

# Administration des Mines et Appareils à Vapeur

par H. FRESON,  
Inspecteur Général des Mines.

## SAMENVATTING

Ingevolge het stijgend aantal vaste en locomotiefketels die in het begin van de vorige eeuw in gebruik genomen werden, werden zowel in België als in de meeste Europese landen reglementaire bepalingen opgesteld, waardoor de plaatsing van een stoomketel aan een administratieve vergunning werd onderworpen, en de bouw en het gebruik ervan aan enkele elementaire veiligheidsmaatregelen, zoals het verbod om gietijzer te gebruiken voor de belangrijkste delen en de verplichting de ketels te voorzien van veiligheidsinrichtingen (veiligheidskleppen, manometer, waterpeilglas), en ze voor hun ingebruikneming te onderwerpen aan een waterdrukproef op hoge druk (het driedubbele van de zegeldruk).

Ingevolge de opgedane ervaringen en de verbeteringen in de bereiding van de platen, werden deze regels verschillende malen gewijzigd en aangevuld; dit gold bij voorbeeld voor wat betreft de controle van de oorsprong en de hoedanigheden van de platen, het berekenen van de klinknaden en de wanddikte van verschillende delen, en het periodisch nazicht van de ketels uit oogpunt van bedrijfsveiligheid, door jaarlijkse inwendige onderzoeken uitgevoerd door gespecialiseerde agenten die door de gebruiker van het toestel werden gekozen.

Na een laatste herziening die in 1919 beëindigd werd, was het reglement volkomen aangepast aan de geklonken ketels werkend op matige drukken en temperaturen.

Enkele statistische gegevens tonen aan hoe, vooral na 1930, het aantal van deze ketels in de reeks der energiebronnen voortdurend afneemt.

Ongeveer op hetzelfde tijdstip begon men meer en meer gebruik te maken van het autogeen lassen voor de verbinding der platen, en leverden de stoomketels ook reeds sterk oververhitte stoom op hoge drukkingen.

De bijzondere regels, geldig voor deze bevestigingswijze en voor de berekening van wanden werkend op hoge temperatuur werden bestudeerd door de Vaste Commissie van Advies voor de Stoomtuigen.

## RESUME

En présence du nombre croissant de chaudières fixes et de chaudières de locomotives, mises en service au début du siècle dernier, furent édictées, en Belgique comme dans la plupart des pays d'Europe, des prescriptions réglementaires subordonnant le placement des chaudières à une autorisation administrative et soumettant leur construction et leur utilisation à quelques règles élémentaires de sécurité, telles que l'interdiction d'utiliser la fonte pour la construction des éléments principaux et l'obligation de les munir de dispositifs de sécurité (soupapes de sûreté, manomètre, indicateur de niveau d'eau) et de leur faire subir, avant la mise en service, une épreuve hydraulique à une pression élevée (le triple de la pression du timbre).

Compte tenu des enseignements de l'expérience et de l'évolution des procédés de fabrication des tôles, ces règles furent à diverses reprises modifiées, et complétées en ce qui concerne notamment le contrôle de l'origine et des qualités des tôles, le calcul des rivures et des épaisseurs de parois de divers éléments et la vérification périodique de la sécurité de fonctionnement des chaudières par des visites intérieures annuelles effectuées par des agents spécialisés choisis par l'utilisateur.

Après une dernière refonte, terminée en 1919, la réglementation était parfaitement adaptée aux chaudières de construction rivée, fonctionnant à des pressions et à des températures de vapeur modérées.

Quelques données statistiques montrent la régression, sensible depuis 1930, du nombre de chaudières de cette catégorie utilisées comme source de force motrice.

Vers la même époque commença à se répandre l'emploi de la soudure autogène pour l'assemblage des tôles de chaudières, tandis qu'apparurent des chaudières produisant de la vapeur fortement surchauffée, à haute pression.

Les règles spéciales, applicables à ce mode d'assemblage et au calcul des parois portées à température élevée ont été étudiées par la Commission consultative permanente pour les appareils à vapeur.

## INHALTSANGABE

Im Hinblick auf die zunehmende Verwendung von fest eingebauten Kesseln und Lokomotiven, die seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts zu verzeichnen waren, wurden in Belgien wie in den meisten europäischen Ländern Vorschriften über den Betrieb von Kesseln erlassen. Ihre Aufstellung bedurfte einer behördlichen Genehmigung, und für die Bauweise und den Betrieb wurden grundlegende Sicherheitsbestimmungen vorgeschrieben. Beispielsweise wurde es verboten, die Hauptteile von Kesseln aus Gusseisen herzustellen; weiter mussten die Kessel mit Sicherheitsventilen, Druckmessern und Wasserstandsanzeigern ausgerüstet sein und vor der Inbetriebnahme einem hydraulischen Druckversuch unter dreifacher Höhe des Nennendrucks unterzogen werden.

Auf Grund der praktischen Erfahrungen und der Entwicklung der Blechherstellungstechnik wurden die ursprünglichen Bestimmungen mehrfach abgeändert und ergänzt. Neu eingeführt wurden insbesondere eine Kontrolle der Herkunft der Kesselbleche und ihrer Qualität, Regeln für die Berechnung der Nietnähe und der Wandstärke verschiedener Bauteile sowie die alljährliche Ueberprüfung der betrieblichen Sicherheit der Kessel, die die Unternehmer durch einen ausgewählten Ueberwachungsbeamten durchführen lassen müssen.

Die letzte Neufassung der Vorschriften im Jahre 1919 brachte eine Anpassung der Bestimmungen an den Betrieb von genieteten Kesseln mit verhältnismässig niedrigen Drücken und Dampftemperaturen.

Die Statistik lässt erkennen, dass die Zahl von Kesseln dieser Art seit 1930 erheblich zurückgegangen ist.

Etwa zur gleichen Zeit begann die zunehmende Verwendung des Autogenschweissverfahrens im Kesselbau und der Uebergang zu stark überhitztem Dampf unter hohem Druck.

Ueber Sondervorschriften für diese neue Technik des Kesselbaus und für die Berechnung der hohen Temperaturen ausgesetzten Wände hat der ständige beratende Ausschuss für Dampfgeräte eingehende Untersuchungen angestellt.

Depuis le début du 19<sup>e</sup> siècle, les machines à vapeur ont été la source principale, sinon exclusive de l'énergie, dont la consommation rapidement croissante a permis le développement économique et industriel que divers pays d'Europe occidentale ont connu au cours de cette période.

Au début de celle-ci, la réalisation d'une installation motrice à vapeur constituait une opération aléatoire, et les rares industriels qui se risquaient à

## SUMMARY

In view of the increasing number of fixed boilers and locomotive steam generators which were put into service at the beginning of the last century, Belgium, like most of the European countries, issued statutory regulations whereby an official permit was required for installing boilers, and their construction and use were subjected to a few elementary safety measures, such as prohibition of the use of cast iron for the construction of the main parts, compulsion to fit them with safety devices (safety valves, manometer, water level indicator), and subjection to a hydraulic test at high pressure (3 times that of the test-plate), before being put into service.

In the light of experience and the development of manufacturing processes of these metal sheets, these rules were modified at various times, and completed, particularly with regard to the control of the origin and quality of the sheet iron, the calculation of the riveting and the thickness of the walls of various parts, and the periodical checking of the working safety of the boilers by yearly inspection of the inside carried out by special agents chosen by the user.

After a final revision, completed in 1919, the regulations were completely adapted to boilers of the riveted type, working at moderate steam pressures and temperatures.

A few statistics show the decline, which has been very marked since 1930, in the number of boilers of this category used as a source of driving power.

About the same time, autogenous welding began to be more extensively used for assembling the sheet iron for boilers, whilst boilers producing highly superheated, high pressure steam made their appearance.

The special regulations applicable to this method of assembly and the calculation of the walls for high temperature were studied by the permanent consultative Commission for steam engines.

l'entreprendre rencontrèrent maints déboires dus à l'état rudimentaire des moyens techniques dont les constructeurs disposaient et à la médiocre qualité des matériaux que l'industrie sidérurgique parvenait à élaborer.

Le nombre de chaudières en service n'en augmenta pas moins; des règles de bonne pratique de construction se dégagèrent, et la codification de certaines mesures de sécurité put être envisagée.

les locomotives des chemins de fer interviennent pour une part croissante.

TABLEAU I.

Années	Nombre de		Puissance (kW)	
	chaudières	moteurs	totale	par moteur
1850	5.740	2.282	49.300	21,6
1860	8.026	4.997	118.500	23,8
1870	10.648	9.294	256.200	27,6
1880	13.264	14.060	446.500	31,8
1890	18.113	17.663	691.200	39,1
1895	19.378	19.664	802.500	40,7
1900	22.003	22.961	1.021.000	44,5

Ultérieurement, les statistiques annuelles indiquent, par genre d'industrie ou par destination, les nombres de chaudières et leur surface de chauffe totale, et les nombres de moteurs et leurs puissances totales.

Les chiffres correspondant à quelques années de la période 1902-1960 sont reproduits au tableau II.

TABLEAU II.

Années	Chaudières		Moteurs	
	Nombre	Surface de chauffe moyenne	Nombre	Puissance moyenne kW
1902	23.141	56	24.586	49
1913	26.785	72	28.297	81
1926	26.154	85	22.538	147
1939	16.110	104	15.102	400
1948	13.338	112	12.483	504
1960	13.348	125	5.886	893

Abstraction faite des chaudières des locomotives de la Société Nationale des Chemins de fer belges, dont le nombre, après avoir atteint 4.600 environ, est actuellement réduit sensiblement des trois quarts, le nombre des chaudières est légèrement prépondérant dans les provinces minières.

Dans les chiffres relatifs aux moteurs sont comprises les turbines à vapeur, qui font, depuis 1948, l'objet d'un recensement distinct. Depuis cette époque, et jusqu'en 1960, leur nombre n'a guère varié et est resté voisin de 620 ; leur puissance moyenne a, au cours de cette période, progressivement augmenté de 3.970 à 5.780 kW.

Au 1<sup>er</sup> janvier 1960, environ 500 de ces turbines actionnaient des génératrices électriques, dont 4

d'une puissance supérieure à 100 MW, 17 de 50 à 99 MW et 43 de 20 à 49 MW.

### ARRETE ROYAL DU 28 MARS 1919

Le règlement du 28 mai 1884 a reçu divers compléments, dont le plus important a fait l'objet de l'arrêté royal du 15 décembre 1906 : celui-ci, rompant avec les traditions antérieures, édicte des règles détaillées pour le calcul des épaisseurs de divers éléments de chaudières.

L'arrêté royal du 28 mars 1919, qui contient l'essentiel de la réglementation actuelle, coordonne les dispositions existant à cette époque ; en outre, il les modifie en rétablissant l'intervention de l'autorité provinciale dans les autorisations d'établissement d'appareils à vapeur, et en limitant le champ d'application du règlement aux chaudières fixes ou mobiles d'une capacité supérieure à 25 litres, destinées à fonctionner à une pression dépassant 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Les compléments, qui visent à accroître la sécurité des chaudières, sont principalement :

- des prescriptions tendant à renforcer l'efficacité du fonctionnement des appareils de sûreté ;
- des prescriptions relatives aux matériaux (interdiction de l'acier au convertisseur, interdiction de la fonte et des métaux coulés pour la construction des parties chauffées) et au calcul des corps cylindriques, des rivures, des renforts d'ouvertures des fonds, des tubes-foyers, des parois planes, des entretoises, d'après des règles fixées par arrêté ministériel ;
- des prescriptions ayant pour but de garantir la compétence et l'indépendance des agents chargés des visites intérieures annuelles des chaudières ;
- des prescriptions administratives et une réglementation technique sommaire des chaudières dites « à basse pression », d'une contenance en eau de plus de 100 litres au niveau normal, et dans lesquelles la pression ne peut dépasser 0,5 kg/cm<sup>2</sup>.

Quant aux machines à vapeur, qui avaient été distraites du régime spécial des appareils à vapeur, et soumises au régime d'autorisation simplifié de la 2<sup>e</sup> classe des établissements dangereux, insalubres ou incommodes, elles doivent, en vertu de l'arrêté royal du 22 décembre 1920, faire comme les chaudières l'objet d'une autorisation de placement et d'une autorisation de mise en usage.

#### *Le règlement général pour la protection du travail.*

A l'initiative du Ministre du Travail et de la Prévoyance Sociale, ses services rassemblèrent en un règlement unique, dénommé Règlement général pour la protection du travail, notamment toutes les prescriptions relatives au régime des établissements classés, et les réglementations techniques particu-

lières applicables aux divers appareils utilisés dans l'industrie.

Sous le titre IV de ce Règlement général, approuvé par l'arrêté royal du 27 septembre 1947, furent transcrites les dispositions de l'arrêté royal du 28 mars 1919, dans lesquelles furent introduites quelques modifications mineures (faculté d'utiliser des bouchons fusibles en cadmium, et des soupapes de sûreté chargées par ressorts) ainsi qu'une réglementation spéciale des autoclaves de stérilisation construits en tôles de cuivre, qui avait fait l'objet de l'arrêté royal du 11 avril 1939.

#### **SURVEILLANCE ADMINISTRATIVE DES APPAREILS A VAPEUR**

Aux termes d'un arrêté royal du 5 avril 1839 pris « sur le rapport de Notre Ministre des Travaux publics, et de l'avis de Notre Ministre de l'Intérieur et des Affaires étrangères », cette surveillance est confiée aux ingénieurs de l'Etat soit, dans les provinces minières, aux ingénieurs du Corps des Mines, et dans les autres provinces aux ingénieurs du Corps des Ponts et Chaussées.

Quant aux appareils à vapeur des Chemins de fer de l'Etat, ils sont surveillés par les ingénieurs de ce service.

Le préambule de cet arrêté mentionne que l'arrêté royal du 14 avril 1825 dispose que « Les ingénieurs des mines seront chargés de l'examen des machines à vapeur placées dans les usines de leurs districts respectifs, pour autant que ces usines soient de la nature de celles désignées en l'article 73 de la loi du 21 avril 1810 ; en ce cas, ils remplaceront les experts mentionnés dans notre arrêté du 6 mai 1824 ».

C'est en vertu de ces dispositions que les ingénieurs du Corps des Mines ont, jusqu'en 1957, surveillé tous les appareils à vapeur des provinces de Hainaut, Namur, Luxembourg, Liège, et, depuis 1919, de Limbourg.

Les ingénieurs du Corps des Ponts et Chaussées, qui exerçaient cette mission dans les autres provinces, en ont été déchargés, à la demande de leur Administration, par l'arrêté ministériel du 8 octobre 1929, et remplacés, pour exercer cette surveillance, par les fonctionnaires du service de l'Inspection du Travail.

Quant au service des appareils à vapeur, comprenant l'étude de la réglementation et des dérogations, la présidence et le secrétariat de la Commission consultative permanente pour les appareils à vapeur, il faisait partie des attributions de la Direction générale des Mines.

Après la catastrophe minière de Marcinelle (8 août 1956), l'Administration des Mines se vit enlever, à son grand regret, quelques-unes de ses attributions traditionnelles ; c'est ainsi qu'aux termes de l'arrêté royal du 23 décembre 1957, le Service

des Appareils à Vapeur fait actuellement partie des attributions de la Direction générale de la Sécurité du Travail, tandis que la surveillance exercée par les ingénieurs des mines, en matière d'appareils à vapeur, est limitée à ceux qui sont installés dans les dépendances superficielles des mines, des minières, des carrières, dans les usines sidérurgiques et dans les cokeries.

Pour une chaudière neuve, cette surveillance comporte, outre la vérification de la spécification des matériaux, le calcul des épaisseurs de parois et de la surface de chauffe, l'obligation d'assister à l'épreuve hydraulique. On persiste en effet à considérer cette épreuve comme un élément important pour l'appréciation de la sécurité, alors que celle-ci résulte principalement du contrôle de la qualité des matériaux et de leur mise en œuvre correcte, opération dans laquelle le rôle de l'organisme visiteur est prépondérant, et que la tendance actuelle est de considérer l'épreuve hydraulique comme un essai d'étanchéité, à faire sous une pression ne dépassant que légèrement celle du timbre.

Pour les appareils en service, la surveillance consiste à s'assurer, par une visite des chaudières sous pression, du maintien en état de bon fonctionnement des appareils de sûreté, à veiller au renouvellement périodique des épreuves hydrauliques et des visites intérieures.

#### **LA COMMISSION CONSULTATIVE PERMANENTE POUR LES APPAREILS A VAPEUR**

Une première « Commission consultative pour la solution des questions se rattachant à la police des machines à vapeur » fut instituée près du Département des Travaux publics par l'arrêté ministériel du 31 décembre 1867.

Son utilité ayant été reconnue, l'arrêté royal du 17 novembre 1879 la reconstitue en lui donnant « le caractère et la stabilité d'une institution permanente ». Chargée de donner avis au Ministre sur les conditions d'octroi de dérogation aux prescriptions réglementaires et de préparer l'adaptation de celles-ci aux progrès des procédés de fabrication des matériaux et de construction des chaudières, elle comprend, outre des fonctionnaires du service des appareils à vapeur, des représentants de l'enseignement supérieur et des organismes de contrôle des chaudières, des constructeurs et des utilisateurs.

Les questions qui lui furent fréquemment soumises depuis une trentaine d'années concernent, d'une part, l'emploi de la soudure autogène pour l'assemblage des tôles des chaudières, d'autre part, la détermination de l'épaisseur des éléments de chaudière soumis en service à des températures élevées.

Le règlement du 28 mars 1919 admet la soudure de forge des tôles, et attribue à cet assemblage un coefficient de résistance relative de 0,7. La circulaire

ministérielle interprétative de ce règlement considère par contre la soudure autogène comme un vice de construction, pour le motif qu'elle n'offrait pas, à cette époque, de garanties suffisantes de sécurité.

Les progrès réalisés dans la technique de la soudure permirent de revenir sur cette condamnation, et en 1938, la Commission admettait l'assemblage par soudure autogène des tôles d'acier d'épaisseur modérée, pour la construction des récipients de vapeur, à condition que le procédé et les matériaux de soudure aient été déterminés par des essais préalable, et que leur efficacité ainsi que l'aptitude des soudeurs aient été vérifiées par des essais de traction et de pliage d'éprouvettes soudées.

Par la suite, s'inspirant des règles du code de l'American Society of Mechanical Engineers (ASME Boiler Code), la Commission admit l'assemblage par soudure autogène des tôles de chaudière, à condition que les joints soudés se révèlent en outre exempts de défauts notables à l'examen par radiographie complété éventuellement par un examen aux ultrasons et que l'appareil soudé soit soumis à un traitement thermique de détente à une température d'environ 625° C.

Pour les joints soudés contrôlés et traités de cette manière fut admis un coefficient de résistance relative de 0,9.

Enfin, pour les assemblages soudés de tôles très épaisses, constituant les parois de collecteurs de chaudières à haute pression, construits à l'étranger, la Commission préconisa de soumettre une éprouvette soudée de cette épaisseur à un essai de fatigue par traction, considéré comme satisfaisant si elle résistait à 2 millions de tractions sous une tension variant périodiquement de 1 à 19 kg/mm<sup>2</sup>. Après une vive opposition, les constructeurs étrangers qui ignoraient ce genre d'essais, finirent par en admettre l'utilité, lorsqu'ils reconnurent que cet essai permet de découvrir, dans la soudure, des défauts graves qu'aucune autre méthode de contrôle ne peut déceler.

Pour des joints soudés ayant satisfait à cet essai, est admis un coefficient de résistance relative égal à 1.

C'est en imposant les conditions définies ci-dessus qu'à été, depuis une trentaine d'années, autorisée par dérogations la construction soudée de milliers d'appareils à vapeur, dont aucun n'a donné lieu à accident dû à la rupture d'un assemblage soudé.

La même remarque peut être faite au sujet des réservoirs à air comprimé utilisés dans les mines, les minières et les carrières, et dont la construction doit répondre, en vertu de l'arrêté royal du 6 septembre 1919, aux règles applicables aux récipients de vapeur. Par contre, durant la même période, les réservoirs à air comprimé ou à vapeur non soumis à réglementation, ont donné lieu à de nombreux accidents mortels, et l'on peut affirmer qu'à cet égard les

petits réservoirs, souvent mal construits, ne sont pas les moins dangereux.

Les règles imposées pour le calcul des épaisseurs des parois des chaudières supposent qu'à la température de fonctionnement de celles-ci, le métal possède la même résistance qu'à la température ambiante.

Une circulaire ministérielle du 27 janvier 1932 fait observer que ces règles ne sont valables que jusqu'à une température de 250° C, au-delà de laquelle il convient de tenir compte de la perte de résistance que subit le métal aux températures plus élevées résultant de l'accroissement du timbre de certaines chaudières et du degré de surchauffe de la vapeur.

La sécurité exige qu'au cours du fonctionnement des appareils, la fatigue du métal reste toujours notablement inférieure à la limite élastique qu'il présente à la température à laquelle il sera porté.

Par suite du phénomène de fluage, la détermination de cette limite — pour autant qu'elle existe à la température considérée — exige des essais d'une certaine durée qui, à l'époque, avaient été entrepris par divers laboratoires étrangers.

La Commission consultative, chargée d'élaborer une règle pour le calcul des parois portées à des températures dépassant 250° C, retint, comme étant les plus dignes de confiance, les résultats des essais effectués au National Physical Laboratory, à Teddington, et les traduisit avec beaucoup de prudence en une formule, dite formule de Legein, permettant de déterminer le coefficient de réduction à appliquer à la résistance de rupture du métal à la température ambiante, pour évaluer cette résistance à une température donnée.

Cette formule, valable pour les aciers au carbone et pour des températures ne dépassant pas 460° C, a été modifiée par la suite, de manière à ne faire intervenir la perte de résistance du métal qu'à partir d'une température de 300° C (limite admise dans plusieurs pays voisins) et à tenir compte du fait que les tensions de travail qui en résultaient pouvaient sans inconvénient être quelque peu majorées.

Pour la construction d'appareils fonctionnant à des températures supérieures à 460° C, il est indispensable d'utiliser des aciers alliés. Les propriétés mécaniques à chaud de ceux-ci ne peuvent être définies par une formule générale, car elles sont fortement influencées par la composition du métal; de plus, leur évolution en fonction du temps ne répond généralement pas aux extrapolations que l'on pourrait faire sur la base d'essais de très courte durée. C'est pourquoi la seule méthode valable de calcul d'un élément en acier spécial, soumis à une température élevée, consiste actuellement à déterminer, par des essais directs d'une durée de 10.00 heures, la tension de traction qui, à la température considérée, produirait la rupture en 100.000 heures, pour en déduire, en la divisant par un coefficient de sécu-

rité convenable, au moins égal à 1,6, la tension maximum admissible en service.

\* \* \*

Les pages qui précèdent relatent, d'une manière sommaire, l'évolution de la réglementation des appareils à vapeur en Belgique, et mentionnent les règles particulières à l'exécution et au contrôle des assemblages soudés et au calcul des éléments de chaudières soumis à température élevée. L'application de l'ensemble de ces prescriptions, élaborées par la Commission consultative avec le concours éclairé des organismes de contrôle et de réception qui y sont représentés, assure aux utilisateurs un degré de sécurité qui ne paraît atteint dans aucun autre pays : le nombre d'accidents mortels, survenant en Belgique dans les installations de production ou d'uti-

lisation de la vapeur, est en moyenne inférieur à un par an, pour environ 12.000 chaudières en service ; en outre, aucun de ces accidents n'est, depuis une vingtaine d'années, attribuable à une défectuosité des matériaux ou de leurs assemblages.

Sur le plan international, l'I.S.O. poursuit l'élaboration d'un code unifié régissant la construction des chaudières. Certaines des propositions adoptées par cette Institution concernant le contrôle des caractéristiques mécaniques des matériaux et les coefficients de sécurité, présentent, par rapport aux prescriptions adoptées en Belgique, des allègements qui ne peuvent se justifier par des arguments de caractère technique, et qui ne pourraient être admis que dans l'hypothèse où des avantages économiques immédiats devraient être obtenus au détriment de la sécurité.

---