63	PN 100
Ø	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp	Sp
17,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
21,3	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
26,9	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,6	2,6
33,7	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
42,4	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9
48,3	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,9	2,9
60,3	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2
76,1	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	3,2	3,6
88,9	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,6	4,0
114,3	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	4,0	5,0
139,7	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	6,3
168,3	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5,6	7,1
219,1	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	7,1	10,0
273,0	6,3	6,3	6,3	6,3	7,1	7,1	8,8	12,5

Vannes Ø	PN 2,5 Sp	PN 6 Sp	PN 10 Sp	PN 16 Sp	PN 25 Sp	PN 40 Sp	PN 63 Sp	PN 100 Sp
323,9	7,1	7,1	7,1	7,1	8,0	8,0	11,0	14,2
355,6	7,1	7,1	7,1	8,0	8,0	8,8	12,5	16,0
406,4	7,1	7,1	7,1	8,0	8,8	11,0	14,2	
457	7,1	7,1	7,1	8,0	8,8	12,5		
508	7,1	7,1	7,1	8,0	10,0	14,2		
610	7,1	7,1	7,1	8,8	11,0	16,0		
711	7,1	7,1	8,0	8,8	12,5			
813	7,1	7,1	8,0	10,0	14,2			
914	7,1	7,1	10,0	10,0	16,0			
1 016	7,1	7,1	10,0	10,0	17,5			
1 219	7,1	8,0	11,0	12,5				
1 422	7,1	8,0	12,5	14,2				
1 626	8,0	9,0	14,2	16,0				

Tab. 61 Extrait du tableau A,1 de la en 1092-1:2013-0 – épaisseur de paroi pour le type 11

- A Ø Diamètre extérieur
- Sp épaisseur de paroi
- PN Étage de pression nominale

Extrait du tableau A,1 de la EN 1092-1:2013-0



5.4.2 Classement de la pression et température¹⁾

Le classement de la pression et de température des brides sont basées sur les groupes de matériaux. Les matériaux et groupes suivants sont habituels dans le domaine des chaudières à vapeur :

Groupe du matériau	Description	Numéro de matériau
3E0	Aciers non alliés avec des caractéristiques de résistance garantie à des températures plus élevées	1.0352 P245 GH
		1.0460 P250 GH
3E1	Aciers non alliés ayant des caractéristiques définies jusqu'à 400 °C, limite d'élasticité supérieure > 265 N/mm ²	1.0426 P280 GH
4E0	Aciers faiblement alliés avec 0,3% de molybdène	1.5415 16Mo3
12E0	Teneur en carbone standard, stabilisée avec Ti ou Nb	1.4541 X6CrNiTi18-10
		1.4550 X6CrNiNb18-10
		1.4941 X6CrNiTiB18-10
15E0	Teneur en carbone standard, allié au molybdène, stabilisé avec Ti ou Nb	1.4571 X6CrNiMoTi17-12-2
		1.4580 X6CrNiMoNb17-12-2

Tab. 62 Association pression-température

1) Source : EN 1092-1:2013-04 Tableau 9, G.2.2, G.3.2, Tableau D.1

Avis concernant les tableaux et diagrammes suivants :

- Conformément à la norme bride EN 1092-1:2013-04
- Seule la plage inférieure et donc les pressions les plus élevées sont supposées comme valeur de référence pour l'épaisseur v_R ; des PRESSIONS admissibles plus faibles PS peuvent devoir être utilisées pour des dimensions de bride plus grandes et donc une matière première plus épaisse
- Lors de l'utilisation de matériaux austénitiques, les différenciations ne sont pas seulement faites dans le groupe de matériaux, mais aussi parfois dans le matériau individuel. Les matériaux standard sont ensuite utilisés :
 - 12E0 > 1.4541
 - 15E0 > 1.4571
- RT (température ambiante) = - 10 °C – +50 °C
- L'interpolation linéaire entre les valeurs de la table doit être utilisée
- PN de pression nominale
- PS Pression admissible [bar]
- TS température admissible [°C]



PN 10

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	10,0	9,2	8,8	8,3	7,6	6,9	6,4	5,9	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-
PS [bar]	3E1	10,0	10,0	10,0	10,0	9,7	8,8	8,0	7,3	4,0	-	-	-	-	-	-	-	-
	4E0	10,0	10,0	10,0	10,0	9,7	8,5	8,0	7,4	6,9	6,4	5,9	5,4	4,9	4,4	3,5	2,8	2,2

Tab. 63 Extrait du tableau G.2.1-3 – AP 10 pour les matériaux ferritiques

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	10,0	9,9	9,3	8,8	8,4	7,9	7,6	7,4	7,2	7,0	6,7	6,1	5,6	5,0	4,5	4,0
PS [bar]	15E0	10,0	10,0	9,8	9,3	8,8	8,3	8,0	7,8	7,6	7,5	7,4	7,4	7,3	6,7	6,0	5,5

Tab. 64 Extrait du tableau G.4.1-3 – AP 10 pour les matériaux austénétiques

PN 16

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	16,0	14,8	14,0	13,3	12,1	11,0	10,2	9,5	5,2	-	-	-	-	-	-	-	-
PS [bar]	3E1	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	14,0	12,9	11,8	6,4	-	-	-	-	-	-	-	-
	4E0	16,0	16,0	16,0	16,0	15,6	13,7	12,9	11,9	11,0	10,2	9,4	8,6	7,8	7,0	5,6	4,4	3,5

Tab. 65 Extrait du tableau G.2.1-4 – AP 16 pour les matériaux ferritiques

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	16,0	15,8	14,9	14,1	13,4	12,7	12,2	11,8	11,6	11,3	10,8	9,8	8,9	8,1	7,3	6,5
PS [bar]	15E0	16,0	16,0	15,6	14,9	14,1	13,3	12,8	12,4	12,2	12,0	11,9	11,8	11,7	10,7	9,7	8,8

Tab. 66 Extrait du tableau G.4.1-4 – AP 16 pour les matériaux austénétiques

PN 25

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	25,0	23,2	22,0	20,8	19,0	17,2	16,0	14,8	8,2	-	-	-	-	-	-	-	-
PS [bar]	3E1	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4	22,0	20,2	18,4	10,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	4E0	25,0	25,0	25,0	25,0	24,4	21,4	20,2	18,6	17,2	16,0	14,7	13,5	12,3	11,0	8,8	7,0	5,5

Tab. 67 Extrait du tableau G.2.1-5 – AP 25 pour les matériaux ferritiques

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	25,0	24,7	23,3	22,1	21,0	19,8	19,1	18,5	18,1	17,7	16,9	15,3	14,0	12,7	11,4	10,2
PS [bar]	15E0	25,0	25,0	24,5	23,3	22,1	20,8	20,1	19,5	19,1	18,8	18,6	18,5	18,3	16,7	15,2	13,8

Tab. 68 Extrait du tableau G.4.1-5 – AP 25 pour les matériaux austénétiques

**PN 40**

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	40,0	37,1	35,2	33,3	30,4	27,6	25,7	23,8	13,1	-	-	-	-	-	-	-	-
PS [bar]	3E1	40,0	40,0	40,0	40,0	39,0	35,2	32,3	29,5	16,1	-	-	-	-	-	-	-	-
	4E0	40,0	40,0	40,0	40,0	39,0	34,2	32,3	29,9	27,6	25,6	23,6	21,6	19,7	17,7	14,0	11,2	8,9

Tab. 69 Extrait du tableau G.2.1-6 – AP 40 pour les matériaux ferritiques

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	40,0	39,6	37,3	35,4	33,7	31,8	30,6	29,7	29,0	28,3	27,0	24,5	22,4	20,3	18,2	16,3
PS [bar]	15E0	40,0	40,0	39,2	37,3	35,4	33,3	32,1	31,2	30,6	30,0	29,9	29,6	29,3	26,8	24,3	22,0

Tab. 70 Extrait du tableau G.4.1-6 – AP 40 pour les matières austénitiques

PN 63

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530
	3E0	63,0	58,5	55,5	52,5	48,0	43,5	40,5	37,5	20,7	-	-	-	-	-	-	-	
PS [bar]	3E1	63,0	63,0	63,0	63,0	61,5	55,5	51,0	46,5	25,5	-	-	-	-	-	-	-	
	4E0	63,0	63,0	63,0	63,0	61,5	54,0	51,0	47,1	43,5	40,3	37,2	34,1	31,0	27,9	22,2	17,7	14,1

Tab. 71 Extrait du tableau G.2.1-7 – AP 63 pour les matériaux ferritiques

TS [°C]		RT	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	560	570	580	590	600
	12E0	63,0	62,4	58,8	55,8	53,1	50,1	48,3	46,8	45,7	44,7	42,6	38,7	35,4	32,1	28,8	25,8
PS [bar]	15E0	63,0	63,0	61,8	58,8	55,8	52,5	50,7	49,2	48,3	47,4	47,1	46,6	46,2	42,3	38,4	34,8

Tab. 72 Extrait du tableau G.4.1-7 – AP 63 pour les matériaux austénitiques

5.4.3 Vitesse d'écoulement

Medium	Champs d'application	Vitesse recommandée
Vapeur	0 – 1 bar	20 – 25 m/s
	1 – 40 bar	30 – 40 m/s
Eau	Ligne d'aspiration	0,4 (0,25 – 0,6) m/s
	Ligne de pression	2 (1,5 – 3) m/s
Condensat	Fraction de vapeur	15 m/s
	Fraction d'eau	2 m/s
Fumée		16,5 m/s

Medium	Champs d'application	Vitesse recommandée
Fioul	Côté décharge de fioul légère	0,5 m/s
	Côté décharge de fioul légère	1 m/s
	Côté admission de fioul léger	0,3 m/s
	Côté décharge de fioul lourd	0,5 m/s
Gaz naturel		Aucune spécification
		Conception par perte de pression

Tab. 73 Vitesses de conception standard (vitesses recommandées) pour le dimensionnement des tuyauteries

5.4.4 Perte de pression – valeurs guides pour le coefficient de perte de pression ζ

Vanne d'arrêt, servovalve, vanne à papillon

DN	Valeur de Kvs			Coefficient de perte de pression ζ ¹⁾		
	Vanne d'arrêt	Servovalve	Vanne à papillon	Vanne d'arrêt	Servovalve	Vanne à papillon
15	5,3	4	–	2,9	5,1	0,9
20	7,2	6,3	–	4,9	6,4	2,4
25	12	10	26	4,3	6,2	1,7
32	16	16	26,5	6,5	6,5	0,7
40	28,5	25	49,6	5	6,5	0,4
50	43	40	116	5,4	6,2	0,5
65	75	63	259	5,1	7,2	0,3
80	105	100	377	5,9	6,5	0,4
100	170	160	763	5,5	6,2	0,3
125	270	250	1 030	5,3	6,2	0,2
150	405	400	1 790	4,9	5,1	0,2
200	675	–	3 460	5,6	–	0,2
250	1 090	–	5 070	5,2	–	0,2
300	1 460	–	7 430	6,1	–	0,2
350	2 010	–	10 320	5,9	–	0,3
400	2 640	–	13 290	5,9	–	0,2

Tab. 74 Vanne d'arrêt, servovalve, vanne à papillon

1) Le coefficient de perte de pression ζ est relatif au diamètre nominal DN.

**Clapet anti-retour de type bride intermédiaire, clapet anti-retour, piège à impuretés**

DN	Valeur de Kvs			Coefficient de perte de pression ζ ¹⁾		
	Z Clapet anti-retour de type bride intermédiaire	Clapet anti-retour	Piège à saleté	Clapet anti-retour de type bride intermédiaire	Clapet anti-retour	Piège à saleté
15	4,4	5,7	6,9	4,2	2,5	1,7
20	7,1	7,8	10,8	5,1	4,2	2,2
25	12	11,8	17,8	4,3	4,5	2,0
32	19,5	17,9	26,1	4,4	5,2	2,5
40	25	27,5	36,7	6,5	5,4	3,0
50	46	48	61	4,7	4,3	2,7
65	69	77,6	98,6	6,0	4,7	2,9
80	87	109	146	8,7	5,5	3,1
100	122	168	234	10,7	5,7	2,9
125	–	251	376	–	6,2	2,8
150	–	389	394	–	5,3	5,2
200	–	664	652	–	5,8	6,0
250	–	1 017	1 225	–	6,0	4,2
300	–	1 446	1 873	–	6,2	3,7
350	–	2 042	–	–	5,8	–
400	–	2 725	–	–	5,5	–
500	–	4 167	–	–	5,8	–

Tab. 75 Clapet anti-retour de type bride intermédiaire, clapet anti-retour, piège à saleté1) Le coefficient de perte de pression ζ est relatif au diamètre nominal DN.**Perte de pression de vapeur d'eau et d'autres gaz :**

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \lambda \cdot \frac{1}{d} \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \text{ à flux isotherme } T_2 = T_1$$



$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 \cdot p_1} = \zeta \cdot \frac{\rho \cdot u^2}{2} \text{ à flux isotherme } T_2 = T_1$$

F39. Perte de pression de vapeur d'eau et d'autres gaz avec écoulement isotherme

Pour le calcul de la perte de pression jusqu'au consommateur $\zeta =$

ζ extraction de vapeur	→ Tab. 74 Vanne d'arrêt, servovalve, vanne à papillon, page 414
+ ζ extension/disponibilité	Comme règle après l'extraction à la vapeur
+ n coude · ζ coude	Valeur guide $\zeta_{90^\circ \text{ elbow}} \approx 0,5$
+ $\lambda \cdot \frac{l}{d}$	
+ ζ vannes	
+ ζ consumer inlet	le cas échéant (peut être ignoré en règle générale)

i

- ρ Masse volumique du fluide en kg/m^3
- u Vitesse Moyenne à l'entrée de conduite
- T_1 Température du fluide à l'entrée de conduite
- T_2 Température du fluide à l'entrée de conduite

L'écart par rapport à l'écoulement adiabatique peut normalement être ignoré.

Perte de pression des liquides

Conversion de la valeur K_v , coefficient de perte de pression ζ et coefficient de débit C_v

Conversion de la valeur K_v d'une vanne au coefficient de perte de pression ζ :

$$\zeta = 2 \cdot \frac{A^2}{\left(\frac{K_v}{3600}\right)^2} \cdot 100 = 2 \cdot \frac{\left(\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2\right)^2}{\left(\frac{K_v}{3600}\right)^2} \cdot 100$$

$\times \sqrt{\quad}$

F40. Conversion de la valeur K_v d'une vanne au coefficient de perte de pression ζ

Conversion du coefficient de perte de pression ζ d'une vanne en vanne K_v :

$$K_v = \frac{A \cdot 3600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \cdot 3600}{\sqrt{\frac{\zeta}{2 \cdot 100}}}$$

$\times \sqrt{\quad}$

F41. Conversion du coefficient de perte de pression ζ d'une vanne en vanne K_v :

Conversion de la valeur C_v (coefficient de débit) dans les systèmes métriques en valeur K_v :

$$K_v = C_v \cdot 0,865$$

$\times \sqrt{\quad}$

F42. Conversion de la valeur C_v (coefficient de débit) dans les systèmes métriques en valeur K_v



5.5 Identification

5.5.1 Tuyauterie

En Allemagne, la tuyauterie est identifiée selon la DIN 2403. L'identification doit être fixée à des intervalles appropriés aux points critiques ou dangereux sur le plan opérationnel et contenir les éléments suivants :

- Flèche de flux
- Matière d'écoulement (mot, formule chimique, numéro d'identification ou code)
- Pictogramme de danger, s'il y a lieu (p. ex. avec des gaz/fluides combustibles, des acides et des alcalis)

→ Outils – Chapitre 5.5.2 : Substances dangereuses, page 418

Matière d'écoulement	Groupe	Groupe de couleur	Couleur additionnelle	Lettrage/ flèche/ couleur des bords
Eau	1	Vert	–	Blanc
Vapeur d'eau	2	Rouge	–	Blanc
Air	3	Gris	–	Noir
Gaz combustibles	4	Jaune	Rouge	Noir
Gaz incombustibles	5	Jaune	Noir	Noir
Acides	6	Orange	–	Noir
Alcalis	7	Violet	–	Blanc
Combustible liquides et solides	8	Marron	Rouge	Blanc
Liquides et solides inflammables	9	Marron	Noir	Blanc
Oxygène	0	Bleu	–	Blanc

Tab. 76 Identification de la tuyauterie selon la norme DIN 2403

Groupe de couleur/couleur additionnelle	Identification de couleurs selon la norme DIN 5381
Vert	RAL 6032 signal green
Rouge	RAL 3001 signal red
Gris	RAL 7004 signal grey
Jaune	RAL 1003 signal yellow
Orange	RAL 2010 signal orange
Violet	RAL 4008 signal violet
Marron	RAL 8002 signal brown
Bleu	RAL 5005 signal blue

Groupe de couleur/couleur additionnelle	Identification de couleurs selon la norme DIN 5381
Noir	RAL 9004 signal black
Blanc	RAL 9003 signal white

Tab. 77 Identification de couleurs selon la norme DIN 5381

5.5.2 Substances dangereuses

Les symboles de danger (identification des substances dangereuses) doivent être mis en œuvre conformément à l'ordonnance européenne CLP.

L'ordonnance (CE) n° 1272/2008 pour la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (ordonnance CLP) adapte les réglementations juridiques de l'UE au système harmonisé à l'échelle mondiale pour la classification et l'identification des produits chimiques (SGH).



5.6 Perte de chaleur

5.6.1 Tuyauterie et vannes

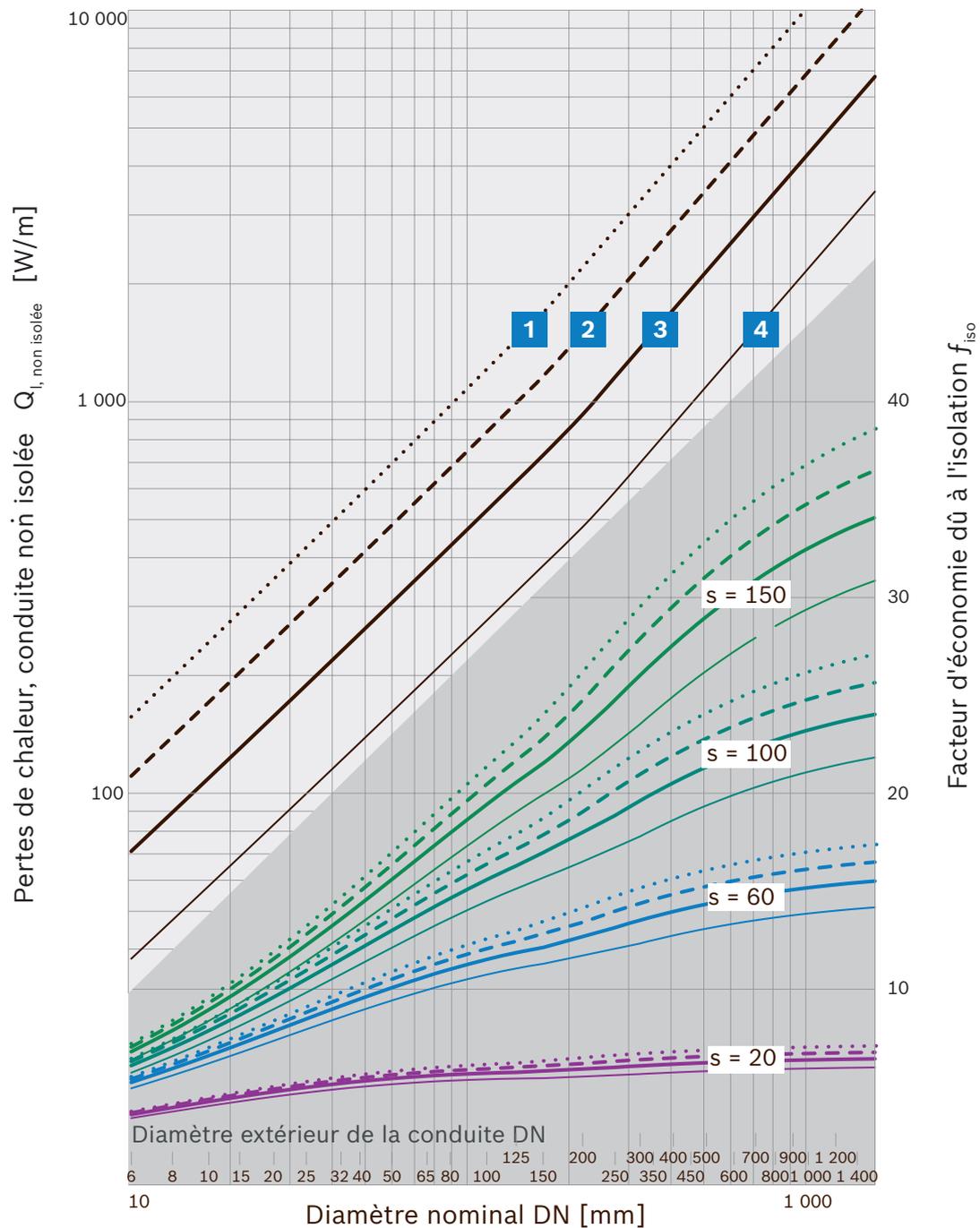


Fig. 235 Facteur d'économie dû à l'isolation et aux pertes de chaleur dans la tuyauterie

- | | |
|---|---|
| 1 Température moyenne : 250 °C (·····) |  Épaisseur de l'isolation s = 150 mm |
| 2 Température moyenne : 200 °C (- - - -) |  Épaisseur de l'isolation s = 100 mm |
| 3 Température moyenne : 150 °C (— — —) |  Épaisseur de l'isolation s = 60 mm |
| 4 Température moyenne : 100 °C (— — —) |  Épaisseur de l'isolation s = 20 mm |

→ Efficacité – Chapitre 4.1.2 : Isolation des tuyauteries, page 289

5.6.2 Recipient

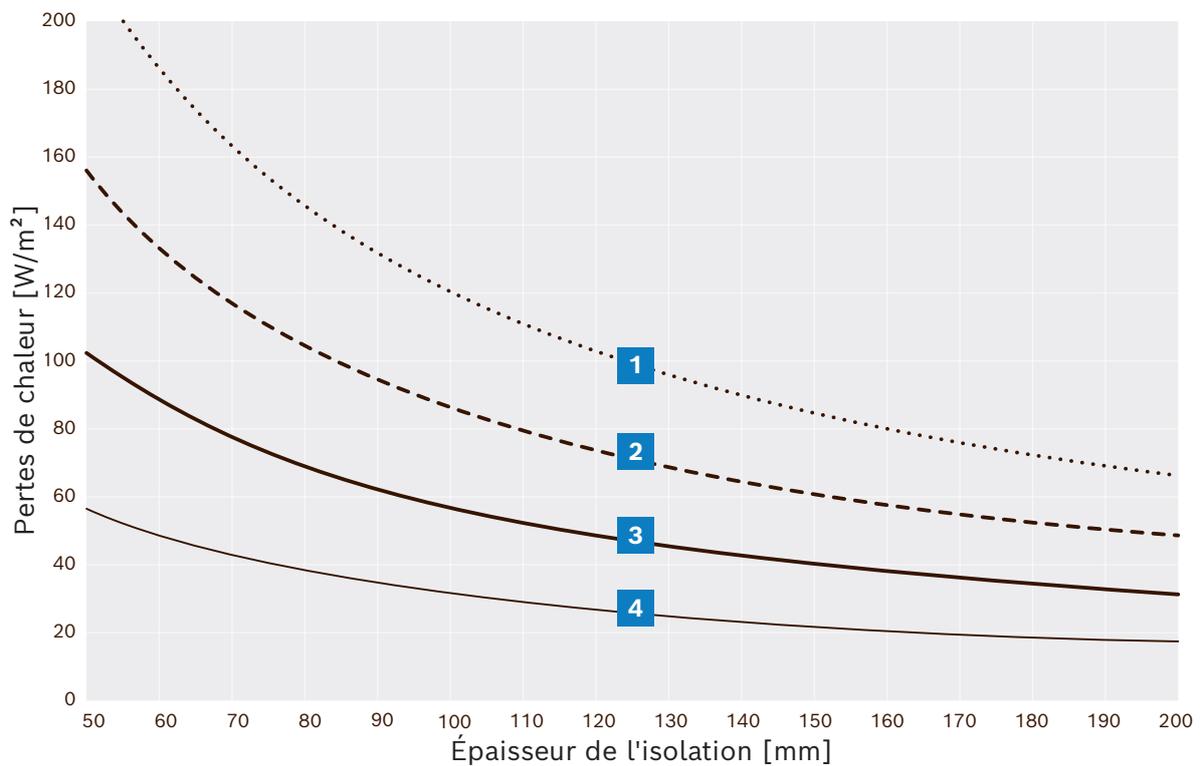


Fig. 236 Perte de chaleur à travers l'isolation du réservoir ou bien la surface de la chaudière

- | |
|-------------------------------------|
| 1 Température moyenne 250 °C |
| 2 Température moyenne 200 °C |
| 3 Température moyenne 150 °C |
| 4 Température moyenne 100 °C |



5.7 Son

Ajout de niveaux de pression acoustique

$$L_{p, \text{tot}} = 10 \cdot \text{LOG}_{10} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{p,i}}{10}}$$



F43. Formule de calcul du niveau sonore total

Évaluation de la fréquence et niveau de pression acoustique

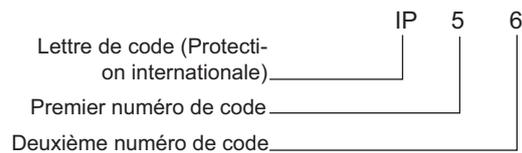
	Fréquence f [Hz]										
	31,5	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	Σ
dB(A)	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6	
dB(C)	-3	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3	-8,5	
dB	109,2	112,7	118,2	112,2	100,6	97,3	83,1	67,7	63,7		120,5
dB(A)	69,8	86,5	102,1	103,6	97,4	97,3	84,3	68,7	62,6	-6,6	107,1
dB(C)	106,2	111,9	118	112,2	100,6	97,3	82,9	66,9	60,7	-8,5	120,0



6 Autres

6.1 Indices IP des boîtiers

Selon à EN 60529 (VDE 0470-1):2014-09



Premier numéro de code

	Contre la pénétration des corps étrangers solides :	Contre l'accès aux pièces dangereuses avec :
0	(non protégé)	(non protégé)
1	≥ 50 mm diamètre	Dos de la main
2	≥ 12,5 mm diamètre	Doigt
3	≥ 2,5 mm diamètre	Outil
4	≥ 1,0 mm diamètre	Câble
5	Anti-poussière	Câble
6	Étanche à la poussière	Câble

Tab. 78 Indices IP des boîtiers – Premier numéro de code

Deuxième numéro de code

0	(non protégé)
1	Égouttement vertical
2	Égouttement (15 ° inclinaison)
3	Pulvérisateur de l'eau
4	Éclabousseur l'eau
5	Jet d'eau
6	Jet d'eau puissant
7	Immersion temporaire
8	Immersion continue
9	Haute pression et température élevée du jet d'eau

Tab. 79 Indices IP des boîtiers – Deuxième numéro de code

Indice

A

Adoucissement	179, 180
Air extrait	61, 75
Arrivée d'air	61, 75, 94

B

Bâche alimentaire	
Module de refroidissement de la bâche alimentaire	267, 356
Récipient de la bâche alimentaire	37, 43, 92, 125
BCO (Contrôle de la chaudière)	169, 170, 367
Brûleur	
Brûleur à fioul à jet sous pression	137
Brûleur Duoblock	135
Brûleur Monoblock	134
Puissance du brûleur	91, 273
Système de brûleur	270

C

Canalisation	406, 414, 416
Capacité de production / Puissance	35, 36, 47
Cavitation	89, 221
Chaîne de sécurité	127, 129, 168
Chaleur	
Chaudière à récupération de chaleur	61, 119, 144, 226, 303, 304, 309, 322
Échangeur de chaleur	37, 48, 77, 140
Perte de chaleur	305
Puissance de chauffage	37, 38, 42, 246
Récupération de la chaleur	39, 41, 124, 164, 187, 268, 277
Chaleur de récupération / Chaleur fatale	226, 309, 336
Récupération de la chaleur résiduelle	333

Chaleur solaire	305
Chambre d'inversion	87
Charge complète	250
Charge de base	303
Charge maximale	335
Chaudière	
Approvisionnement de la chaudières	361
Chaufferie	51, 168, 175, 176
Composants de la chaufferie	59, 338
Contrôle de chaudière (BCO)	28, 169, 367
Contrôle de la séquence de la chaudière	74, 194, 295
Pompes d'alimentation des chaudières	88, 160
Puissance de la chaudière / Capacité de production de la chaudière	49, 50, 51, 272
Salle d'installation des chaudières	59
Chaudière à double foyer	117, 157, 266
Cogénération chaleur / électricité	303
Combustible	53, 56, 57, 74, 129, 130, 133, 135, 140, 141, 243, 248, 270, 391
Combustion (stœchiométrique)	270
Composants	125, 133, 309
Conception	30, 32, 47, 55, 57, 62, 104, 160, 178, 211, 227, 273, 295
Condensat	
Condensat haute pression	200
Conduites de condensat	105, 199, 222, 288
Réservoir de condensat	39, 204, 284
Retour des condensats	40, 41, 42
Sans oxygène (condensat haute pression)	200
Surrefroidissement du condensat	38
Système de condensat	39, 92, 203, 284, 345
Conductivité	126, 128, 203
Conduite de purge de la soupape de sécurité	79, 82, 224
Contrôle	121, 126, 168, 172, 206, 207, 271, 272, 295, 309, 367
Contrôle de l'O2	271
Contrôle du CO	271
Contrôle du système	204, 206, 309, 357, 361, 367, 370
CSC (contrôle des chaudières compact à vapeur)	172, 369

D

Désaération / Dégazage	43
Dégazage complet	187
Dégazage partiel	189, 190
Dégazage thermique	185
Degré d'utilisation annuel	253, 287
Demande	40
Déminéralisation	181, 282
Diamètre nominal	80, 211, 212
Dilatation thermique	217, 218
Directrive	63, 68
Dosage (chimique)	88, 125, 190, 284
Drainage	78, 219

E

Eau	93, 148, 261
Adoucie	180, 204
Circuit d'eau	39
Coup de bélier	77, 220
Déminéralisé	177
Entièrement déminéralisé	185
Évacuation d'eau	175, 191, 192
Partiellement déminéralisé	177, 184
Qualité de l'eau	86, 125, 175, 203, 233, 35
Sans dureté	177, 199, 204, 361
Traitement de l'eau	175, 177, 190
• Chimique	88, 125, 190
• Thermique	253
Eau adoucie	177
Eau brute (eau douce)	361
Eau d'appoint	36, 39, 41, 43
Besoin d'eau d'appoint	42, 305
Eau desionisée (Eau complètement déminéralisée)	185
Eau douce	86, 178
Échangeur d'ions	179, 180
Eclat de vapeur	91, 127, 219

Economiseur	93, 148, 261
Échangeur de chaleur à condensation	152, 263, 264
Economiseur autonome	151
Economiseur intégré	149
Efficacité / Rendement	241, 243, 245, 246, 270, 380
Emission	67
Énergie	
Consommation d'énergie	338
Gestion d'énergie	296
Production d'énergie	296
Enthalpie	110
Entièrement déminéralisé	185
Entretien thermique	50, 145
Évacuation d'eau	175, 191, 192
Excès d'air	249, 250, 270, 272

F

Fioul	53, 54, 56, 133
Fioul léger	137, 212
Fioul lourd	53, 140
Fluctuation de la charge	91, 192
Foyer	116, 179, 234
Fumées	
Échangeur de chaleur sur fumées (économiseur)	148, 152, 352, 353, 354

G

Gaz	53, 55, 141
Gaz naturel	55, 56

H

Haute pression	
Condensat haute pression	284, 345
Vapeur haute pression	106, 305

I

Immission	67
Installation	51, 59, 61, 77, 94

Isolation	39, 287, 292, 294
Épaisseur de l'isolation	252, 289

L

Législation	63
-------------	----

M

Maintenance	299
Maintenance à distance (MEC Remote)	208, 297, 374
Matériaux	263, 408
MEC Optimize	85, 297, 371
MEC Remote	374
MEC System	209, 373
Modbus	206, 370
Mode de fonctionnement	130
Faible teneur en sel	45
Saline	45
Sans sel	41

N

Normes	59, 63, 226
--------	-------------

O

Opération	85
Mode de fonctionnement	73, 85, 312
Condition de fonctionnement	180
Frais d'exploitation	50, 258, 312, 317, 322, 327

P

Perméation (eau, partiellement déminéralisée)	183, 184
Perte de chaleur	39, 145, 193, 251, 287
Pertes par rayonnement	30
Plage de contrôle	49, 55
Étude et conception / étude	17, 73
Point d'ébullition	187, 273, 397
Pompes	89, 162, 164, 350
Ponts thermiques	292

Pouvoir calorifique supérieur / inférieur (PCS/PCI)	243
Échangeur de chaleur à condensation	152, 263, 264
Préchauffage d'air	135, 148, 154, 265
Préchauffage de l'huile	140
Pression	27, 109, 389, 397
Pression de fonctionnement	295
Fonctionnement maximal admissible	31, 51, 65, 214
Pression de fonctionnement réduite	30
Pression moyenne de fonctionnement	27, 28
Pression d'ébullition	397
Pré-ventilation	273
Principe des 3 parcours	327
Production d'énergie	35, 126, 160, 191, 264
Produits	306
Profibus	168, 206
Purge de fond	40, 127, 160, 191, 245, 264, 297
Purge de surface	35, 126, 160, 191, 264

Q

Qualité de l'eau	135
------------------	-----

R

Réglementation	63, 68, 298
----------------	-------------

S

SCO (contrôle du système)	207, 209, 370
Service	298
Soupape de sécurité	128, 224, 225
Surchauffeur	157–238, 331
Surveillance des conditions	171, 296, 367
Système d'automatisation	167
Protocoles des systèmes d'automatisation	206
Système de brûleur	270
Système de combustion	129, 133
Chambre de combustion	143
Équipement de combustion	133, 137, 142

T

Taux de purge de surface	181, 182, 277, 282
Température	389, 397
Différence de température	247, 287
Transmission	67
Tube de fumée	234, 235, 313

U

Unité de cogénération chaleur / d'électricité	61, 119, 144, 226
Usage propre	40

V

Vapeur	
Accumulateur de vapeur	194, 344
Chaudière à vapeur	170, 309, 384
Circuit de vapeur	36, 346
Conduites de vapeur	39, 77, 219
Eclat de vapeur	43, 80, 280, 350
Pression de vapeur	193
Quantité de vapeur	122, 130, 160
Sortie de vapeur	35, 73
Systèmes de vapeur	32, 112, 196, 405
Types de vapeur	103
Vapeur d'eau chaude	36, 40, 43, 278, 280
Vapeur d'échappement	43, 80, 280, 350
Vapeur d'expansion	39, 106, 284, 402
Pertes de vapeur d'expansion	39
Vapeur haute pression	104
Vapeur humide	104
Vapeur saturée	104, 403

Informations d'identification

I)		
IWO – Institut de technologie du chauffage et du fioul, 2017		54
II), III)		
Office fédéral de la statistique – données sur l'évolution des prix de l'énergie, 2018		56, 57
IV)		
Autorité de contrôle technique de Rhénanie (TÜV Rhénanie), 2016		64
V)		
Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH (Hrsg.), 4ème édition révisée, 2018: Cotation pour les managers : plus de 2 600 adages qui communiquent clairement votre message, 2018, p. 106		72
VI)		
Association fédérale de l'industrie allemande du chauffage, 2007		300

Bosch Industriekessel GmbH

Nuernberger Strasse 73
91710 Gunzenhausen
Allemagne
Tel. +49 9831 56-253
Fax +49 9831 56-92253
sales@bosch-industrial.com
Service d'assistance téléphonique +49 180 5667468*
Hotline Pièces de Rechange +49 180 5010540*

info@bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com
www.bosch-industrial.com/YouTube

* 0,14 euros/min. depuis les lignes fixes allemandes ; le tarif mobile le plus élevé est de 0,42 euros/min.

Les coûts des appels depuis les réseaux mobiles et les appels internationaux peuvent varier.

© Bosch Industriekessel GmbH | Les illustrations ne sont que des exemples |
Sous réserve de révisions | 06/2023 | TT/MKT-CH_fr_Planungshandbuch_Dampf_01

Nous remercions Dreizler, Grundfos, GWT - Gesellschaft für Wasser- und Verfahrenstechnik mbH (Association d'ingénierie de l'eau et des procédés), Saacke, TÜV Süd et Weishaupt pour votre gentillesse en nous fournissant les images.

Conception: TANNER AG, Lindau (B.)/Karlsruhe

