

Les Congrès des Associations

POUR LA

SURVEILLANCE DES APPAREILS A VAPEUR

DE BRUXELLES 1910

Résumé des communications intéressant la sécurité

PAR

JOSEPH LIBERT,

Inspecteur Général des Mines, à Liège

ET

ALEXANDRE DELMER

Ingénieur des Mines, à Bruxelles

En 1910, pendant la durée de l'Exposition universelle et internationale, Bruxelles a été le lieu de réunion de deux importants Congrès d'Associations pour la surveillance des appareils à vapeur. Du 16 au 18 juin, s'y est tenu le 34^{me} Congrès des Ingénieurs en chef des Associations de propriétaires d'appareils à vapeur (France) et du 15 au 17 septembre, la 40^{me} réunion des délégués et Ingénieurs de l'Union Internationale des Associations pour la surveillance des chaudières à vapeur (*Internationale Verband der Dampfkessel-Überwachungs-Verein*).

Ayant été invités à assister aux séances de ce dernier Congrès, comme représentant la Commission consultative permanente pour les appareils à vapeur, nous avons cru utile de résumer quelques unes des intéressantes communications qui y ont été faites sur des questions relatives à la sécurité et d'en porter les conclusions à la connaissance d'un plus grand nombre de constructeurs et d'industriels de notre pays. Il en est de même pour les travaux du Congrès prémentionné également des Ingénieurs en chef des Associations des

propriétaires des appareils à vapeur. Nous commencerons par ceux-ci.

Tout d'abord, MM. OLRV et BONET se sont occupés des prescriptions à imposer ou à recommander pour éviter les défauts qui sont sujets à se produire dans la construction des chaudières à vapeur.

Nature des tôles. — En ce qui concerne la nature des tôles à mettre en œuvre, les auteurs n'admettent que l'acier fabriqué au four sur sole, acide ou basique, en exprimant toutefois une préférence en faveur de celui qui est obtenu sur sole basique au moyen de fontes hématites, mais cette préférence ne va pas jusqu'au rejet de l'emploi des fontes Thomas, parce qu'il est possible d'obtenir avec elles, au moyen d'un bon traitement sur sole basique, des tôles convenables pour chaudières, surtout si l'on sait opérer leur déphosphoration en même temps que leur décarburation.

Les lingots destinés à la fabrication des tôles n'étant pas, dans la pratique, fabriqués sous pression, ni même coulés avec masselottes, il convient d'en abattre la tête dans laquelle on constate une fragilité particulière et anormale; le poids du métal ainsi enlevé doit être de 30 à 35 % du poids total primitif.

Têtes ou bouchons des bouilleurs, réchauffeurs et dômes. — Les auteurs signalent qu'ils ont observé de nombreux accidents survenus à des têtes ou bouchons en fonte de bouilleurs, de réchauffeurs et de dômes, surtout quand on avait fait venir de coulée et que l'on avait ensuite broché les trous destinés à en permettre le rivetage; qu'ils se montrent actuellement plus sévères, à l'égard de ces bouchons, que le sont actuellement les règlements en vigueur en Allemagne, en Autriche, en Belgique, etc., qui ne les interdisent que dans des cas déterminés. Ils stipulent, en ce qui les concerne, l'emploi exclusif de l'acier coulé; de plus, ils formulent l'obligation de les recuire après fonderie et de percer leurs trous de rivets au foret.

Ils préfèrent les bouchons en acier moulé à ceux en tôle emboutie, car on peut aisément leur donner les profils les plus variés, des épaisseurs différentes en divers points, et faire venir avec eux, sans avoir recours à des assemblages par soudures et rivures, toutes les tubulures dont il peut être utile de les munir; enfin, leurs épaisseurs moyennes, beaucoup plus fortes que celles de la tôle emboutie, conviennent mieux pour l'établissement des joints étanches au contact de leurs tampons de fermeture; ces tampons doivent aussi être en acier moulé et autoclaves.

Piètements divers, valves de prise de vapeur. — Les auteurs rejettent également l'usage de la fonte pour ces organes, lesquels doivent être fabriqués en acier moulé et recuits après fonderie; les trous des rivets doivent être percés au foret et non venus de coulée.

Les mêmes rapporteurs ont présenté en outre une notice sur l'état particulier de l'acier extra-doux à certaines températures, sur la fragilité et la fissilité, sur la comparaison des essais à la traction et au choc.

De l'exemple des expériences faites par ces auteurs, il résulte d'abord une démonstration de la fragilité de l'acier extra-doux à la température du *bleu*, et d'une fragilité encore plus grande de ce métal lorsqu'ayant été chauffé au *bleu*, on ne le laisse refroidir qu'après l'avoir écrioui par l'effet d'un violent martelage. D'autre part, ces expériences démontrent aussi que la fragilité au *bleu* n'empêche pas le métal de se déformer assez fortement avant de se rompre.

Les auteurs examinent ensuite la question de fragilité et de fissilité des métaux. Ils adoptent la définition ci-après de M. BARBA pour la fragilité :

« La *fragilité* d'un métal peut se définir, dans le langage » vulgaire : la facilité avec laquelle ce métal se brise sous un faible » travail de l'effort destructeur, quand celui-ci est le résultat d'un » choc. »

Ils rappellent, parmi les différentes définitions de la fissilité, celle de M. CONSIDÈRE ainsi conçue : « la *fissilité* est la facilité avec » laquelle se propage toute fente amorcée d'une manière quel- » conque ».

De leurs expériences, les auteurs concluent à l'inexistence d'une relation étroite entre la fragilité et la fissilité du métal. Selon eux, la fragilité est une propriété dont les conséquences se manifestent sous l'action de *chocs*, tandis que la fissilité produit ses effets, sous l'influence d'*efforts statiques* souvent renouvelés.

En suite d'autres expériences effectuées par MM. OLRV et BONET, ceux-ci ont été amenés à conclure que si, souvent, il n'y a pas de corrélation bien nette entre la résistance d'un métal aux efforts dynamiques et sa résistance aux efforts statiques, c'est-à-dire entre les résultats des essais à la traction et ceux des essais au choc, il y a du moins des cas où cette condition existe au plus haut degré, et à ce point que les seuls essais à la traction ne laisseraient aucun doute sur la fragilité du métal. Mais il est juste de dire qu'il peut être impraticable d'avoir recours à ces derniers essais pour mettre cette

fragilité en évidence; par exemple celle qui résulte du martelage au *bleu* lors de la fabrication des chaudières n'existe parfois que sur des surfaces trop peu étendues pour que des éprouvettes à la traction de 0^m20 de longueur utile, et même beaucoup moins, puissent être utilement découpées dans la tôle pour les révéler. tandis qu'elle sera plus aisément accusée au moyen de petites éprouvettes au choc.

Les mêmes auteurs ont démontré que le recuit fait disparaître la fragilité de l'acier extra doux martelé au *bleu*.

Nous analyserons ensuite une note rédigée par M. DESJUZEUR, Ingénieur Directeur de l'Association lyonnaise, intitulée : *Essai sur l'érouissage dû au poinçonnage*.

Cet Ingénieur conclut qu'il résulte de ses essais, qu'un alésage de 2 millimètres seulement sur le diamètre du trou poinçonné suffit pour enlever la zone altérée par le poinçonnage. Le recuit semble également suffisant pour rendre au métal poinçonné toute sa ductilité. Le poinçonnage produirait donc un érouissage énergique plutôt que des amorces de criques, car ces dernières n'auraient pas disparu par le recuit. Mais le recuit, bien que plus rapide et probablement moins coûteux que l'alésage, aurait l'inconvénient de déformer la tôle, surtout si elle est mince, et d'accentuer la discordance des trous poinçonnés des viroles assemblées. En outre, le recuit n'enlève pas la bavure de poinçonnage qui empêche le bon contact des tôles à river. Enfin, en cas de réparation, il y aurait moins de risques de faire casser les tôles en chassant les rivets, si ceux-ci ont été placés dans des trous alésés.

L'auteur estime donc que l'alésage est préférable à tous points de vue. Il ajoute qu'un alésage de 2 millimètres sur le diamètre, suffisant, d'après ses essais, pour faire disparaître l'érouissage du métal, serait insuffisant dès qu'il s'agit de deux tôles superposées, à cause de la non-concordance possible des trous poinçonnés. Il estime qu'en pratique, il est prudent d'exiger, dans tous les cas, un alésage d'au moins 4 millimètres sur le diamètre des trous poinçonnés et même de 6 millimètres pour tenir compte d'une discordance plus grande des trous. Il rappelle que le *Bureau Veritas* recommande d'une façon générale, le forage des trous de rivets, et prescrit, dans le cas de trous poinçonnés, ou bien le recuit des tôles, ou bien un alésage de 5 millimètres sur le diamètre.

Le même Ingénieur a, en outre, rédigé la note que nous analysons ci-après sur un sujet présentant le plus grand intérêt d'actualité; elle est intitulée : *Essais sur les soudures autogènes*.

On a cherché, depuis quelques années, à effectuer des réparations de chaudières, surtout de chaudières neuves, à l'aide de la soudure autogène. Une des conditions essentielles pour obtenir une bonne soudure, est de disposer d'un personnel de toute confiance, car rien à l'extérieur ne permet de se rendre compte de la soudure et il est impossible de vérifier le travail une fois fait. Dans des cas assez fréquents, il est bien difficile par suite de la position que doit prendre l'ouvrier, même le meilleur, que l'on puisse faire une bonne soudure. L'épaisseur des tôles à souder est aussi une question controversée et on a souvent soutenu l'opinion qu'avec des épaisseurs supérieures à 10 ou 12 millimètres, il était impossible de garantir une soudure parfaite reliant les tôles sur toute l'épaisseur. Dans le cas de tôles épaisses, il est donc prudent de souder des deux côtés.

Une autre condition importante est la bonne disposition des chalumeaux destinés à chauffer au *blanc* les lèvres de la soudure et à fondre le fer qu'on fait couler entre ces lèvres. Il est indispensable de pouvoir régler, d'une façon absolument sûre, les proportions relatives du gaz combustible (hydrogène ou acétylène) et de l'oxygène comburant. Il faut, en effet, éviter l'oxydation des parties chauffées par un excès d'oxygène, et aussi la réduction ou la recarburation trop énergique du métal par un excès d'hydrogène ou d'acétylène.

Cette question du réglage de la flamme constitue certainement une des difficultés de l'opération et demande beaucoup d'attention de la part de l'ouvrier. Il existe, du reste, actuellement, des types de chalumeaux très bien étudiés et construits, permettant un réglage précis, et combinés, bien entendu, pour éviter tout retour de flamme risquant de provoquer des explosions. Il est nécessaire, de plus, d'apporter la plus grande attention à la pureté des produits employés pour effectuer la soudure. Les baguettes de fer destinées au remplissage par fusion doivent être de toute première qualité, exemptes de soufre, de phosphore, d'arsenic, de cuivre. Les gaz alimentant le chalumeau doivent aussi être épurés, afin de ne pas dénaturer le métal. En particulier, si l'acétylène employé contient une proportion notable d'hydrogène phosphoré, il se produit une réintégration du phosphore dans le métal, ce qui augmente beaucoup la fragilité éventuelle de la soudure.

On ne peut comparer les soudures *martelées* aux soudures dites *autogènes*. Pour les premières, il est prudent de compter sur une diminution de 20 % de la résistance à la traction quand même la soudure a lieu par recouvrement. On a entrepris des essais métho-

diques sur des parties soudées, et comme la question présente un grand intérêt, l'Union Internationale des Associations pour la surveillance des chaudières avait demandé aux diverses associations d'envoyer des échantillons de soudures autogènes faites sur place comme réparations de chaudières. Les échantillons ont été essayés par M. le Professeur von BACH, directeur du laboratoire royal de Stuttgart. Des résultats des essais de traction effectués, il résulte que si les résistances à la rupture ont peu diminué par rapport à celles que présentent les tôles saines, les allongements à l'endroit de la soudure sont, en général, réduits à des valeurs extrêmement faibles. Cette diminution de ductilité du métal sur la soudure est, du reste, confirmée par les essais de pliage et par les essais de flexion au choc. Presque toutes les éprouvettes de flexion ont criqué ou se sont rompues sous des angles inférieurs à 90°.

Les essais dont il s'agit concernent des réparations ou du moins des soudures plus ou moins imparfaites.

L'auteur a cherché à se rendre compte des résultats que fournirait une soudure faite dans les meilleures conditions possibles, c'est-à-dire à l'atelier même, avec tous les soins nécessaires et par des ouvriers parfaitement exercés. Il s'est adressé à la *Société de l'Acétylène dissous*, à Marseille, qui a fait préparer deux échantillons identiques de soudure à l'acétylène. L'un des échantillons a été adressé au professeur von BACH et l'autre au laboratoire de la Compagnie des Aciéries et Forges de Firminy. On a pris, pour ces essais, 2 tôles d'acier extra-doux de 15 millimètres d'épaisseur et de 1 m. \times 0^m70, dans chacune desquelles on a découpé au centre un rectangle de 500^m/_m \times 400^m/_m. Puis, on a soudé à la place de ce rectangle, une pièce d'acier extra-doux. On avait ainsi une longueur de soudure suffisante pour pouvoir prélever des éprouvettes en travers et en long de la soudure, ainsi qu'en pleine tôle comme comparaison. Le travail de soudure, très soigné, a été fait des deux côtés des tôles, de sorte que la partie soudée était de 3 millimètres plus épaisse que les tôles primitives.

L'examen des résultats obtenus aux essais de traction montre qu'une soudure bien faite ne crée pas un point faible au point de vue de la résistance à un effort statique. Pour les éprouvettes essayées telles quelles, c'est-à-dire avec la surépaisseur provenant de la soudure, un certain nombre (10 sur 14) ont cassé en dehors de la soudure. Par contre, toutes les éprouvettes rabotées pour enlever la surépaisseur et avoir des barreaux prismatiques, ont cassé sur la

soudure. Les charges de rupture, dans tous les cas, sont à peine inférieures à celles trouvées pour les tôles primitives, mais les allongements sont très notablement réduits. Pour les éprouvettes telles quelles, la diminution moyenne a été trouvée de 39 à 47 % et de 67 % pour les barreaux rabotés.

Les essais de traction effectués à la température de 200° démontrent aussi que les allongements diminuent encore à cette température. Il serait donc imprudent de compter sur une amélioration de la ductilité du métal par le fonctionnement même de la chaudière, les tôles étant chauffées à une température moyenne de 180 à 200°.

Aux essais de pliage, les criques ne se sont produites qu'après une déformation assez notable. Les criques avaient leur origine sur des parties où la soudure présentait un peu d'oxyde interposé.

Les essais au choc sur des lames rectangulaires ou sur des barreaux entaillés indiquent nettement que la soudure crée un point de moindre résistance au choc.

La composition chimique a subi, du fait de la soudure, des variations assez importantes. Au voisinage de la soudure, il s'est produit un véritable affinage, abaissant de moitié les teneurs en carbone, manganèse et soufre; la teneur en silicium n'a pas changé; par contre, il y a eu une augmentation très marquée de la teneur en phosphore. Cette augmentation du phosphore peut être due à la qualité du fer rapporté, mais elle doit, plus probablement, être attribuée à la présence d'hydrogène phosphoré dans l'acétylène employé pour la soudure. La forte proportion de phosphore dans la partie soudée peut être dangereuse au point de vue de la résistance mécanique et peut expliquer, dans une certaine mesure, les résultats défectueux des essais au choc.

L'étude microscopique de la soudure a montré que la liaison entre les deux pièces était très bonne, les deux textures se fondant à peu près l'une dans l'autre; on n'a trouvé que très peu de scories ou d'oxydes interposés. L'examen microscopique de la soudure, après attaque à l'acide, a fourni des résultats analogues.

L'auteur conclut de ses essais qu'il est peu prudent de réparer par soudure des pièces travaillant à la flexion ou soumises à des efforts considérables de traction, à cause des allongements de traction et angle de flexion insuffisants trouvés dans les essais de soudures non martelées ni recuites. En outre, l'opération même de la soudure, par chauffage tout à fait local des lèvres de la soudure, risque de provoquer dans la tôle, au voisinage de la partie soudée, des tensions

moléculaires dangereuses pour l'avenir. Le fer fondu rapporté dans la rainure peut cristalliser d'une façon grossière. Tous ces inconvénients peuvent être beaucoup diminués si l'on prend la précaution de recuire la soudure une fois faite. Le martelage de la soudure doit évidemment améliorer aussi très notablement les qualités de résistance de la partie soudée.

Aussi, l'auteur croit-il indispensable, pour toute réparation un peu délicate par soudure, de soumettre la partie soudée à un bon martelage au rouge, aussitôt le fer coulé dans la rainure, puis, après refroidissement, de donner à la soudure un recuit au moins local.

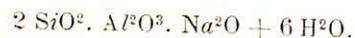
En résumé, l'auteur estime qu'il faut apporter la plus grande prudence dans la question des réparations de chaudières par soudure, sans méconnaître l'intérêt que présente ce procédé dans beaucoup de circonstances. Chaque cas est à étudier, en particulier, mais il ne faudrait pas que l'avantage économique résultant de la soudure risquât de faire négliger la sécurité. Toutefois, la réparation par soudure est tout à fait admissible à condition qu'elle soit bien faite, pour toutes les petites réparations locales à des endroits accessibles, pour boucher des corrosions, ou pour souder des parties où il ne s'agit pas de résistance au pliage ou au choc.

M. ARCHAMBAULT DE VENÇAY a fait une communication sur le sens d'ouverture des valves, vannes, robinets de vapeur.

En France, l'usage ne s'est pas établi, comme dans certains pays étrangers, de construire les valves ou vannes de vapeur ou d'alimentation avec manœuvre d'ouverture et de fermeture toujours dans le même sens. A la suite d'un accident survenu pour avoir méconnu cette règle, l'auteur estime qu'il serait désirable d'obtenir des constructeurs qu'ils se préoccupassent des dangers que peut faire courir le défaut d'uniformité de la manœuvre des valves et vannes et qu'ils modifiassent en conséquence leur construction. Presque partout, on réalise l'ouverture en tournant les volants dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre; on pourrait s'y tenir.

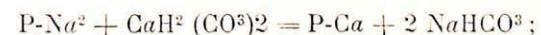
M. KAMMERER, Ingénieur en chef de l'Association alsacienne, à Mulhouse, a présenté au Congrès une notice sur l'emploi de la permutite pour l'épuration de l'eau d'alimentation des chaudières à vapeur.

On a donné le nom de *permutites* à des silico-aluminates; la plus couramment employée répond à la formule :



Elle se présente sous la forme de grains foliacés, assez poreux à l'état sec pour absorber 50 % d'eau; il convient de la conserver à l'état humide.

Lorsque l'on met de la permutite de sodium (que, pour plus de commodité, l'auteur désigne par P-Na²) en contact avec des eaux contenant des bicarbonates et des sulfates de chaux et de magnésie, il se produit un échange de bases : chaux et magnésie et la soude de la permutite, de telle façon qu'il se forme des bicarbonates et des sulfates de sodium, d'une part, et de la permutite de calcium et de magnésium, d'autre part. Cet échange a lieu suivant les formules ci-après :



et d'une façon analogue pour la magnésie.

Si le contact est assez prolongé et la quantité de permutite suffisante, l'échange ci-dessus se fait complètement, même à froid, c'est-à-dire jusqu'à élimination complète des sels de chaux et de magnésie. Cette opération se fait par simple filtration de l'eau au travers d'une couche de permutite.

Les filtres employés à cet effet se composent de cylindres verticaux, dans lesquels on dispose, entre deux grilles en tôle perforée, la couche filtrante de permutite, qui est traversée de haut en bas par l'eau à épurer.

L'épuisement de la permutite, c'est-à-dire la cessation du pouvoir d'échange, ne se produit que lorsque le radical sodium est presque complètement remplacé par le calcium et le magnésium, ce qui arrivera d'autant plus vite que l'eau à épurer sera plus dure. C'est alors qu'intervient la précieuse propriété de ce corps de se prêter à un échange inverse, c'est-à-dire à une régénération. Pour retirer à la permutite le calcium et le magnésium qu'elle a absorbés et les remplacer par du sodium, il suffit de la traiter par du chlorure de sodium. On obtient la réaction suivante :



Toutefois, l'affinité qu'a la permutite pour le sodium est de beaucoup moindre que celle qu'elle montre pour le calcium et le magnésium dont elle est avide, et par conséquent cette dernière réaction, celle de la régénération, n'a lieu qu'en vertu de l'action de masse. Il

faudra donc employer beaucoup (3 à 4 fois) plus de chlorure de sodium que ne l'indique la formule.

L'opération est activée et facilitée en portant la solution saline à la température d'environ 50°. La régénération peut être obtenue en quelques heures; on introduit la solution saline chaude dans le bas du filtre et on la fait monter lentement dans la couche de permutite, pour déplacer peu à peu l'eau qui s'y trouve, puis, on laisse macérer la permutite dans cette solution pendant 4 à 5 heures et on rince le filtre autant que possible avec de l'eau épurée.

Toutes les matières en suspension d'origine minérale ou organique, tels que les oxydes de fer, l'huile, etc., diminuent le pouvoir d'échange et l'activité de la permutite, en obstruant les pores microscopiques par lesquels la matière agit. Il est donc indispensable de faire subir à l'eau à traiter, si elle n'est pas tout à fait limpide, une filtration préalable, au besoin après adjonction de sulfate d'alumine.

Il ne faut pas oublier que, comme avec le procédé calco-sodique, les sulfates alcalino-terreux sont remplacés intégralement par du sulfate de soude et que, de plus, les bicarbonates de chaux et de magnésie sont remplacés par du bicarbonate de soude, ce qui n'a pas lieu avec le procédé calco-sodique, où le bicarbonate de chaux est éliminé et précipité sous forme de carbonate et la majeure partie du bicarbonate de magnésie sous forme d'hydrate de magnésie insoluble. Les purges et les vidanges fréquentes seront donc aussi indispensables qu'avec les autres modes d'épuration.

Quand la teneur en bicarbonates est notable, on les précipitera au préalable par la chaux et on n'emploiera la permutite que pour compléter l'épuration.

Il résulte de ce qui précède, selon l'auteur, que le procédé d'épuration par la permutite est intéressant, parce qu'il permet d'obtenir, par simple filtration, une eau absolument pure, lorsque la dureté de l'eau est constituée principalement par des sulfates. Ce procédé peut encore être intéressant pour des eaux bicarbonatées, si on le fait précéder d'une précipitation des bicarbonates par la chaux ou pour des eaux quelconques, dans des cas spéciaux, comme complément d'une épuration à la chaux et à la soude qui serait reconnue comme insuffisante.

Après la régénération de la permutite, il faut, pour éviter l'introduction de chlorure de sodium dans la chaudière, s'assurer de sa disparition complète au moyen de nitrate d'argent.

Nous extrayons des communications faites au Congrès de l'Union internationale des Associations pour la surveillance des chaudières à vapeur les notes ci-après :

M. KRAUS, de Vienne, a lu un rapport sur le taux de la pression d'épreuve des chaudières que nous résumons très brièvement.

Dans tous les pays, les chaudières à vapeur doivent être soumises, avant leur mise en usage, à un essai à la presse hydraulique et le caractère de généralité de cette prescription est une présomption en faveur de son efficacité. Si l'on est d'accord sur la nécessité de cet essai préalable, on ne l'est toutefois pas sur le taux de la pression de l'épreuve.

Depuis un certain nombre d'années, les spécialistes sont d'accord sur l'inutilité des très hautes pressions d'épreuve et les prescriptions réglementaires qui s'adaptent, avec un certain retard, aux idées courantes, révèlent cette tendance.

On s'explique facilement la raison de l'abaissement de la pression d'épreuve. Autrefois, on ne connaissait guère les méthodes d'essais des matériaux employés dans la construction des chaudières et la sidérurgie ne livrait pas de produits comparables à ceux qu'elle produit aujourd'hui. Il fallait dès lors construire des chaudières dont la résistance fût disproportionnée à la pression du timbre et cette grande résistance était vérifiée en faisant subir à la chaudière une pression double et même triple de la pression de régime. Mais actuellement, on connaît, par les essais, les propriétés des matériaux employés; on possède ainsi les bases d'un calcul rationnel de la résistance. Il n'est, dès lors, plus nécessaire de prévoir, pour les chaudières, une solidité exagérée et une grande surcharge d'épreuve n'a plus raison d'être.

Autrefois, l'épreuve suppléait à des calculs que l'on ne pouvait établir; actuellement, elle permet la vérification de certaines hypothèses faites dans la détermination des éléments des chaudières. On distingue parfois les épreuves suivant les qualités à vérifier qui sont, soit l'étanchéité, soit la résistance à la rupture. Comme le procédé est le même dans les deux cas, en pratique, on ne fait pas de distinction. L'épreuve d'étanchéité, qui n'exige pas une très haute pression, n'a de raison d'être que comme une conséquence de l'épreuve de résistance.

La résistance d'une chaudière est du reste bien plus importante, au point de vue de la sécurité, que l'étanchéité; celle-ci peut d'ailleurs facilement être constatée par une visite.

Une épreuve à la presse qui n'a déterminé aucune déformation permanente, ni causé aucune fuite importante, prouve que la chaudière a pu résister à la pression et on peut en déduire, avec assez de certitude, que les éléments du générateur pourront résister, dans l'avenir, à des tensions qui ne seront pas supérieures à celle subie pendant l'épreuve; mais l'épreuve qui a réussi ne permet aucunement de déterminer la résistance de l'appareil; on peut seulement en conclure que la résistance-limite n'a pas été atteinte. De plus, la pression à l'eau est de nature à augmenter les défauts d'une chaudière. On conçoit donc le discrédit des épreuves à la presse dans certains milieux.

En 1902, MM. OLRV et BONNET, au Congrès des Ingénieurs en chef de France, faisaient observer que si l'épreuve à la presse était réellement efficace, on devrait constater peu d'explosions de chaudières nouvellement éprouvées. Or, la statistique prouve le contraire. Ces Ingénieurs concluaient que si l'épreuve permettait parfois de découvrir des défauts aux chaudières, parfois aussi elle créait un danger en aggravant des défauts cachés. Quoi qu'il en soit, on reste convaincu de la grande valeur des épreuves à l'eau, surtout lorsqu'elles sont suivies d'une visite minutieuse. Des exemples montrent combien il faut examiner, avec soin, les phénomènes qui se passent pendant l'épreuve.

On appelle coefficient de sécurité, le rapport qui existe entre la résistance à la rupture et la tension éprouvée par le métal dans les conditions normales de marche de la chaudière. Cette définition n'est pas exacte; c'est plutôt le rapport entre la limite d'élasticité et la tension normale qui exprime la mesure de la sécurité. Soit, pour le métal *chaud*, S_w la tension à la limite d'élasticité de l'élément de moindre résistance et p_w la tension supportée à la pression de régime, le quotient $\frac{S_w}{p_w}$ est le véritable coefficient de sécurité.

Soit p la tension subie par le métal lorsque la chaudière est éprouvée à l'eau froide, à la pression de régime. La pression d'épreuve sera $P = \frac{S_w}{p_w} p$. Le rapport $\frac{S_w}{p_w}$ est une constante que l'on pourrait se donner pour le calcul de la construction.

Ainsi donc, la pression d'épreuve doit être proportionnée à la pression de régime. Si la pression d'épreuve était égale au produit du coefficient de sécurité par la pression de régime, la limite d'élasticité ne pourrait pas être atteinte; car à égalité de pression, la fatigue

du métal exposé au feu ou soumis à la pression de la vapeur est plus grande que pendant une épreuve à l'eau froide. La pression d'épreuve est $P = \alpha S$ où α représente un coefficient inférieur à l'unité et S la limite d'élasticité à froid. Il faut rechercher les rapports entre S_w et S et entre p_w et p .

Les expériences du professeur VON BACH ont prouvé que, lorsque la température s'élève, la limite d'élasticité s'abaisse toujours, tandis que la charge de rupture s'élève ou s'abaisse. Ainsi pour des tôles à feu, à 20°, le rapport entre la charge de rupture et la limite d'élasticité variait entre 71 et 88 %; à 200°, la limite d'élasticité était comprise entre 66 et 78 % de la charge de rupture à froid; à 300°, ce rapport n'était plus que de 39 %. Pour des tôles qui ne sont pas disposées à être exposées au feu, les rapports précédents étaient respectivement compris entre 62 à 90 %, 55 à 74 % et 48 à 56 %.

On peut calculer S_w en partant de la charge de rupture à froid et en se servant du coefficient le plus défavorable qui est à 300° de 39 %; pour p_w on prendra 25 % de la charge de rupture à froid également.

Le rapport $\frac{S_w}{p_w}$ devient égal à 1.56. Il résulte de là que, lorsque la pression d'épreuve reste en dessous de 1.56 fois la pression de marche, l'essai n'a plus de signification et que, lorsqu'on dépasse cette pression, on peut mettre hors service une chaudière qui aurait résisté à l'usage.

L'éventualité d'une détérioration de la chaudière par l'épreuve doit être envisagée; mais, du moment que l'on reconnaît la nécessité de l'essai, il faut que la pression soit suffisante pour que l'épreuve, coûteuse pour le constructeur et pour le propriétaire, et dangereuse pour la chaudière, ait une signification.

La question des *soudures faites électriquement* a été traitée par M. EGGERS, de Gladbach. Cet Ingénieur signale qu'une importante réparation, effectuée en 1908, à un tube-foyer, par soudure électrique, a parfaitement réussi. Selon lui, le procédé électrique est surtout avantageux pour les petites réparations et pour le soudage des cercles de renfort des tubes-foyers.

La soudure électrique a soulevé des objections. Des ingénieurs craignent les effets d'un manque d'eau, par exemple, sur des tôles soudées. D'autres font observer qu'à Hambourg, dans la province rhénane et en Westphalie, on effectue, depuis cinq et même dix ans, des réparations, très délicates parfois, par ce procédé, et qu'on n'a jamais constaté de résultats défavorables.

Le procédé électrique affecte moins le métal au voisinage de la soudure que le procédé à l'acétylène ou à l'hydrogène; car l'action est bien plus limitée. La soudure électrique a rendu de grands services en prolongeant la durée de nombreuses chaudières qui commençaient à présenter des fentes. Toutefois le procédé électrique ne peut être employé que par des constructeurs spéciaux bien outillés et offre, à ce point de vue, plus de garantie que le procédé à l'acétylène qui est à la portée du premier chaudronnier venu.

M. SCHMID, de Ruhrort, a fait une communication sur les procédés d'amélioration de la coulée des lingots d'acier.

Le fer présentait très fréquemment l'inconvénient résultant de l'existence de soufflures. L'examen le plus attentif fait par des ouvriers d'élite, ne suffisait pas pour écarter les tôles défectueuses dont l'emploi pouvait être dangereux.

Lorsqu'on commença à mettre en œuvre le métal fondu, ou acier, on crut avoir écarté le défaut des soufflures; effectivement, ce défaut n'existait pas ou bien était devenu invisible. Il se formait bien, dans la partie supérieure du lingot, des cavités dues à l'occlusion des gaz, mais il suffisait d'enlever la partie supérieure du lingot pour obtenir des tôles parfaitement saines.

Lorsque les dimensions des lingots vinrent à augmenter, on constata qu'il se formait une cavité qui affectait parfois la moitié supérieure du lingot et même une partie plus grande encore. Le retrait dû au refroidissement et la mise en liberté des gaz occlus sont les causes de ce phénomène. Le laminage fait disparaître la cavité, mais les parois ne sont pas bien soudées et les tôles peuvent présenter de grands dangers quand on les emploie dans la construction des chaudières à vapeur.

Pour éviter ce défaut, on peut enlever la partie supérieure du lingot, mais on serait amené parfois à retrancher 30 à 40 % et même davantage du métal.

En chauffant les lingotières, en retardant le refroidissement de la partie supérieure en coulant de la scorie très chaude au-dessus du lingot, ou bien en additionnant des alliages de manganèse, de silicium et d'aluminium, on diminue le défaut des soufflures.

Un procédé exclusivement mécanique, consiste à comprimer le métal lorsqu'il est encore en fusion. Le procédé le plus ancien est celui de « Withworth ». Il consistait à comprimer de haut en bas le métal contenu dans la lingotière. Dans le procédé employé à

Saint-Etienne, la pression s'exerce à la partie inférieure du lingot. Dans une installation plus récente, la pression s'exerce dans les deux sens. Une presse hydraulique peut développer un effort de 310 tonnes. Les avantages de ce procédé sont les suivants: amélioration des parois du lingot, disparition des crevasses qui, partant de la surface, altèrent la partie inférieure, suppression des soufflures, de la porosité, des tensions intérieures, des grandes fentes intérieures et réduction du déchet (4 % au lieu de 30 à 40 %).

Le coût du procédé est d'environ 10 francs par tonne. Le travail peut s'effectuer assez rapidement; le prix de l'installation est de 450,000 francs environ pour une presse ordinaire.

On compte actuellement (1910), 39 installations en activité, 4 en construction et 9 en projet, total 52, dont 13 en Angleterre, 15 en Allemagne, 18 en France, 1 en Autriche et 5 en Russie.

MM. OLRY et BONET ont représenté au Congrès allemand le rapport qu'ils avaient rédigé pour le Congrès français, et que nous avons analysé précédemment, sur les prescriptions à imposer ou à recommander pour éviter les défauts qui sont sujets à se produire dans la construction des chaudières à vapeur.