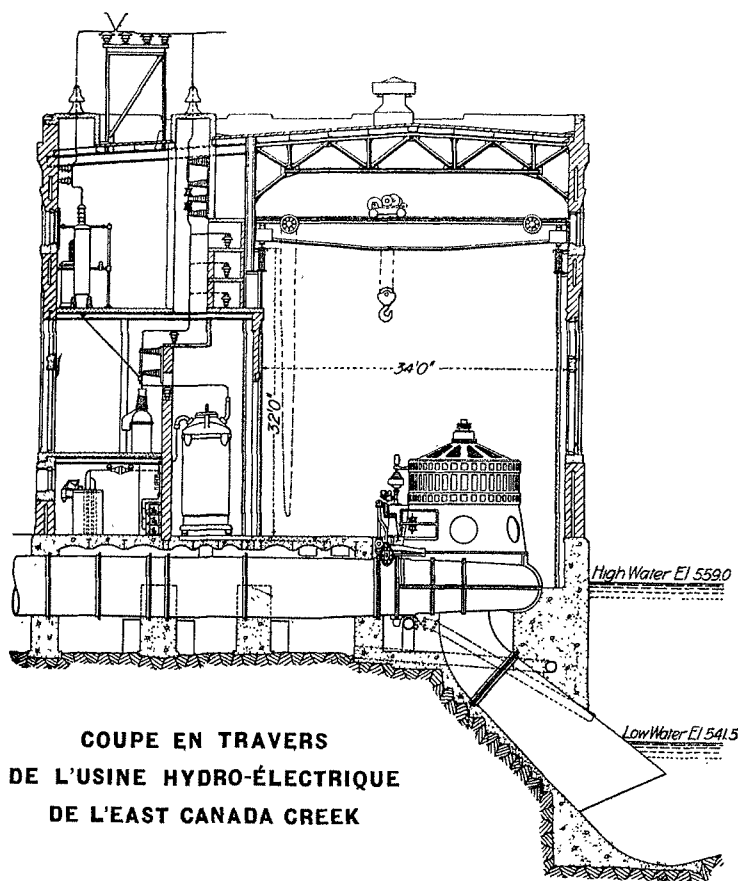


12,7 millimètres d'épaisseur, et son diamètre intérieur est de  $2^m743$ . Elle est supportée par des piliers en béton, puis recouverte de terre. Une couche de peinture de minium et de plombagine la préserve contre la rouille. De plus, pour la raidir, on l'a munie de cornières circulaires, de  $127 \times 89 \times 9,5$  millimètres, disposées tous les  $3^m66$ .

A 127 mètres du barrage, on a disposé une cheminée d'équilibre, de  $6^m10$  de diamètre et de 23 mètres de hauteur. Cette cheminée doit surtout servir à diminuer l'intensité des coups de bélier négatifs, car tout déversement y est impossible en cas de coup de bélier proprement dit, le sommet de la cheminée étant à  $6^m10$  au-dessus de la crête du barrage.

A son extrémité amont, la conduite débouche dans une chambre à deux compartiments, munis chacun d'une grille et d'une vanne. En tête de la conduite se trouve une vanne d'arrêt, puis, immédiatement à l'aval, un reniflard. A son arrivée à l'usine, la conduite se subdivise en deux tronçons,



munis chacun d'une vanne à papillon, et alimentant une turbine. Deux joints de dilatation ont été installés, l'un en avant, et l'autre en aval de la cheminée d'équilibre.

Ultérieurement, on doit placer une seconde conduite, de  $1^m981$  de diamètre.

*Usine.* — L'usine est construite en briques, avec piliers en acier. A l'heure actuelle, elle mesure en plan  $23^m50$  de long sur 17 mètres de large, et contient 2 groupes électrogènes à axe vertical de 4 000 HP, avec leur appareillage. Ultérieurement, elle sera agrandie pour recevoir un troisième groupe.

Les turbines sont du type Francis à aspiration, à hûche spiraloïde en fonte. La couronne distributrice est composée de vanettes mobiles en acier forgé, et la roue mobile est en bronze, de  $1^m22$  de diamètre. La puissance normale est de 4 000 HP, et la hauteur de chute est comprise entre  $33^m75$  et 36 mètres suivant l'état de la rivière. La vitesse de rotation est de 300 tours par minute. Le réglage de la vitesse est

obtenu au moyen d'un régulateur à servo-moteur à huile sous pression.

Ces turbines ont été fournies par la *Pelton Water Wheel Company*, qui a garanti un rendement maximum de 84 %.

Chaque turbine est directement accouplée à un alternateur de 2 800 KVA, produisant du courant triphasé à 2 800 volts et 25 périodes par seconde.

Deux transformateurs à bain d'huile, et refroidissement par circulation d'eau, élèvent la tension de 2 300 à 30 000 volts. Ils ont été prévus pour pouvoir élever ultérieurement cette tension à 60 000 volts.

Le courant d'excitation est fourni par deux dynamos à courant continu, de 125 kilowatts, dont l'une est actionnée par une turbine horizontale Francis de 200 HP, qui reçoit l'eau par une dérivation faite sur le tuyau de l'une des grosses turbines verticales, et dont l'autre est actionnée par un moteur d'induction de 200 chevaux.

Tout le matériel électrique a été fourni par la *General Electric Company*.

De l'usine génératrice part une ligne à 30 000 volts (plus tard à 60 000), aboutissant à la station de Tribes Hill. Cette ligne, qui a 50 kilomètres de longueur, est supportée par des poteaux métalliques qui ont 18 mètres de hauteur et sont espacés en moyenne de 167 mètres.

Une ligne à 16 000 volts relie cette usine hydro-électrique avec l'ancienne usine d'aval. Elle fut établie en premier lieu, de manière à permettre l'alimentation en énergie électrique des chantiers de construction du barrage, de la conduite et de l'usine, soit pour l'éclairage, soit pour la force motrice.

Comme cette ancienne usine hydro-électrique d'aval produit du courant à 60 cycles, on a installé un changeur de fréquence de 500 kilowatts, permettant de passer de la fréquence 62 à la fréquence 25, ou inversement. On a prévu la place nécessaire pour un second appareil de même puissance.

J. C.

## RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX

### TRAITEMENT PRÉALABLE DES TOLES AVANT LEUR EMPLOI EN CHAUDRONNERIE

La question du meilleur métal à employer pour la construction des chaudières et des conduites forcées pour usines hydro-électriques, afin d'éviter les fissures ou avaries diverses, se présente actuellement encore dans les mêmes conditions que depuis un certain nombre d'années.

Les fournisseurs de tôles dégagent leur responsabilité en disant qu'ils livrent un métal excellent puisqu'il résiste victorieusement à tous les essais imposés par les cahiers des charges rigoureux qui ont été établis par l'accord des Associations de surveillance des chaudières. Si donc il survient des avaries en service ou pendant la construction, ce n'est pas la qualité du métal qu'il faut incriminer, mais bien de mauvais procédés de travail dans les ateliers de chaudronnerie.

A ces arguments des métallurgistes, les constructeurs peuvent répondre, avec quelque raison, qu'ils demandent avant tout un métal moins délicat à traiter, et capable de bien résister au travail forcé un peu brutal de la chaudronnerie, et aussi aux exigences de service des chaudières.

Il semblerait que, plus on multiplie les méthodes d'essais et les exigences des cahiers des charges, moins on est assuré contre des cassures subites et parfois inexplicables.

Le travail de chaudronnerie était cependant bien plus brutal autrefois qu'actuellement : on prenait beaucoup moins de précautions pour le poinçonnage des trous, les chaudes partielles et les martelages à température probablement critique étaient d'un usage à peu près général, de sorte qu'il paraît étonnant que les anciennes chaudières aient pu résister. On en trouve cependant un grand nombre qui, malgré un âge respectable, sont encore en très bon état.

Nos collègues Olry et Bonet, de l'Association des propriétaires d'appareils à vapeur du Nord de la France, dans leur étude si intéressante sur les dangers que présente le martelage des tôles à une température critique, voisine du bleu, ont constaté que l'acier, et aussi le fer, devenaient extrêmement fragiles après un travail exécuté dans ces mauvaises conditions. C'est dans le forgeage à température critique, sans recuit subséquent, qu'il faut chercher l'explication de beaucoup d'avaries constatées dans les tôles d'acier, fentes ou fissures aux collerettes ou aux cuissards de communications, ou même fentes en pleine tôle amorcées sur des congés mal forgés.

Malheureusement, au moins dans l'état actuel de la construction, il nous paraît difficile d'éviter absolument tout travail de forge à température risquant de devenir critique. Malgré les interdictions de principe, on voit encore bien souvent, en pratique courante, effectuer des chaudes partielles pour faire coller les pièces, par exemple, ou pour certaines réparations sur place.

Le recuit total après le travail de chaudronnerie ne semble pas très praticable ordinairement.

Nous avons pensé qu'il était peut-être possible de rendre les tôles d'acier moins sensibles aux irrégularités du travail ou du service, et par conséquent moins disposées à la fragilité, en leur faisant subir des traitements thermiques appropriés, *préventifs* pour ainsi dire.

En ce qui concerne ces traitements préventifs, l'expérience métallurgique nous a tout d'abord amené à penser à la trempe. On sait, en effet, que les aciers durs, une fois trempés, ne sont pas du tout fragiles à la température du bleu. La fabrication des lames de ressorts pour wagons de chemins de fer donne un exemple frappant de la non-fragilité du métal trempé pendant et après le martelage vers la température du bleu. Les lames de ressorts préparées sont cintrées au rouge cerise, puis trempées immédiatement à l'eau froide. On les recuit ensuite modérément, généralement au bois glissant, vers 350 ou 400°, soit entre le bleu et le gris, suivant la dureté de l'acier. Pendant que les lames sont à cette température, on les ajuste, c'est-à-dire qu'avec un lourd marteau, on corrige les déformations que ces lames ont pu prendre à la trempe. On est donc bien là dans les conditions du martelage énergique à la température critique ou aux environs de cette température. Or, bien loin de devenir fragiles par ce traitement, les lames de ressorts prennent au contraire une structure à nerf et deviennent pour ainsi dire incassables. Une lame d'acier dur ainsi traitée et entaillée à la tranche plie ordinairement sur l'entaille comme un morceau de bois fibreux.

Un autre exemple des bons effets de la trempe sur la texture des aciers est fourni par les arbres de transmission, en particulier ceux des navires. Dans ce cas, où il s'agit d'acier relativement doux, on a constaté, en pratique, que les arbres trempés résistaient beaucoup mieux en service

que les arbres non trempés. Pour une série de navires, ayant fourni une campagne maritime très dure, l'examen au retour a permis de vérifier que tous les arbres non trempés présentaient des fissures plus ou moins sérieuses, tandis que les arbres trempés n'en avaient aucune.

### Essais de fragilité des aciers extra-doux

Mais ces exemples concernent des aciers durs ou moyennement carburés. La trempe produit-elle les mêmes effets sur les aciers extra-doux tels que ceux employés pour la construction des chaudières ou des conduites forcées ?

C'est pour tâcher d'élucider cette question que nous avons entrepris une étude afin de chercher à nous rendre compte, par toutes les méthodes actuelles d'essais, de l'influence de l'érouissage au bleu et de l'influence des traitements thermiques, trempe et recuit, sur le métal soit naturel, soit écroui.

Notre étude est incomplète, car nous aurions voulu, ce qui n'a pas été possible, essayer des aciers de composition chimique plus variée et, en particulier, des aciers plus phosphoreux que ceux dont nous disposions.

On pourrait aussi essayer d'autres traitements thermiques, mais nous n'avons pas voulu trop compliquer notre étude, ni chercher autre chose que ce qui peut se faire couramment.

Toutes les bandes de tôles pour essais ont été découpées dans le sens du laminage, et sur la chute bas des tôles.

Nous avons fait subir à ces bandes 8 traitements thermiques différents, et chaque bande a été soumise ensuite soit aux essais actuellement réglementaires, soit aux essais qui nous paraissent avoir le plus de chances de devenir prochainement réglementaires, c'est-à-dire : essais T à la traction, essais R de pliage au choc, essais C de rupture au choc sur barreaux entaillés, essais B de résistance à la bille de Brinell, examens micrographiques, et enfin essais M au choc sur éprouvettes entaillées latéralement (type des chemins de fer P.-L.-M.). Ces derniers essais M avaient pour but de relier notre étude avec les essais de fragilité au bleu communiqués par MM. Olry et Bonet à notre congrès de 1904, essais qui n'avaient porté que sur ce type d'éprouvettes soumises au choc d'un mouton.

Nous avons désigné par des chiffres, placés à droite des lettres distinguant les tôles, les différents traitements thermiques subis par les bandes.

La série 1 a été traitée comme les tôles ordinaires, c'est-à-dire que les bandes ont été simplement recuites à 900°.

La série 2, après recuit à 900°, a été fortement écrouie au bleu.

La série 3, après recuit à 900° et érouissage au bleu, a été recuite à 650°.

La série 4, ainsi que les suivantes, n'a pas été recuite à 900°, mais, à partir de cette série, toutes les bandes ont été trempées à 900° dans de l'eau à 15°. Les essais de la série 4 ont été faits après cette trempe.

La série 5, après trempe à l'eau, a été écrouie au bleu.

La série 6, après trempe à l'eau, a été recuite à 650°.

La série 7, après trempe à l'eau et recuit à 650°, a été écrouie au bleu.

Enfin la série 8, après trempe à l'eau, recuit à 650°, et érouissage au bleu, a été de nouveau recuite à 650°.

Notre étude a porté d'abord sur une tôle de fabrication tout à fait courante, prise au hasard dans un lot que nous avions à réceptionner dans les conditions ordinaires.

L'analyse chimique de cette tôle a donné :

C=0,110, Si=0,032, Mn=0,643, S=0,051, Ph=0,030

C'est bien la normale des tôles d'acier extra-doux fabriquées dans notre région, sauf que la teneur en soufre est un peu supérieure à celle trouvée ordinairement.

Les essais se rapportant à cette tôle sont indiqués par la lettre N avec, à droite, les chiffres 1, 2, etc., correspondant à la série, c'est-à-dire au traitement thermique subi.

Puis nous avons comparé cette tôle avec une autre toute différente, ayant comme composition chimique :

C=0,125, Si=0,024, Mn=0,386, S=0,025  
Ph=0,013, Cu=0,040; As=0,051

Les teneurs en soufre et surtout en phosphore de cette dernière tôle sont très faibles et nous les considérons même comme un peu exceptionnelles en fabrication courante, mais il nous a paru intéressant de comparer les résultats d'essais de cette tôle avec ceux de la tôle N et de la tôle suivante.

Les essais se rapportant à cette tôle sont désignés par la lettre D suivie des chiffres correspondant aux traitements subis. Par suite d'erreur sur les dimensions de la tôle, nous n'avons pu faire que les 7 premières séries de traitements.

Enfin, nous avons choisi une troisième tôle, à plus fortes teneurs en phosphore et en soufre, pour laquelle l'analyse chimique a donné :

C=0,091, Si=0,040, Mn=0,582, S=0,069,  
Ph=0,063, Cu=0,060, As=0,054

Cette tôle, en acier Martin qualité constructions, n'était pas destinée à la fabrication des chaudières.

Nous n'avons pas recommencé sur cette dernière tôle la série complète des 8 traitements : nous avons fait seulement les 4 séries 2, 3, 5, 7, pour constater les effets de l'érouissage sans trempe ou après trempe et du recuit.

Les essais se rapportant à cette tôle sont désignés par la lettre P suivie des chiffres 2, 3, 5, 7, indiquant le traitement subi.

Nous croyons devoir donner quelques renseignements sur la façon dont nous avons opéré pour les traitements thermiques ou mécaniques ainsi que sur les méthodes d'essais employées.

Nous avons fait tout ce travail aux usines de la Compagnie des Forges et Aciéries de la Marine et d'Homécourt, à Saint-Chamond, avec la collaboration la plus empressée et la plus consciencieuse de M. Chalon, ingénieur du service des essais, que nous tenons à remercier ici tout spécialement de son précieux concours.

*Recuits à 900°.* — C'est le recuit ordinaire donné dans notre région aux tôles pour chaudières, avant la présentation en recette. Les bandes des séries 1, 2, 3 ont été recuites ensemble dans un four régulièrement maintenu à 900°. Les températures ont été mesurées au moyen d'un calorimètre de Siemens, à graduation appropriée, dans lequel on introduit un cylindre en fer chauffé dans le four. Les bandes, maintenues pendant dix minutes à la température de 900°, ont été ensuite retirées du four et refroidies à l'air.

*Trempe à 900°.* — Chauffées à 900° en même temps que les précédentes, les bandes des séries 4, 5, 6, 7, 8 ont été trempées immédiatement dans l'eau à 15°.

*Recuits à 650°.* — Les bandes des séries 3, 6, 7, 8 ont subi un recuit à 650° dans un four dont la température était mesurée au calorimètre Siemens. Ces bandes, maintenues pendant quinze minutes à la température de 650°, ont été ensuite retirées du four et refroidies à l'air.

Nous avons choisi la température de recuit au-dessous du point de transformation qui, pour ces aciers, est d'environ 750°, afin que les effets du recuit et de la transformation ne se superposent pas, et aussi pour étudier l'influence seule du recuit.

*Érouissage au bleu.* — Nous avons cherché à nous rapprocher des conditions de la pratique, c'est-à-dire à rendre ce travail d'érouissage aussi énergique et aussi brutal que possible.

A ce point de vue, notre étude n'est donc pas comparable à celle de nos collègues Olry et Bonet, qui chauffent de petites éprouvettes toutes préparées dans un tube en fer formant moufle, et les laissent ensuite refroidir jusqu'à ce que la température du bleu se manifeste nettement. A ce moment, MM. Olry et Bonet exercent sur les éprouvettes un érouissage par actions locales, soit en leur faisant subir en leur milieu un choc de mouton relativement peu intense, soit plutôt en les plaçant à plat sur une enclume et en les frappant ensuite en plusieurs points avec la queue ou la pointe d'un marteau.

Nos collègues Olry et Bonet estiment en effet que, pour que la fragilité au bleu soit fixée par le martelage, il faut que la région envisagée ait subi des effets variables dans ses divers points. D'après eux, si l'effet est général et s'étend à toute la superficie de l'éprouvette considérée, il n'y a plus, ou presque plus, de fragilité permanente.

Nous avons procédé d'une façon différente, qui nous a paru plus analogue à un travail de chaudronnerie mal exécuté, mais qui ne présente certainement pas les conditions de précision dans lesquelles se placent MM. Olry et Bonet.

Les bandes des séries 2, 3, 5, 7, 8 ont été réchauffées l'une après l'autre sur une tôle rougie, jusqu'à ce que la teinte bleu indigo apparaisse nettement sur les extrémités polies. A ce moment, on a cintré chacune des bandes de façon à lui faire prendre une flèche d'environ 100 millimètres. Deux ouvriers procédaient à cette opération, l'un indiquait en frappant avec un petit marteau l'endroit où l'autre frappait ensuite avec un lourd marteau pour déformer la bande. Ce cintrage a été fait en 2 chaudes au bleu. Puis en une troisième chaude, également au bleu, on a redressé les bandes au marteau ; le martelage a été très énergique, les coups étaient fortement marqués sur la surface des bandes. Nous avons constaté, en repérant les bandes 7 et 8 auxquelles on avait donné une flèche un peu forte, 120 millimètres au lieu de 100, que ces tôles avaient conservé à froid, après redressement, un allongement permanent de 12 millimètres sur une longueur primitive de 570 millimètres, soit un peu plus de 2 pour 100.

*Essais.* — Pour les essais, toutes les éprouvettes ont été prises en long, c'est-à-dire dans le sens du laminage.

*Essais T à la traction.* — Les essais à la traction ont été faits à froid sur une machine tarée d'après celle du Conservatoire des Arts et Métiers de Paris.

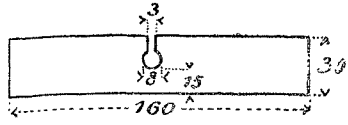
Nous avons indiqué, dans les tableaux d'essais, la limite élastique, la charge de rupture, l'allongement  $A$  en pour cent <sup>(1)</sup> et aussi l'allongement  $Q$  de striction, donné par la relation entre la section primitive  $S$  de l'éprouvette et la section  $s$  de rupture.

$$Q = 100 \frac{S - s}{s}$$

(1) La longueur  $L$  des éprouvettes étant déterminée par la formule :  
 $L = \sqrt{667,67 S}$

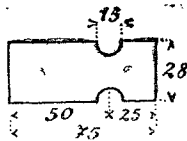
Cet allongement de striction est important à considérer au point de vue de la plus ou moins grande fragilité au choc et à la flexion.

**Essais C sur barreaux entaillés.** — Ces essais ont été faits avec un pendule Charpy, dont les caractéristiques sont : poids du mouton 67 kg. 700, rayon du pendule 3<sup>m</sup>645, écartement des deux appuis 122 millimètres. Les barreaux, de 30 mm. de largeur sur 10 d'épaisseur, avaient 160 mm. de longueur, et étaient percés, à 15 mm. du bord, d'un trou de 8 mm. de diamètre, avec une fente de 3 millimètres.



Ces barreaux, un peu minces, donnent, pour cette raison, des résiliences un peu trop élevées d'une façon absolue, mais les résultats restent parfaitement comparables entre eux.

**Essais R de pliage au choc.** — L'appareil employé pour ces essais est un mouton guidé, du poids de 10 kilogrammes, tombant d'une hauteur de 1<sup>m</sup>500. Les éprouvettes, entaillées latéralement, avaient les dimensions indiquées sur la figure ci-contre.

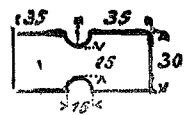


Pour l'essai, l'éprouvette est encastrée entre deux mordaches mobiles, qu'un système de vis de butée permet, après chaque coup de mouton, de déplacer de façon que l'éprouvette se présente horizontalement sous le mouton, malgré la flexion produite par le choc précédent. Les angles de flexion ont été mesurés, et l'essai de pliage arrêté lorsque le barreau était sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure. On a achevé à la presse hydraulique le pliage des barreaux non cassés au mouton.

Ces essais de pliage au choc diffèrent de ceux de nos collègues Olry et Bonet en ce que l'éprouvette est encastrée par l'une de ses extrémités, au lieu de reposer sur deux appuis et de recevoir en son milieu le choc du mouton.

**Essais M au choc.** — Sur éprouvettes type P.-J.-M. Ces essais ont été exécutés par M. Olry lui-même sur des éprouvettes découpées dans les bandes ayant servi à nos essais.

Les tableaux indiquent les poids respectifs des moutons employés, poids variant suivant l'épaisseur des éprouvettes. La hauteur de chute du mouton a été uniformément de 4 mètres pour toutes les éprouvettes dont la face allongée à l'écrouissage était placée en dessous, c'est-à-dire contre l'enclume. Ces éprouvettes avaient les dimensions indiquées sur la figure ci-contre.



Chaque série comportant deux éprouvettes, M. Olry a soumis celles portant le numéro 1 à l'épreuve normale, considérée par lui comme caractérisant les conditions exigibles pour la réception au point de vue des essais au choc. Puis, dans chaque série, les éprouvettes n° 2 ont été soumises à des essais à outrance.

L'épreuve normale a été faite avec un mouton de 8 kg. 500 pour les tôles minces, et avec un mouton de 11 kg. 500 pour les tôles plus épaisses, la hauteur de chute étant de 4 mètres dans les deux cas

Pour les essais à outrance, M. Olry a adopté, avec la chute de 4 mètres, le mouton de 10 kilogrammes dans le cas des tôles minces, et celui de 14 kilogrammes dans le cas des tôles épaisses.

**Essais de dureté à la bille Brinell.** — Ces essais ont été exécutés à titre de renseignement, au moyen d'un appareil suédois donnant, par une petite pompe à huile commandée

à la main, une pression de 3.000 kgs. La bille de 10 mm. de diamètre est en acier chromé trempé très dur. Le diamètre des empreintes a été mesuré au moyen d'un microscope qui donne des résultats exacts au 1/20 de millimètre.

Grâce à l'obligeance de M. Chalon, nous avons pu indiquer, à côté des chiffres des empreintes constatées, les résistances en kilogrammes par millimètre carré que donnerait un acier normal au carbone présentant les mêmes empreintes. Cette comparaison permet de se rendre mieux compte des anomalies de ces essais à la bille qu'avec le nombre de dureté  $N = \frac{3\ 000}{\text{surface de l'empreinte}}$

Les indications de la bille Brinell ont été fortement influencées par le durcissement superficiel dû à l'écrouissage et à la trempe. On pourrait, du reste, remonter du diamètre de l'empreinte au nombre  $N$  de dureté au moyen d'un tableau analogue au suivant :

Diamètre de l'empreinte :	4,90	5,00	5,10	5,20	5,30	5,40	6,0
Nombre $N$ pour 3.000 kgs.	149	143	137	131	126	116	95

**Essais micrographiques.** — Certaines lignes irrégulières dans la ferrite de la tôle N, provenant peut-être de l'écrouissage ou du laminage, visibles sur les n° 2 et 3, apparaissent moins dans le n° 5, et plus du tout sur les n° 7 et 8, ce qui montre nettement l'action de la trempe.

Sur des échantillons simplement polis, et non attaqués à l'acide picrique, on voit, pour la tôle D, des lignes de petites cavités, probablement des parties oxydées aplaties après le laminage, qui expliqueraient peut-être les décollements produits dans les éprouvettes essayées au pendule Charpy.

Nous avons résumé dans un tableau comparatif, en prenant les moyennes, les résultats obtenus pour chacun des traitements 1, 2, 3, etc., avec les tôles N, D et P (1).

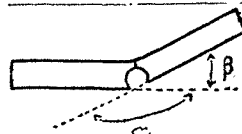
**CONCLUSIONS.** — L'examen du tableau résumant ces divers essais semble montrer que, dans les conditions où nous nous sommes placés, et avec la qualité du métal employé, il n'y a pas, à proprement parler, de fragilité dangereuse, même après écrouissage (séries 2 et 5).

Les allongements  $A$  à la traction sont fortement réduits par l'écrouissage (et aussi par la trempe). Mais pour toutes les séries, les allongements de strictions  $Q$  et les résiliences  $\rho$  gardent des valeurs suffisamment élevées. Les résiliences en particulier sont augmentées par la trempe et, dans tous les cas, restent au-dessus de 20 kilogrammes par centimètre carré, alors qu'on admet le plus souvent qu'avec 15 ou 17 kilogrammes de résilience un métal n'est pas fragile.

Le recuit final à 650° (séries 3 et 8) corrige grandement les effets de l'écrouissage et doit par conséquent être recommandé.

Mais en ce qui concerne les effets de la trempe, les résultats sont loin d'être aussi nets que nous l'avions pensé tout d'abord.

On peut cependant faire une comparaison intéressante entre les résultats d'essais des séries n° 3 et 7. La série n° 3 a subi un premier recuit à 900°, puis l'écrouissage au bleu, et enfin le recuit subséquent à 650°, tandis que la série n° 7 a été traitée *préventivement* par la trempe à 900° et le recuit à 650° avant d'être soumise à l'écrouissage, puis écrouie sans recuit subséquent. Or, aussi bien pour les tôles P que pour



(1) L'angle  $\beta$  donné dans les résultats d'essais au pendule Charpy est le supplément de l'angle que font entre elles, après le choc, les deux moitiés de la barrette essayée.

les tôles N et D, les résultats sont très peu différents dans ces deux séries.

Les séries n° 3 sont supérieures au point de vue de l'allongement A à la traction, mais les séries n° 7 donnent en moyenne plus de résilience et les allongements Q de striction, ainsi que les résultats d'essais au choc, sont à très peu près équivalents pour les deux séries.

De sorte que nos prévisions paraissent être justifiées dans une certaine mesure, en ce sens qu'une tôle trempée et recuite, puis écrouie au bleu, semble être à peu près dans les mêmes conditions qu'une tôle écrouie au bleu puis recuite pour atténuer les effets de l'écrouissage.

Il y a là une constatation pouvant avoir quelque utilité, car nous estimons moins difficile de tremper et recuire à l'avance les tôles que de recuire des pièces écrouies une fois terminées. Il faut tenir compte cependant des frais supplémentaires qu'occasionnerait la trempe des tôles et des déformations que ces tôles risqueraient de subir, déformations qui, à la vérité, disparaîtraient soit au recuit, soit au cintrage ou aux opérations de chaudronnerie.

Nous devons ajouter, et nous insistons particulièrement sur ce point, que les tôles faisant l'objet de ces essais étaient en acier très pur ou relativement pur, les teneurs en phosphores étant respectivement de 0,013 pour les tôles D, de 0,030 pour les tôles N et de 0,063 pour les tôles P avec des teneurs en soufre de 0,025 à 0,069. Nous sommes convaincu qu'avec des proportions plus fortes d'impuretés, et notamment de phosphore, la fragilité apparaîtrait infiniment plus nette.

Les résultats obtenus au choc par M. Olry, sur des éprouvettes découpées dans des bandes ayant servi à nos autres

essais, montrent également que ces bandes ne sont pas fragiles. Comme nous l'avons déjà indiqué, nous n'avons pas opéré l'écrouissage dans les mêmes conditions que MM. Olry et Bonet lors de leurs essais de 1904. Avec notre méthode, il n'est pas certain que toutes les parties des bandes d'essais aient bien été portées exactement au bleu, et que le travail mécanique ait été bien exactement aussi celui qui convenait pour déterminer la fragilité. Nous croyons cependant qu'en pratique l'écrouissage éventuellement donné aux viroles de chaudières se rapproche probablement beaucoup de celui que nous avons fait subir à nos bandes d'essais.

La non fragilité de ces bandes expliquerait peut-être pourquoi il ne se produit pas plus de cassures aux chaudières construites sans précautions spéciales de chaudronnerie, mais, bien entendu, avec de l'acier de composition convenable, et dans les conditions où nous avons opéré pour nos essais.

Les études générales sur la fragilité n'ont pas encore amené de conclusions formelles. Il y a lieu de faire une distinction entre la *fragilité* et la *fissilité*, c'est-à-dire la facilité plus ou moins grande que présente le métal au cheminement intérieur des fissures. Peut-être d'autres méthodes d'essais seront-elles nécessaires pour étudier cette fissilité, les petites éprouvettes employées ne donnant probablement pas les mêmes résultats que des pièces de plus grandes dimensions, ce qui a été constaté pour le pliage par exemple.

Enfin, des essais qui ont été communiqués par MM. Guillet et Revillon à la réunion du 28 novembre 1908 des membres français et belges de l'Association internationale pour l'essai des matériaux, il résulterait que, pour l'acier, la résistance minima au choc serait à 475°, c'est-à-dire au rouge naissant.

TABLEAU COMPARATIF

SÉRIES	TÔLES	ESSAIS A LA TRACTION				BILLE DRINELL		PENDULE CHARPY		PLIAGE AU CHOC		ESSAIS SUR ÉPROUVETTES P.-L.-M.
		Limite d'élasticité E	Charge de rupture R	Allongement % A	Allongement de striction Q	Diamètre de l'empreinte	Dureté correspondante	Résilience ρ	Angle β	Criqué après le coup	Etat final après essai à la presse	
1	N	30,6	38,6	30,80	195,5	5,47	41,85	29,51	41	> 6	fortet criqué à bloc	rien, 1 criqué
	D	26,1	37,3	37,50	223,5	5,95	34,70	36,61	43	> 6	fortet criqué à bloc	rien, 1 lég. criq.
2	N	40,4	45,1	10,50	164,0	4,92	52,80	23,17	34	4	rompu	rien
	D	30,0	38,9	22,00	188,0	5,57	40,60	33,00	38 1/4	4	fortet criqué à bloc	rien, 1 cassée
3	P	33,7	42,7	12,50	118,0	5,45	42,60	20,62	30 1/4	4	rompu	rien, 1 gercée
	N	35,8	39,6	20,80	210,0	5,40	43,30	29,11	39 1/4	5	très fortet criqué à bloc	rien
4	D	27,5	38,1	30,50	236,5	5,89	36,00	35,82	39 3/4	5 non criqué	fortet criqué à bloc	rien
	P	30,7	40,5	26,60	128,0	5,76	37,40	24,41	34 3/4	4 non criqué	très fortet criqué à bloc	rien
5	N	32,9	45,2	22,80	204,5	4,90	53,60	29,43	39 1/4	5	rompu à bloc	rien
	D	30,5	46,0	23,75	201,5	5,32	44,80	38,12	43 1/2	5	très fortet criqué à bloc	rien
6	N	39,7	46,2	11,95	168,5	4,97	51,70	29,63	40 3/4	4	rompu à bloc	rien
	D	38,0	50,1	18,50	166,5	5,12	48,50	34,42	39 3/4	4	très fortet criqué à bloc, rompu	rien
7	P	41,9	51,0	11,90	120,0	5,00	51,20	26,63	36 1/2	4	rompu à bloc	rien
	N	28,9	39,6	26,90	205,0	5,37	43,85	35,45	46 1/4	> 5	fortet criqué à bloc	rien
8	D	25,5	39,2	29,00	209,0	5,65	39,20	41,56	48 1/2	> 5	fortet criqué à bloc	rien
	N	37,1	42,9	14,85	173,5	4,95	52,25	28,10	39 1/4	5	fortet criqué à bloc	rien, 1 cassée
8	D	33,9	42,2	21,00	237,0	5,50	41,50	37,50	43 1/2	4 non criqué	fortet criqué à bloc	rien
	P	39,6	48,2	13,80	151,0	5,37	44,30	27,51	35 3/4	5	très fortet criqué, rompu	1 gerc., 1 cassée
8	N	35,5	43,2	22 45	198,5	5,20	47,00	30,18	41	> 6	non criqué à bloc	rien, 1 cassée

### L'écrouissage dû au poinçonnage

Le poinçonnage des trous de rivets, sans alésage consécutif pour enlever la zone de métal altérée par le passage du poinçon, est considérée depuis longtemps comme pouvant être une cause de fissures ou d'avaries ultérieures. En dehors même de la construction des chaudières à vapeur, la question des fentes pouvant être attribuées au poinçonnage des trous se pose également pour certaines constructions, comme celles des conduites d'eau sous pression.

Aussi tous nos cahiers des charges prescrivent-ils que les trous de rivets, s'ils sont poinçonnés et non forés, doivent subir un alésage, les deux tôles étant réunies, de façon à faire disparaître la zone altérée par le poinçonnage et à assurer la concordance exacte des trous. En même temps, l'alésage enlève la bavure produite par le poinçon, ce qui permet aux tôles de s'appliquer complètement l'une contre l'autre, et par suite donne une rivure plus résistante et plus étanche.

MM. Barba, Frémont, Baclé, Codron, Considère ont étudié avec beaucoup de soin les effets théoriques du poinçonnage, le cisaillement des fibres supérieures, et la rupture par traction des fibres intérieures et inférieures.

M. Barba a fait des expériences intéressantes pour déterminer l'étendue de la zone influencée par le poinçonnage. Il a réussi à découper autour d'un trou poinçonné une bague de métal ayant pour hauteur l'épaisseur de la tôle (8 et 12 millimètres) et pour épaisseur 1 demi-millimètre seulement. Cette bague très mince s'est criquée de suite dès qu'on a essayé de la plier. Au contraire, une bague de même épaisseur, mais prélevée autour d'un trou poinçonné, puis alésé de 2 millimètres sur le diamètre, s'est pliée à bloc sans criques, se comportant de la même façon qu'une bague prélevée autour d'un trou foré à la mèche.

Ces expériences très délicates, réussies par un habile opérateur, montrent qu'un alésage de 2 millimètres sur le diamètre (pour des épaisseurs de tôles de 8 à 12 millimètres) est suffisant pour enlever la zone altérée par le poinçonnage.

Nous avons cru intéressant de faire quelques essais dans des conditions différentes et se rapprochant plus de la pratique, afin de déterminer la largeur minima à enlever par alésage autour du trou poinçonné.

On peut se demander d'abord quels sont les effets réels du poinçonnage sur des tôles d'acier extra-doux. Se produit-il des amorces de criques par étirage et déchirement du métal ? Ou bien est-ce simplement un écrouissage, rendant le métal moins ductile autour du trou, sans que le poinçon détermine de fissures, même imperceptibles ?

Si l'on recuit la tôle après poinçonnage, ce recuit fera disparaître l'écrouissage, et les essais donneront de bons résultats. Mais si le passage du poinçon a occasionné des amorces de criques, le recuit ne les fera pas disparaître, il tendra au contraire à faire ouvrir ces fissures.

Nous avons donc cherché à nous rendre compte comparativement de l'influence du recuit et de celle de l'alésage, en enlevant des largeurs variables de métal autour des trous poinçonnés.

Prise d'une façon générale, la question serait extrêmement complexe, car l'étendue de la zone altérée doit varier avec l'épaisseur de la tôle, avec le diamètre du trou, et aussi avec les conditions de poinçonnage, c'est-à-dire la différence de diamètre de la matrice et du poinçon.

En fait, dans la construction des chaudières; les conditions sont plus simples. L'épaisseur des tôles peut bien varier de 8 à 28 millimètres, mais en pratique, on ne poinçonne

que les tôles dont l'épaisseur est inférieure à 17 ou 18 millimètres. Enfin, suivant l'état de l'outillage, la différence entre le diamètre de la matrice et celui du poinçon varie de 0 mm. 2 à 1 mm. 2.

Il est à remarquer que, lorsque la matrice a sensiblement le même diamètre que le poinçon, la débouchure produit, au moment où elle est expulsée, une compression énergique sur la partie inférieure du trou.

Au contraire, lorsqu'il y a un jeu un peu notable entre la matrice et le poinçon, la débouchure sort facilement, sans altérer le métal du trou.

Il semble donc préférable, comme le recommande M. Frémont, de poinçonner coniquement, contrairement à ce qui est généralement admis dans les ateliers, l'écrouissage étant plus fort avec un poinçon cylindrique et d'un diamètre peu différent de celui de la matrice.

C'est surtout pour les tôles un peu épaisses qu'il serait intéressant de déterminer d'une façon précise le diamètre d'alésage à imposer, car, pour ces tôles, on ne peut pas poinçonner des trous trop petits, ni par conséquent avoir beaucoup d'alésage consécutif. Ainsi, pour des tôles de 16 millimètres d'épaisseur, le diamètre fini des trous de rivets est habituellement de 22 millimètres. Si l'on veut avoir un alésage de 6 millimètres sur le diamètre, il faudra poinçonner les trous à 16 millimètres seulement, ce qui devient assez difficile à cause des risques de rupture du poinçon.

Au contraire, s'il s'agit d'une tôle mince, de 10 millimètres d'épaisseur, par exemple, avec rivets de 20 millimètres, on pourra facilement obtenir 6 millimètres d'alésage en poinçonnant les trous à 14 millimètres, diamètre bien suffisant pour la résistance du poinçon.

Pour déceler la perte de ductilité due au poinçonnage, les essais de traction ne nous paraissaient pas présenter d'intérêt dans ce cas particulier. Comme des expériences antérieures nous avaient fait constater que des tôles d'acier extra-doux, pliant à bloc dans les conditions ordinaires d'essais, criquaient franchement lorsqu'on les pliait sur des trous poinçonnés, nous avons adopté l'essai de pliage au choc sur barreaux entaillés latéralement, les entailles latérales étant constituées par les trous poinçonnés. Comme terme de comparaison, nous avons pris dans les mêmes tôles des éprouvettes identiques, mais dont les entailles latérales étaient constituées par des trous forés à la mèche, sans poinçonnage préalable.

Nos essais ont porté sur des tôles courantes d'acier extra-doux et nous en avons fait deux séries : l'une sur tôle mince de 10 millimètres, l'autre sur tôle de 15 millimètres d'épaisseur. Ces tôles avaient été recuites à 900° comme d'ordinaire, et refroidies à l'air. De plus, pour l'épaisseur de 10 millimètres, nous avons fait également des essais sur une tôle trempée à 900° et recuite à 690°, traitement préventif dont nous avons déjà essayé de déterminer l'influence, afin de voir si une trempe et un recuit préalables atténueraient les mauvais effets du poinçonnage. Enfin, pour étudier l'influence comparative du recuit et de l'alésage, nous avons essayé des éprouvettes poinçonnées puis recuites, sans aucun alésage.

*Essais sur tôle de 10 millimètres d'épaisseur.* — Cette tôle, prise dans le haut d'un lingot en acier Martin, avait donné aux essais de traction (en travers) :  $R = 41,1$  kilogrammes par millimètre carré ;  $A = 34,8$  %.

Dans cette tôle, on a foré à la mèche des trous de 16, 18, 20, 22, 24 et 26 millimètres de diamètre, de façon à préparer des éprou-

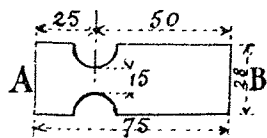


TABLEAU I. — Éprouvettes prises dans une tôle A de 10 m/m pour chaudière, recuite à l'ordinaire à 900°, avec refroidissement à l'air.

(Les deux barreaux C ont été en plus recuits à 780° après poinçonnage)

DIAMÈTRE DE L'ENTAILLE	SENS	SECTION UTILE	Crique après le coup		Essai arrêté après le coup	ANGLE du barreau après l'essai au choc		ÉTAT DU BARREAU APRES L'ESSAI AU CHOC	Angle $\alpha'$ après l'essai à la presse	OBSERVATIONS										
			N°	degrés		N°	degrés													
											$\alpha$	$\beta$								
16 m/m	non alésé	A 1	L	15,1 × 9,6	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	50	130	cassé 2 morceaux adhérents	50	presque cassé								
		A 2	L	15,3 × 9,6									4	52	128	61	—			
	foré	A 3	L	15,1 × 9,6									4	69	5	50	130	très légère crique	29	crique
		A 4	L	15,3 × 9,5																
18 m/m	alésé	A 5	L	14,9 × 9,6	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	5	53	127	—	34	—								
		A 6	L	14,9 × 9,6									4	69	111	34	—			
	foré	A 7	L	14,9 × 9,5									4	73	4	69	111	—	14	—
		A 8	L	15,1 × 9,5																
20 m/m	alésé	A 9	L	14,9 × 9,5	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	76	104	—	21	—								
		A 10	L	14,8 × 9,6									4	65	115	33	—			
	foré	A 11	L	15,2 × 9,6									4	71	4	71	109	—	8	—
		A 12	L	15,2 × 9,6																
22 m/m	alésé	A 13	L	14,9 × 9,6	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	74	106	—	11	—								
		A 14	L	15,1 × 9,6									4	76	104	37	—			
	foré	A 15	L	15,2 × 9,5									4	75	4	75	105	—	8	—
		A 16	L	14,8 × 9,5																
24 m/m	alésé	A 17	L	15,0 × 9,6	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	66	114	—	16	—								
		A 18	L	15,1 × 9,5									4	67	123	8	—			
	foré	A 19	L	15,0 × 9,5									4	63	4	63	117	—	8	—
		A 20	L	15,0 × 9,5																
26 m/m	alésé	A 21	L	14,8 × 9,5	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	70	110	—	0	non criqué								
		A 22	L	15,0 × 9,5									4	70	110	7	criqué			
	foré	A 23	L	14,8 × 9,5									4	66	4	66	114	—	0	non criqué
		A 24	L	15,4 × 9,5																
16 m/m	non alésé	AC1	L	15,2 × 9,5	4	64	4	—	—	—	44	criqué								
		AC2	L	15,1 × 9,6	4	68	4	—	—	—	48	—								

Essais au mouton de 10 kilos tombant de 1 m.500 sur des barreaux pris en porte à faux, le côté débouchure en dessus, c'est-à-dire les marques en dessous.  
(Conditions les plus difficiles pour le ployage.)



Ces 2 barreaux C ont été, après poinçonnage, recuits à 780 degrés.

TABLEAU II. — Eprouvettes prises dans une tôle B recuite, trempée à 900° à l'eau à 28°, recuite à 690° et usinée

Cette tôle B a été découpée dans la tôle A.

(Les deux barreaux C ont été en plus recuits, à 690° après poinçonnage).

DIAMÈTRE DE L'ENTAILLE	SENS	SECTION UTILE	Crique après le coup		Essai arrêté après le coup	ANGLE du barreau après l'essai au choc		ÉTAT DU BARREAU APRES L'ESSAI AU CHOC	Angle $\alpha'$ après l'essai à la presse	OBSERVATIONS										
			N°	degrés		N°	degrés													
											$\alpha$	$\beta$								
16 m/m	non alésé	B 1	L	15,1 × 9,4	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	66	114	cassé 2 morceaux adhérents	30	cassé morceaux adhérents								
		B 2	L	15,3 × 9,5									1	146	4	94	86	cassé		
	foré	B 3	L	14,9 × 9,5									4	72	4	72	108	—	0	gerçure
		B 4	L	15,0 × 9,5																
18 m/m	alésé	B 5	L	15,0 × 9,4	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	77	103	—	0	—								
		B 6	L	15,0 × 9,5									4	70	110	0	criqué			
	foré	B 7	L	15,0 × 9,5									4	73	4	73	107	—	0	—
		B 8	L	15,0 × 9,5																
20 m/m	alésé	B 9	L	15,1 × 9,5	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	77	103	—	0	gerçure								
		B 10	L	15,1 × 9,5									4	77	103	0	—			
	foré	B 11	L	14,9 × 9,5									4	80	4	80	100	très légères criques	0	gerçure
		B 12	L	15,0 × 9,5																
22 m/m	alésé	B 13	L	14,8 × 9,5	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	84	96	—	0	—								
		B 14	L	14,9 × 9,5									4	75	105	0	gerçure			
	foré	B 15	L	14,7 × 9,5									4	78	4	78	102	—	0	—
		B 16	L	15,1 × 9,5																
24 m/m	alésé	B 17	L	15,4 × 9,4	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	75	105	—	0	—								
		B 18	L	15,3 × 9,4									4	77	103	0	gerçure			
	foré	B 19	L	14,5 × 9,5									4	72	4	72	108	—	0	—
		B 20	L	15,5 × 9,5																
26 m/m	alésé	B 21	L	14,7 × 9,4	Crique à la 1 <sup>re</sup> crique.	L'essai au choc a été arrêté lorsque le barreau a été sur le point de toucher le flanc de la mordache inférieure de son étai.	4	71	109	—	0	—								
		B 22	L	14,9 × 9,5									4	70	110	0	—			
	foré	B 23	L	14,6 × 9,5									4	72	4	72	108	—	0	—
		B 24	L	15,1 × 9,4																
16 m/m	non alésé	BC1	L	15,0 × 9,5	4	72	4	—	—	—	15	criqué								
		BC2	L	15,0 × 9,5	4	68	4	—	—	—	16	—								

Essais au mouton de 10 kilos tombant de 1 m.500 sur des barreaux pris en porte à faux, le côté débouchure en dessus, c'est-à-dire les marques en dessous.  
(Conditions les plus difficiles pour le ployage.)



Ces 2 barreaux C ont été, après poinçonnage, recuits à 690 degrés.

vettes de la forme ci-contre, en conservant toujours, quels que soient les diamètres des trous, la largeur pleine de 15 millimètres entre les entailles latérales.

Puis, sur la même tôle, on a poinçonné des trous de 16 millimètres de diamètre et, sauf pour les éprouvettes 1 et 2 laissées telles quelles, on a alésé les autres trous à 18, 20, 22, 24 et 26 millimètres en laissant toujours 15 millimètres de métal entre les entailles latérales.

Il est à remarquer que le poinçonnage a été exécuté dans des conditions spéciales, avec un poinçon neuf de 16 mm. 2 de diamètre passant à travers une matrice de 16 mm. 3. On a eu ainsi le maximum d'écrouissage.

On a pris la précaution, pour le pliage, de placer en dessus le côté de la débouchure, condition la plus défavorable au pliage.

Toutes les éprouvettes ainsi préparées ont été essayées en les plaçant en porte à faux, l'extrémité A encastrée dans une mordache métallique, l'autre extrémité B recevant le choc d'un mouton de 10 kilogrammes tombant de 1<sup>m</sup>500. Un dispositif à vis permet, après chaque coup de mouton, de relever l'ensemble de la mordache et de l'éprouvette, de façon que l'extrémité B du barreau reçoive toujours normalement le choc du mouton, malgré le pliage subi. On arrête l'essai lorsque l'éprouvette est pliée de façon à ce que la partie B touche la mordache.

On notait l'angle de pliage à l'apparition de la première crique, puis on terminait le pliage à la presse.

Avec un poinçonnage très précis, comme celui qui a été fait, un alésage de 2 millimètres sur le diamètre a suffi pour réduire à presque rien l'écrouissage dû à ce poinçonnage.

Le recuit après poinçonnage a fait disparaître en grande partie cet écrouissage, mais moins cependant que l'alésage de 2 millimètres.

Les barreaux C, poinçonnés et recuits, ont pu être pliés de plus de 110° sans crique, tandis que les barreaux 1 et 2, non recuits après poinçonnage, se sont criqués après un pliage de 53 à 59°. Les éprouvettes avec trous poinçonnés se sont franchement rompues à l'essai de pliage au choc.

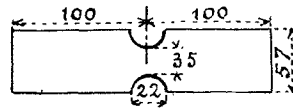
Quant à l'influence d'une trempe et d'un recuit préventifs (tableau II, tôle B), on voit que ce traitement facilite grandement le pliage, et permet de plier à bloc sans criques tous les barreaux B poinçonnés et alésés, beaucoup mieux que n'ont pu se plier les barreaux A. Mais la trempe et le recuit préalables n'ont pas suffi pour permettre le pliage sur les trous simplement poinçonnés. On ne peut donc pas substituer ce traitement à l'alésage.

*Essais sur tôle de 15 millimètres d'épaisseur.* — La tôle sur laquelle ont porté nos essais a donné à la traction (en travers) les résultats suivants :  $R=40,1$  kgs par millimètre carré ;  $A=34,4$  %.

Pour cette série d'essais, nous avons cherché à nous rapprocher, autant que possible, des conditions de la pratique. Nous avons effectué des poinçonnages moins précis que dans les essais précédents. La différence de diamètre entre la matrice et le poinçon a été de 1 millimètre pour tous les trous. Puis nous avons déterminé les diamètres des trous et leur distance en tenant compte des proportions usuelles en chaudronnerie. Le diamètre ordinaire des rivets étant de 22 millimètres, pour une épaisseur de tôle de 15 millimètres, nous avons donné ce diamètre de 22 aux entailles latérales de toutes nos éprouvettes, et nous avons pris comme largeur de ces éprouvettes 57 millimètres, écartement moyen habituel d'axe en axe des rivets.

Toutes les éprouvettes avaient donc les dimensions indiquées sur la figure ci-jointe. Elles ont été :

- les n<sup>os</sup> 1 et 2, poinçonnées à ..... 22 mm.
- 3 et 4, forées à la mèche à ..... 22 —
- 5 et 6, poinçonnées à 20, puis alésées à 22 —
- 7 et 8, — 18, — 22 —
- 9 et 10, — 16, — 22 —
- 11 et 12, — 22, puis recuites à 690°



Tous les barreaux d'essais ayant exactement mêmes formes et dimensions, les résultats sont tout à fait comparables.

L'appareil dont nous disposions pour les essais de flexion par choc n'a pu nous servir dans ce cas, car il ne comportait ni un mouton assez fort, ni une mordache convenable pour des éprouvettes aussi épaisses.

Nous avons donc fait nos essais de pliage à la presse, en commençant le pliage avec un coin présentant un arrondi de 10 millimètres de rayon, et en terminant l'opération par le courbage de l'éprouvette entre les deux plateaux de la presse.

Le tableau III indique les résultats des essais.

TABLEAU III. — Éprouvettes prises dans une tôle pour chaudière de 15 millimètres d'épaisseur.

N <sup>o</sup>	Angle de pliage à la 1 <sup>re</sup> crique est égale à	Angle de rupture $\beta'$	État des bords
1	107°	131°	poinçonnés à 22 mm sur matrice à 23
2	133°	147°	
3	180°	—	gerçures sur les bords non rompus
4	180°	—	
5	180°	—	poinçonnés à 20 sur matrice à 21,5 puis alésés à 22.
6	180°	—	
7	180°	—	poinçonnés à 18 sur matrice à 19 puis alésés à 22.
8	180°	—	
9	180°	—	poinçonnés à 16 sur matrice à 17 puis alésés à 22.
10	180°	—	
11	180°	—	poinçonnés à 22 sur matrice à 23 puis recuit à 690°
12	180°	—	

Les barreaux 1 et 2, simplement poinçonnés, se sont criqués après un pliage de 107 et 133° et se sont rompus à 131 et 147°.

Au contraire, les barreaux forés à la mèche, et ceux alésés, même de 2 millimètres seulement sur le diamètre, se sont pliés à bloc, avec seulement quelques gerçures sur les bords.

Le recuit a produit le même effet que l'alésage, les barreaux 11 et 12 n'ayant présenté, après pliage à bloc, qu'une légère crique au milieu, sans gerçures sur les bords.

**CONCLUSIONS.** — Il résulte de ces essais qu'un alésage de 2 millimètres seulement sur le diamètre d'un trou poinçonné suffit pour enlever la zone de métal altérée par le poinçonnage.

Le recuit semble également suffisant pour rendre au métal poinçonné toute sa ductilité.

Le poinçonnage produirait donc un écrouissage 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'accroître la dis-

cordance 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 les rivets ont été placés dans des trous alésés.

Nous croyons donc l'alésage préférable à tous points de vue. Mais l'alésage de 2 millimètres sur le diamètre, suffisant d'après nos 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. En supposant, ce qui est normal, que la divergence des trous soit de 1 millimètre, il faudra aléser de 4 millimètres sur le diamètre du trou de la tôle supérieure pour être sûr d'enlever au moins 1 millimètre sur le bord du trou excentré de la tôle inférieure.

Il est donc prudent, en pratique, 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.

Du reste, le bureau Véritas 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.

Comme complément à cette étude, nous croyons intéressant d'indiquer les résultats d'essais de mandrinage que nous avons eu l'occasion de faire tout récemment sur une tôle d'acier extra-doux provenant non pas d'une chaudière, mais d'une virole de conduite d'eau sous pression, virole rompue à la suite d'un accident à la conduite.

Nos essais nous ont fait constater que le métal était fragile et n'aurait pas été accepté d'après nos conditions de réception.

Mais, de plus, les trous de rivets de cette virole avaient été simplement poinçonnés, sans alésage ultérieur. Nous avons fait des essais de mandrinage de ces trous, en découpant des rondelles de 100 millimètres de diamètre autour des trous, et en agrandissant le trou central de chaque rondelle au moyen d'un mandrin dont les génératrices étaient inclinées de 1/200 sur l'axe, et qu'on enfonçait très progressivement à la presse hydraulique.

L'une des rondelles, découpée près d'une cassure de la tôle, avait un trou poinçonné de 22 mm. 5 de diamètre. Le mandrinage l'a fait casser net presque immédiatement, alors que le trou n'avait encore que 23 mm. 2 de diamètre. Une autre rondelle, prélevée au milieu de la tôle, avec un trou poinçonné de 20 millimètres; s'est cassée net lorsque, par le mandrinage, le diamètre du trou est arrivé à 30 millimètres.

Par contre, deux rondelles identiques, prises dans la même tôle, et dans lesquelles on avait foré des trous de 22 millimètres, ne se sont rompues que lorsque le diamètre des trous a été agrandi à 55 et 69 millimètres, soit après un mandrinage de 150 à 200 pour 100 et plus.

Ces derniers essais montrent bien l'avantage du forage sur le poinçonnage, même quand il s'agit de tôles fragiles.

DESJUZEUR,

Directeur de l'Association Lyonnaise des Propriétaires  
d'Appareils à vapeur

N. D. L. R. — Les lecteurs qui désireraient avoir le détail de tous les résultats des essais indiqués dans cet article, pourraient s'adresser à l'Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à vapeur; M. DESJUZEUR se fera un plaisir de le leur communiquer.

## TRAVAUX PUBLICS

### A PROPOS DE L'AMÉNAGEMENT DU RHONE

Dans nos précédents numéros, nous avons montré quels sont les efforts tentés pour rendre le Rhône industriel et navigable. Ces efforts déterminent en faveur de cette grande œuvre nationale un mouvement qui se propage.

M. Chalamel, député de l'Ardèche, a déposé un projet de loi relatif à l'aménagement du Rhône qui, au triple point de vue de la navigation, de la force motrice et de l'irrigation, est surtout en ce moment l'objet des préoccupations de tous ceux qui s'intéressent au développement économique de notre pays.

En ce qui concerne l'utilisation des eaux du fleuve pour l'irrigation, il semble que les pouvoirs publics se sont mis d'accord pour l'exécution d'un projet qui prélèverait un certain volume sur le débit du Rhône. Aussi, M. Chalamel n'envisage-t-il que le moyen d'aménager le Rhône pour la navigation et l'utilisation de la force motrice.

Voici ce projet de loi que M. Chalamel fait précéder d'un long exposé où sont développées les nombreuses questions qu'il soulève, et dont nous parlerons ultérieurement.

PROJET DE LOI : *Article premier.* — Est déclaré d'utilité publique, conformément aux dispositions générales des avants-projets primés par l'office des transports des Chambres de commerce du Sud-Est :

1° L'établissement à Lyon, sur la rive gauche du Rhône, d'un grand port avec barrage situé en aval du confluent de la Saône, canal de dérivation jusqu'à Ternay, usine hydro-électrique et canal de jonction avec le Haut-Rhône.

2° Du confluent de l'Isère, à Viviers (Ardèche), d'une série de dérivations éclusées.

3° De Viviers (Ardèche) à Mondragon (Vaucluse), d'un canal de dérivation du Rhône avec usine hydro-électrique.

*Article 2.* — L'exécution des travaux se fera par la voie de la concession dont une loi ultérieure spéciale déterminera les conditions.

Nombreux sont encore ceux qui pensent que l'économie de la voie navigable ne peut pas se soutenir devant l'outillage des compagnies de transports par voie ferrée, et qu'il est inutile d'affecter d'énormes capitaux à l'amélioration ou à la création de voies fluviales en France. Cette théorie condamnerait le projet d'aménagement du Rhône. Nous croyons donc du plus haut intérêt de mettre sous les yeux de nos lecteurs les lignes suivantes, émanant d'économistes et d'ingénieurs d'une compétence indiscutable; à notre avis, elles exposent des faits qu'il importe de largement divulguer. C'est la mise au point très nette de la vue qu'il faut que le monde du commerce et de l'industrie ait sur la création de nos grandes voies navigables.

### CHEMINS DE FER ET VOIES NAVIGABLES

Ce titre évoque immédiatement à l'esprit la discussion longue et approfondie, commencée depuis plusieurs années, sur la valeur économique et le mérite de chacune de ces voies de transport. L'origine du débat remonte à plus de quarante ans et les esprits les plus éclairés y ont pris part (1).

(1) Note extraite des *Annales des Travaux publics de Belgique*, avril 1912.