

APPLICATION DE FOYERS EN ACIER

AUX LOCOMOTIVES DU RESEAU D'ORLÉANS

Par M. Paul CONTE,

INGÉNIEUR DES CONSTRUCTIONS NAVALES,
INGÉNIEUR EN CHEF ADJOINT DE L'OFFICE CENTRAL D'ÉTUDES DE MATÉRIEL DE CHEMINS DE FER.

On peut dire d'une manière générale que les foyers des chaudières de locomotives sont confectionnés en acier aux Etats-Unis alors que presque partout ailleurs et particulièrement en Europe ils sont en cuivre. Il y a là une divergence frappante, qu'on ne s'explique pas au premier abord. On ne peut en effet invoquer pour l'usage prépondérant du cuivre la plus forte conductibilité de ce métal. Les essais faits par le Pennsylvania Railroad à Altoona sur ses locomotives à foyers en acier ont montré que le rendement de la surface de chauffe était aussi élevé pour ces chaudières que pour les chaudières à foyers en cuivre et d'autre part c'est un fait bien connu que le rendement des chaudières n'a pas baissé lorsqu'on a remplacé les tubes à fumée en laiton par des tubes en acier.

En ce qui concerne les facilités de réparations, les foyers en acier et les foyers en cuivre sont comparables et même depuis l'entrée en pratique de la soudure autogène, on peut dire que les réparations sont plus faciles pour les foyers en acier que pour les foyers en cuivre. Nous ne voyons donc pas pour notre part, d'autre raison pour le maintien de cette divergence de pratique, que la série d'insuccès qui a marqué en Europe tous les essais faits pour remplacer les foyers en cuivre par des foyers en acier.

Ces essais ont commencé il y a fort longtemps et l'on trouvera dans le livre de COUCHE des renseignements très intéressants à ce sujet. Les derniers essais faits en France à notre connaissance ont été ceux de la Compagnie du P.L.M. (1). Malgré le soin particulier avec lequel ils avaient été faits ils n'ont pas eu une issue favorable. On peut tirer toutefois de ces tentatives infructueuses quelques renseignements de première importance. En définitive ces essais avaient échoué parce que les foyers en acier s'étaient fendillés brusquement, soit en pleine tôle, soit par des fissures rayonnant autour d'un trou d'entretoise et ces avaries semblaient devoir être attribuées à des refroidissements brusques des tôles. Cette hypothèse nous avait paru confirmée par l'expérience personnelle que nous avons eue dans la Marine des chaudières de torpilleurs du type locomotive. Ces chaudières avaient des foyers en acier et par suite du défaut de place en hauteur

(1) Voir *Revue Générale*, N° de Mars 1893.

dans les cales du torpilleur on avait été conduit à leur donner des foyers très peu profonds et presque plats. Ces chaudières étaient extraordinairement sensibles aux variations de température. Il ne se produisait pas, il est vrai, de fissures dans les tôles des foyers mais les tubes se déboîtaient en grand nombre et donnaient lieu à des fuites suffisantes pour éteindre le feu en quelques minutes. On avait même été conduit à des mesures de précaution spéciales lors des essais de ces petits bâtiments. C'est ainsi que la porte de la chaufferie devait être maintenue fermée pendant 48 heures après tout essai à outrance afin de laisser la chaudière se refroidir doucement. Ce n'est qu'à ce prix qu'on pouvait éviter les fuites par les tubes.

Nous étions donc arrivés à cette conclusion que pour pouvoir conserver des foyers en acier en bon état, il était nécessaire de leur éviter tout changement brusque de température, et que si les Américains avaient pu continuer l'emploi des foyers en acier cela tenait aux précautions spéciales qu'ils avaient dû prendre et que nous ignorions en Europe pour éviter ces brusques changements.

Lors d'un voyage d'études aux États-Unis nous avons eu l'occasion d'étudier de près ces précautions et nous avons reconnu qu'elles pouvaient se ramener en définitive à 2 règles principales :

1^o Ne jamais laver la chaudière qu'à l'eau chaude et ne jamais la remplir également qu'à l'eau chaude ;

2^o Éviter le plus complètement possible l'entartrement des parois du foyer.

Le lavage et le remplissage à l'eau chaude se font maintenant dans les grands Dépôts américains à l'aide de canalisations fixes et alimentées par des chaudières spéciales. Dans les Dépôts de moindre importance on se sert de l'injecteur d'une machine en feu.

Il était donc nécessaire, avant de reprendre les essais de foyer en acier sur le réseau d'Orléans, de commencer par étendre la pratique du lavage et du remplissage à l'eau chaude, soit au moyen de l'injecteur d'une machine en feu, soit par tout autre moyen. Ce n'est que lorsque cette pratique a été généralisée sur le réseau que nous avons pu envisager la reprise des essais de foyers en acier.

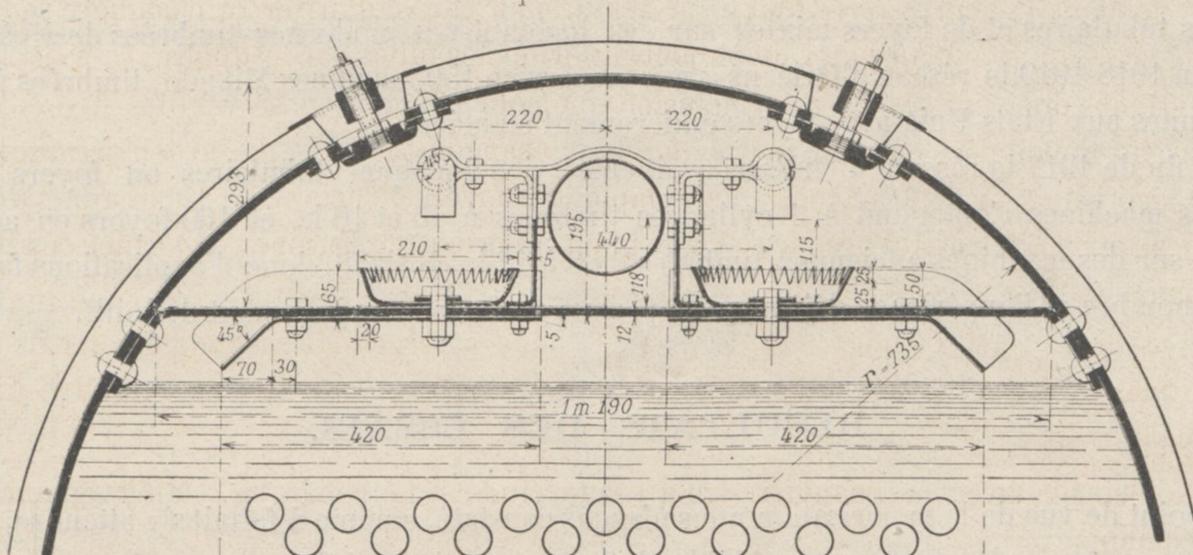
Ces essais ont commencé en 1907. Afin de les faire dans les meilleures conditions, les 12 foyers mis en service en 1907-1908 ont été commandés aux États-Unis et livrés complètement montés ; les entretoises ont été faites avec des barres de fer au bois provenant également des États-Unis. De plus, pour remédier le plus possible à l'entartrement des parois du foyer il fut décidé d'appliquer aux chaudières d'essai un dispositif spécial d'alimentation dans la vapeur qui permet de réchauffer l'eau d'alimentation au moyen de la vapeur de la chaudière à une température voisine de celle de la vapeur saturée.

Ce dispositif très simple, appelé sur le réseau d'Orléans " Chicanes d'alimentation " se compose d'un simple plateau placé à l'intérieur du corps cylindrique, au-dessus du niveau normal de l'eau et sur lequel on fait tomber l'eau d'alimentation. L'eau s'étale en couche mince sur le plateau avant de retomber dans la chaudière, se réchauffe au contact de la vapeur et le tartre se précipite en petits grumeaux qui se fixent sur le plateau ou descendent le long des parois de la tonne jusqu'au bas de celle-ci. On évite ainsi la cristallisation du tartre sur les parois de la chaudière et en particulier sur celles du foyer. Il faut naturellement placer à l'extérieur du corps cylindrique et au-dessus du plateau un autoclave qui permet le nettoyage complet du plateau.

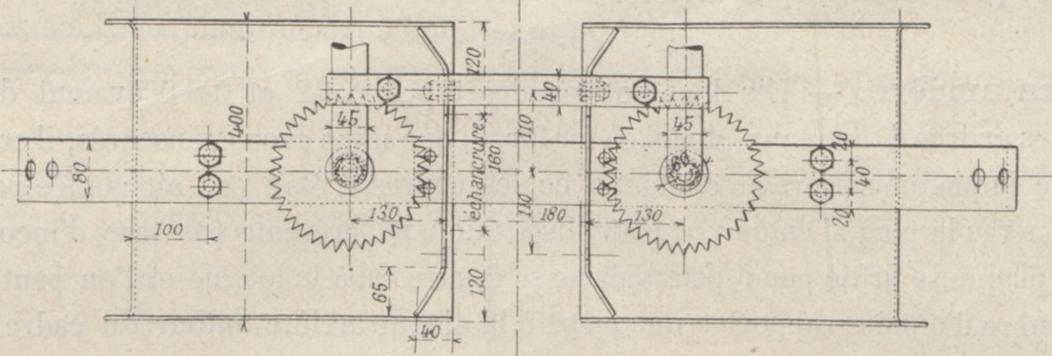
Ces "Chicanes d'alimentation" ont été placées sur toutes les locomotives du réseau d'Orléans construites depuis 1906 avec foyers en cuivre ou en acier et n'ont jamais donné lieu à aucun inconvénient. Les chaudières n'accusent que le minimum d'entartement. De plus en réchauffant

Fig. 1.

Coupe transversale



Vue en plan



l'eau d'alimentation à la température de l'eau de la chaudière on réalise l'égalité de température en tous les points de la chaudière et on évite ainsi la formation de zones plus froides au bas de la tonne et des galeries. Nous avons également constaté que sur les machines qui étaient munies de chicanes le parcours entre grandes réparations de chaudronnerie, telles que remplacement de plaque tubulaire ou remplacement de foyer était sensiblement plus élevé que sur les locomotives des séries construites antérieurement et qui n'en étaient pas pourvues, mais comme il s'agissait de locomotives de types différents nous n'avons pu en tirer des conclusions fermes. Comme ce dispositif est simple et peu coûteux et qu'il ne semble présenter que des avantages, il a été généralisé sur toutes les locomotives construites depuis 1906.

HISTORIQUE DES ESSAIS.

Les premières applications de foyers en acier ont été faites en 1907-1908 sur 12 machines, dont 6 du type 2-4-2 avec surface de grille de 1^m2,71 et 6 du type 0-8-0 de 1^m2,67 de surface de

grille. Cet essai ayant donné de bons résultats on l'a développé et on a appliqué, en 1909-1910, des foyers en acier sur 27 chaudières dont 16 sur des machines 2-4-2 et 11 sur des machines 0-8-0 des mêmes types que précédemment.

En 1914, on a fait 40 nouvelles applications ; en 1915 on a décidé de remplacer par des foyers mixtes (plaque arrière seule en cuivre) les foyers en cuivre des locomotives anciennes timbrées de 8 à 12 k. qui étaient arrivés à la limite d'usure. En même temps on commençait l'essai de plaques tubulaires et de foyers mixtes sur les locomotives modernes timbrées de 15 à 16 k. ; enfin en 1918-1919 le réseau d'Orléans a mis en service 150 machines Mikado, timbrées à 12 k., construites aux États-Unis avec foyers entièrement en acier.

A la fin de 1917 le réseau d'Orléans avait en service 9 plaques tubulaires ou foyers mixtes sur des machines Compound à 4 cylindres timbrées à 15 et 16 k. et 160 foyers en acier ou mixtes sur des machines anciennes timbrées de 8 à 12 k. Il s'agit donc d'applications faites en grand nombre et l'expérience déjà acquise permet de former un jugement définitif.

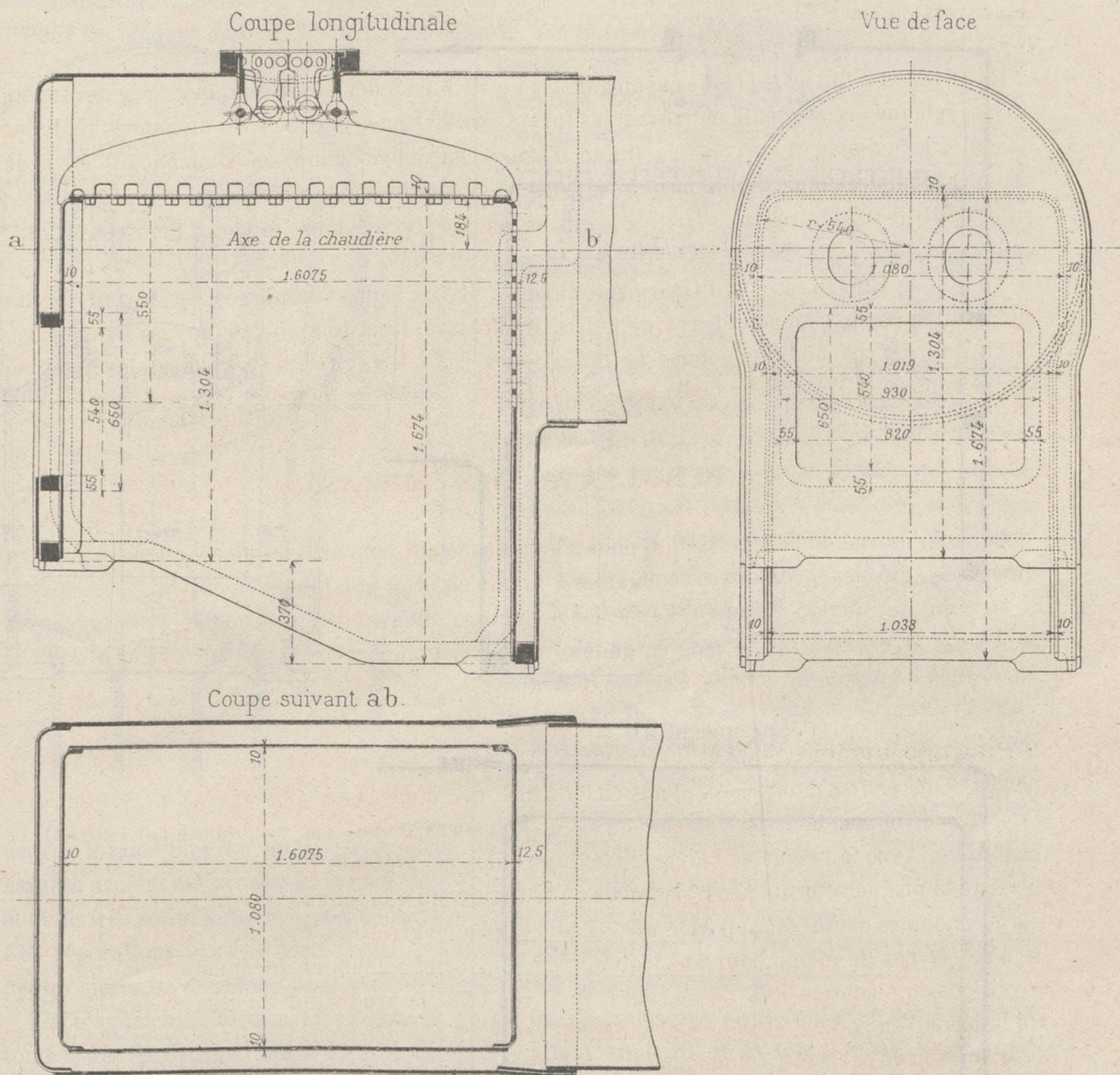
RÉSULTATS DES ESSAIS.

Au point de vue de la vaporisation nous n'avons constaté, comme il fallait s'y attendre, aucune différence entre les locomotives semblables à foyers en acier et à foyers en cuivre.

Au point de vue de l'entretien l'expérience montre un avantage marqué pour les foyers en acier. Les foyers en acier se sont en général très bien comportés et nous n'avons eu d'avaries généralisées qu'avec les plaques arrière.

Plaques arrière. — Les locomotives des types 2-4-2 et 0-8-0 avaient des cadres de portes et des cadres d'ouvreaux pleins en fer forgé, que nous avons conservés, il en résultait que la partie de la plaque arrière en contact avec les cadres n'était pas réchauffée par l'eau de la chaudière. Avec la plaque en cuivre cette disposition ne présente pas trop d'inconvénients, le bord de la plaque se brûle peu à peu mais ne se fissure qu'à la longue et l'on peut au bout d'un certain nombre d'années rapporter une pièce à la plaque arrière autour du cadre de la porte. Il n'en est pas de même pour la plaque arrière en acier ; au bout de quelques années nous avons constaté comme lors des essais P.-L.M. de 1893 la production de fissures dans la partie de la plaque en contact avec le cadre, fissures qui partaient des trous des rivets pour aboutir au bord du trou de porte et qui donnaient lieu à de légères fuites (voir les Fig. 5 et 6, de plaque arrière des machines 1183 et 1205). On les a réparées par matage, puis par soudure à l'acétylène, mais ces fissures se sont développées dans un certain nombre de plaques qu'il a fallu remplacer par des plaques en cuivre, de telle sorte que le nouveau foyer était un foyer mixte avec plaque arrière en cuivre. Nous ferons toutefois remarquer qu'au bout de 11 années il y avait encore en service la moitié des plaques arrière en acier mises en service en 1907. Cette expérience nous avait montré que dans le cas où l'on emploie des cadres pleins pour l'ouverture des portes il était préférable de confectionner la plaque arrière en cuivre et depuis 1914 tous les foyers en acier appliqués à nos locomotives dans ces conditions ont été des foyers mixtes. Nous n'avons pas d'ailleurs abandonné l'idée de faire des foyers complets en acier et dans les chaudières neuves de rechange pour machines 0-6-0 mises en service en 1918, ainsi que dans les 150 machines Mikado de 1917 nous avons rétabli le foyer entièrement en acier, mais en prenant

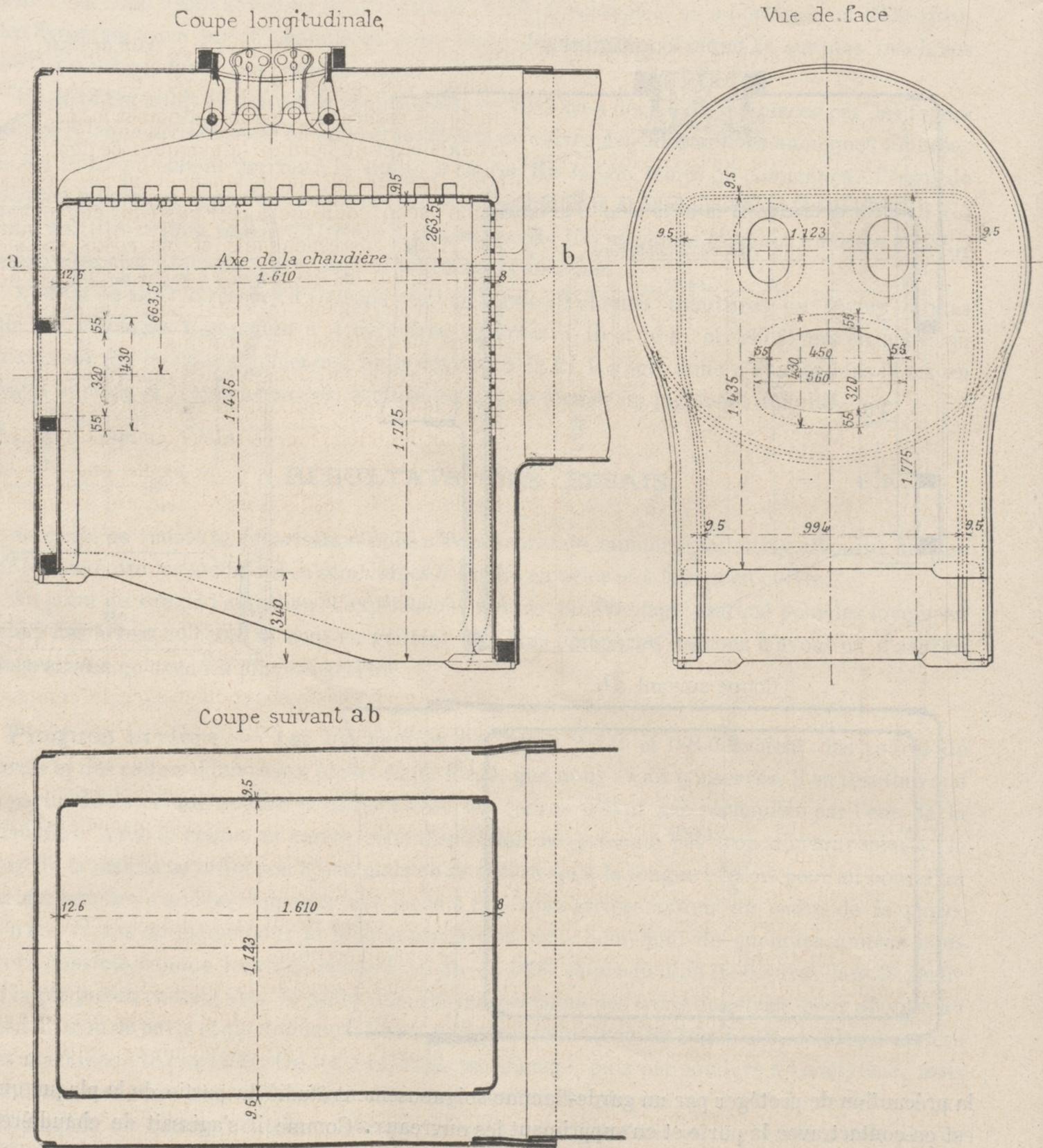
Fig. 2. — LOCOMOTIVES 2-4-2.



la précaution de protéger par un garde-flamme soigneusement étudié la partie de la plaque qui est en contact avec la porte et en supprimant les ouvreaux. Comme il s'agissait de chaudières neuves, nous en avons profité pour adopter un type de porte s'ouvrant en dedans vers le foyer, ce qui a facilité l'installation, comme nous l'avons mentionné plus haut, d'un paraflamme efficace.

Les Américains évitent ces ennuis en emboutissant à la fois la plaque arrière et la plaque enveloppe de façon à les faire se rejoindre, ce qui permet de supprimer le cadre en fer forgé (voir Fig. 4).

Fig. 3. — LOCOMOTIVES 0-8-0.



Flancs, ciel et plaques tubulaires. — En ce qui concerne les autres parties du foyer, flancs, ciel et plaques tubulaires, nous n'avons eu que des avaries isolées. Sur les 39 foyers mis en place en 1907-1908 et 1909-1910 on comptait fin 1918 : 2 foyers complets et 3 plaques tubulaires remplacés.

Les foyers remplacés étaient ceux des machines 1183 et 1205 du type 0-8-0 mis en place en 1909 et remplacés en 1918, au bout de 9 ans avec des parcours légèrement supérieurs à

300.000 km. Nous donnons ci-après (Fig. 5 et 6) les croquis des différentes parties de ces foyers avec indication des avaries relevées à l'atelier.

Pour les plaques arrière, on relève les fissures que nous avons déjà signalées à l'endroit des

cadres des portes et d'ouvreaux, ainsi que quelques fissures sur les bords tombés allant d'un trou de rivet au bord de la plaque. Ces dernières n'ont pas grande importance et on les répare d'une façon courante aux Etats-Unis en lâchant les rivets correspondants et les rivets voisins puis soudant les lèvres des fissures à l'acétylène après avoir buriné le métal pour donner aux lèvres un angle de 90°. (Voir Fig. 7).

Nous avons fait nous-mêmes quelques réparations de ce genre qui ont parfaitement tenu.

Pour les ciels, on ne relève quelques fissures autour des trous de vice de ferme que sur la machine 1205, ces fissures avaient été aveuglées par les Dépôts en remplaçant les vis de ferme par des vis à tête élargie et cette réparation s'était montrée efficace.

En ce qui concerne les flancs on remarque quelques fissures autour des trous d'entretoises dans la partie basse en contact avec le combustible au niveau de la grille mobile. C'est en effet la partie où l'air froid venant du cendrier a le plus directement accès ; on relève également des

usures locales plus ou moins profondes, dues à l'attaque des tôles par les machefers. Les fissures avaient été aveuglées par les Dépôts soit au moyen d'un gros goujon, quand la fissure était de très petite longueur, soit au moyen d'une couture de goujons mordant l'un sur l'autre. Ces réparations avaient bien tenu. Quant aux parties usées il eût été facile de rapporter de petites pièces en doublure pour y parer selon la pratique américaine.

Les plaques tubulaires avaient dans la partie basse au-dessous de la voûte et sur les bords tombés des fissures partant d'un trou de rivet et allant au bord de la tôle ; même avarie que celle signalée plus haut pour les plaques arrière et qui comportait la même réparation par soudure.

Ces deux foyers auraient donc pu être maintenus en service d'après la pratique américaine, néanmoins par excès de scrupule, comme il s'agissait de foyers ayant déjà 9 ans d'existence, nos ateliers ont remplacé les deux foyers complets.

Les trois autres plaques tubulaires remplacées avaient des fissures du genre de celles des plaques des deux machines 1183 et 1205, nos ateliers les ont néanmoins remplacées, toujours par précaution. Comme nous l'avons dit plus haut, nous faisons maintenant une réparation par soudure.

En ce qui concerne les 40 foyers mixtes de 1914 nous n'avons fin 1918 relevé d'avaries qu'à 3 foyers de machines 0-8-0 survenues dans des conditions qui valent la peine d'être relatées,

Fig. 4.

Disposition de portes de foyer

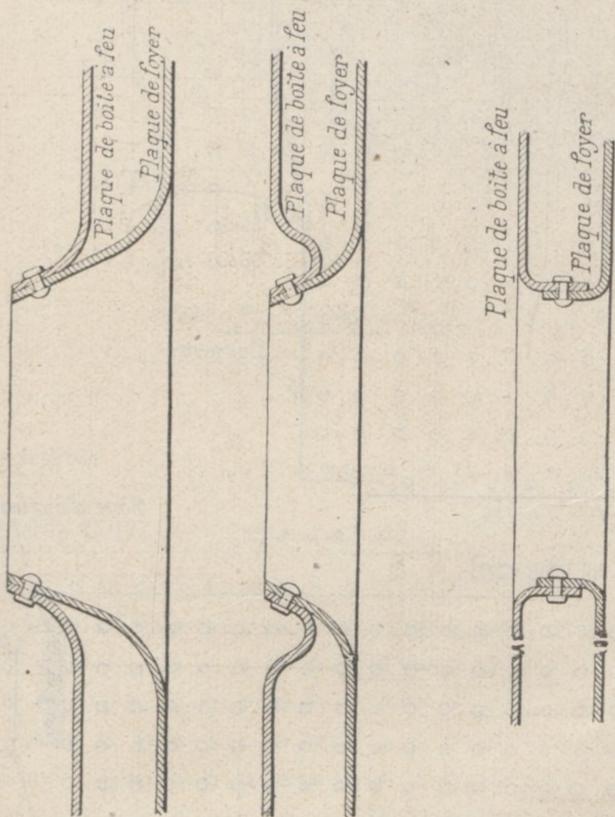
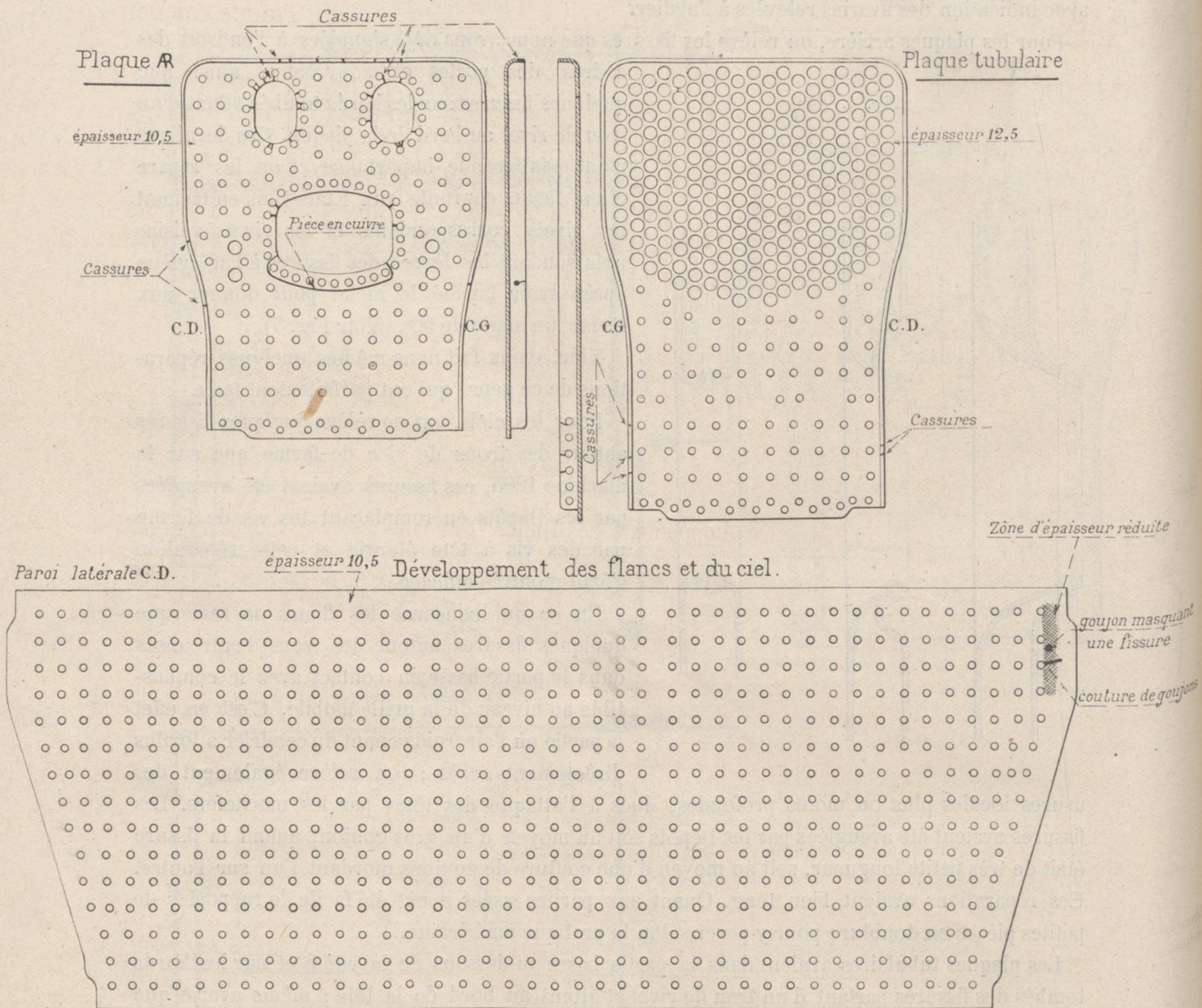


Fig. 5. — FOYER DE LA CHAUDIÈRE 1183.



pour bien mettre en évidence la sensibilité des foyers en acier à l'action du froid. Ces 3 locomotives, du dépôt de Tessonnières, avec foyers mixtes, ont eu à la même époque, en 1916, leurs flancs et l'une d'elles sa plaque tubulaire fissurés en pleine tôle en face des trous d'autoclaves de lavage de l'enveloppe. Une enquête a été faite et on s'est aperçu que, pour faire facilement le lavage, on était obligé de sortir les machines de la remise et que le vent d'autan qui est très violent dans cette région avait une direction telle que, la machine étant au poste de lavage, il passait directement par les trous de lavage et venait frapper la plaque située en face aussitôt qu'on avait démonté l'autoclave. Comme ces fissures ne s'étaient produites que d'un côté de la machine et toujours le même, c'était bien l'action du vent qui avait provoqué la

Fig. 6. — FOYER DE LA CHAUDIÈRE 1205.

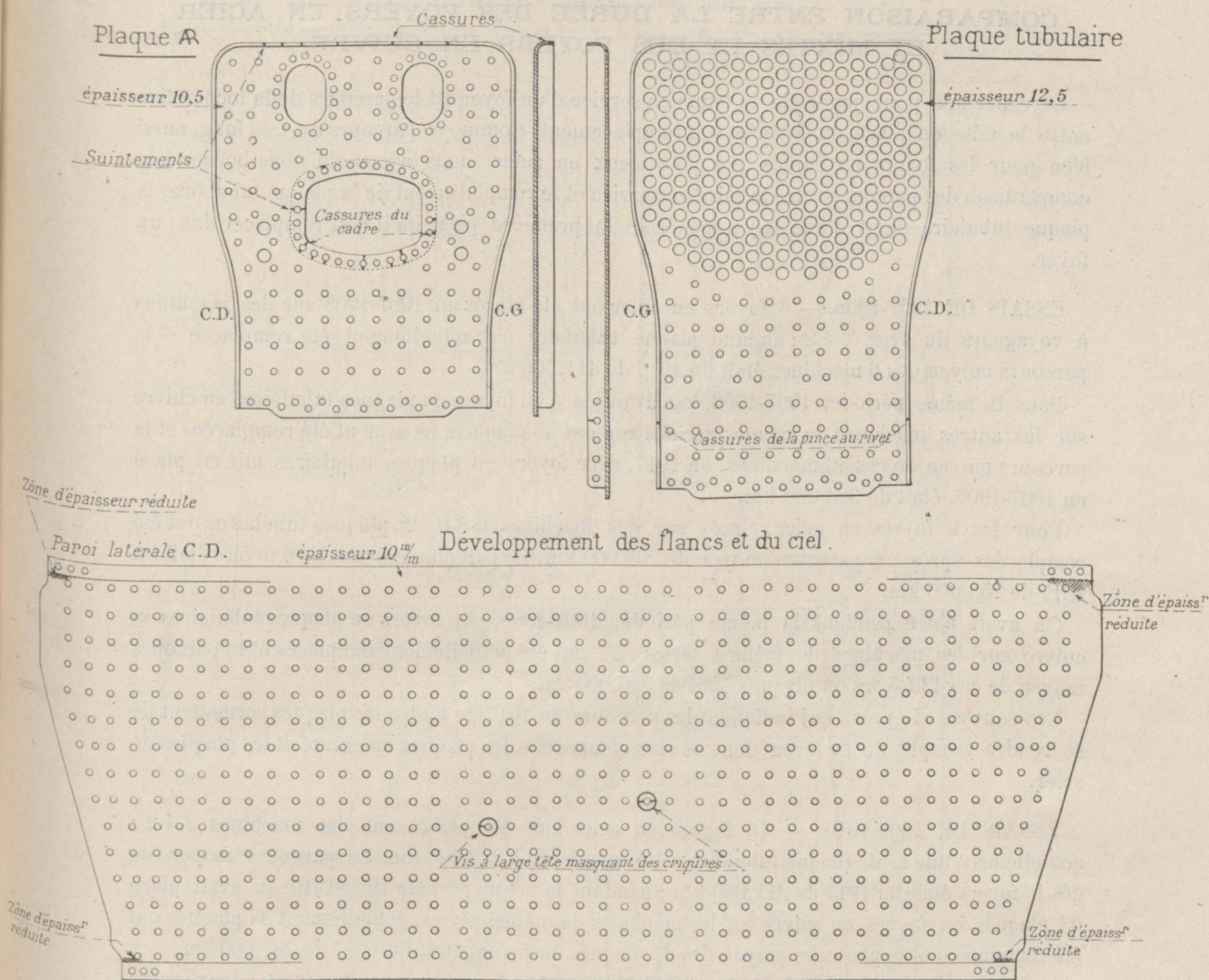
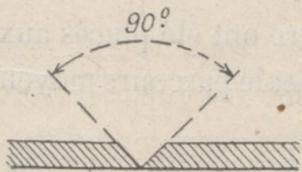


Fig. 7.



formation des fissures. On a naturellement pris des précautions pour remédier à cette curieuse coïncidence et nous n'avons plus jamais constaté de faits semblables ni à Tessionnières ni ailleurs. On s'est contenté d'appliquer des pièces en cuivre aux flancs fissurés et on a changé la plaque tubulaire avariée.

Entretoises. — Les entretoises, qu'elles soient en fer ou en acier doux se comportent parfaitement bien, les remplacements sont à peu près nuls et leur service est absolument comparable à celui des entretoises en cuivre.

COMPARAISON ENTRE LA DURÉE DES FOYERS EN ACIER ET MIXTES ET DES FOYERS EN CUIVRE.

Le criterium pour juger de la tenue en service d'un foyer est le parcours de la locomotive entre la mise en place du foyer et son remplacement. Comme ce parcours est très long, aussi bien pour les foyers en cuivre que pour ceux en acier, nous avons dû nous borner à la comparaison des parcours entre la mise en service et le remplacement de la plaque tubulaire, la plaque tubulaire étant d'une façon générale la première pièce qu'il faut remplacer dans un foyer.

ESSAIS DE 1907-1908. — 6 foyers en acier ont été placés en 1907-1908 sur des machines à voyageurs du type 2-4-2 ; aucune plaque tubulaire n'a actuellement été remplacée — le parcours moyen des 6 machines était fin 1917 de 411.500 km.

Dans la même période, 1907-1908, on avait placé 46 foyers ou plaques tubulaires en cuivre sur les autres machines de mêmes séries ; sur ces 46 plaques, 38 avaient été remplacées et le parcours moyen de ces 46 machines, fin 1917, avec foyers ou plaques tubulaires mis en place en 1907-1908, était de 360.000 km.

Pour les 6 foyers en acier placés sur des machines 0-8-0, 2 plaques tubulaires ont été remplacées après un parcours moyen de 208.000 km. Le parcours moyen des 6 foyers était fin 1917 de 255.000 km.

On avait placé pendant la même période, 1907-1908, 43 foyers ou plaques tubulaires en cuivre sur les machines de mêmes séries ; 37 ont été actuellement remplacés et le parcours moyen de ces 43 foyers ou plaques était de 246.000 km.

Les courbes ci-après, qui indiquent les parcours fin 1917 de toutes les plaques permettent de se rendre compte de la façon dont se sont comportées les plaques en cuivre et les plaques en acier.

ESSAIS DE 1909-1910. — 16 foyers en acier ont été placés sur des machines 2-4-2 ; actuellement une seule plaque tubulaire a été remplacée à 222.000 km. Le parcours moyen de ces 16 foyers était fin 1917 de 311.000 km ; pendant la même période 1909-1910 on avait placé 63 plaques ou foyers en cuivre sur les machines de mêmes séries, actuellement 34 plaques ont été remplacées et le parcours moyen des 63 plaques ou foyers était fin 1917 de 287.000 km.

11 foyers en acier ont été placés pendant la même période sur les machines 0-8-0 ; deux foyers ont été remplacés, comme nous l'avons dit, en 1918 avec un parcours de 310.000 km. Le parcours moyen des 11 foyers était fin 1917 de 218.000 km.

Pendant la même période 1909-1910, 38 plaques ou foyers en cuivre ont été placés aux machines des mêmes séries, 14 plaques tubulaires ont déjà été remplacées et le parcours moyen des 38 plaques tubulaires ou foyers fin 1917 était de 207.000 km.

Nous donnons, ci-après, les courbes des parcours des plaques en cuivre et en acier.

ESSAIS DE 1914. — Les foyers mixtes mis en place en 1914 se sont parfaitement comportés jusqu'à présent, sauf les 3 foyers des machines de Tessonnières, dont nous avons parlé plus haut.

Les plaques tubulaires mises en place sur des machines Compound à 15 k^{os} et 16 k^{os} se sont également bien comportées mais leur parcours est encore trop peu élevé pour en tirer des conclusions convenablement fondées.

Fig. 8. — ESSAIS DE 1907-1908.

Le signe ○ indique une plaque tubulaire déjà retirée du service. — Le signe ● indique une plaque tubulaire encore en service.
 — Parcours des foyers et plaque en cuivre fin 1917. — - - - Parcours des foyers et plaque en acier fin 1917.

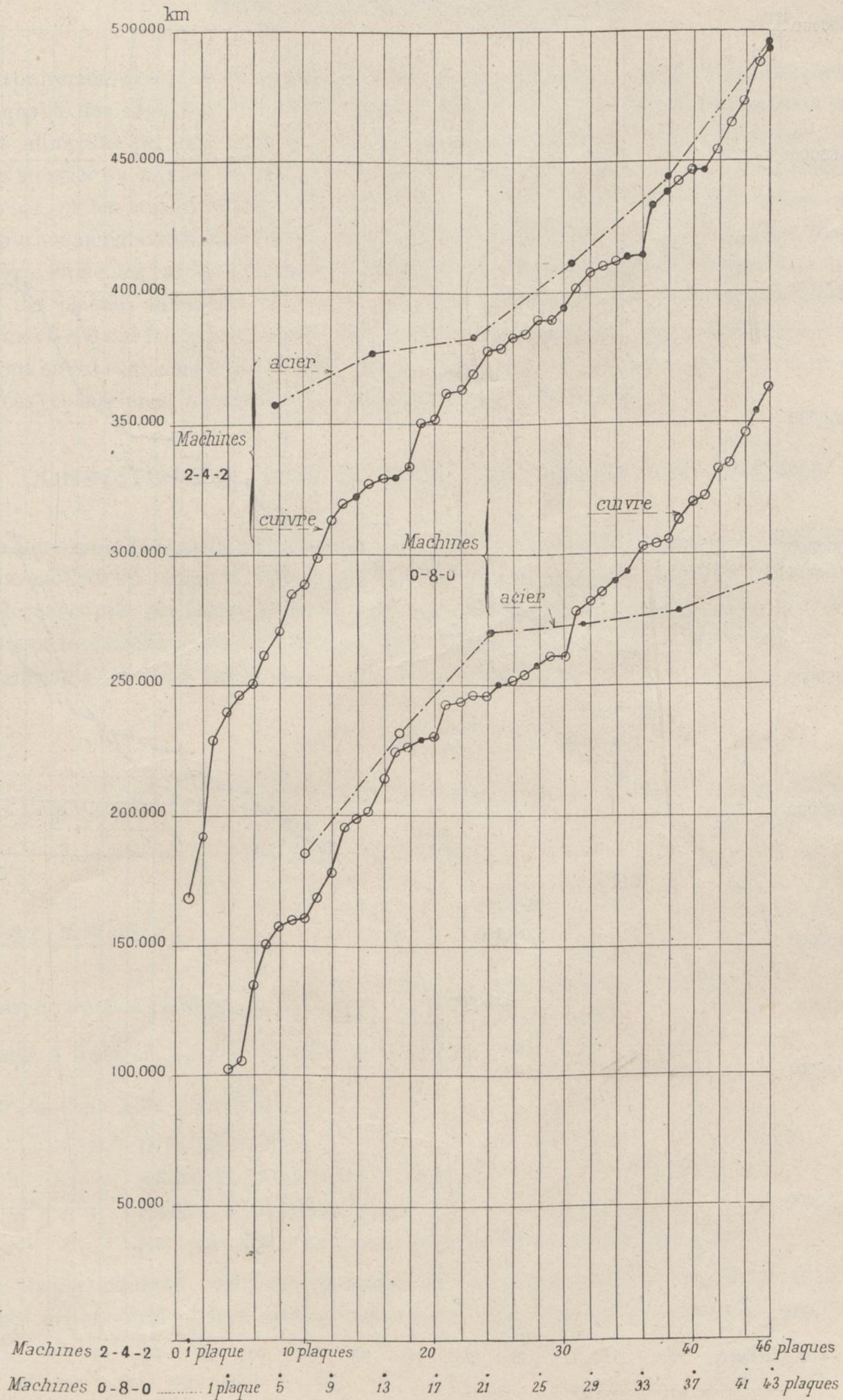
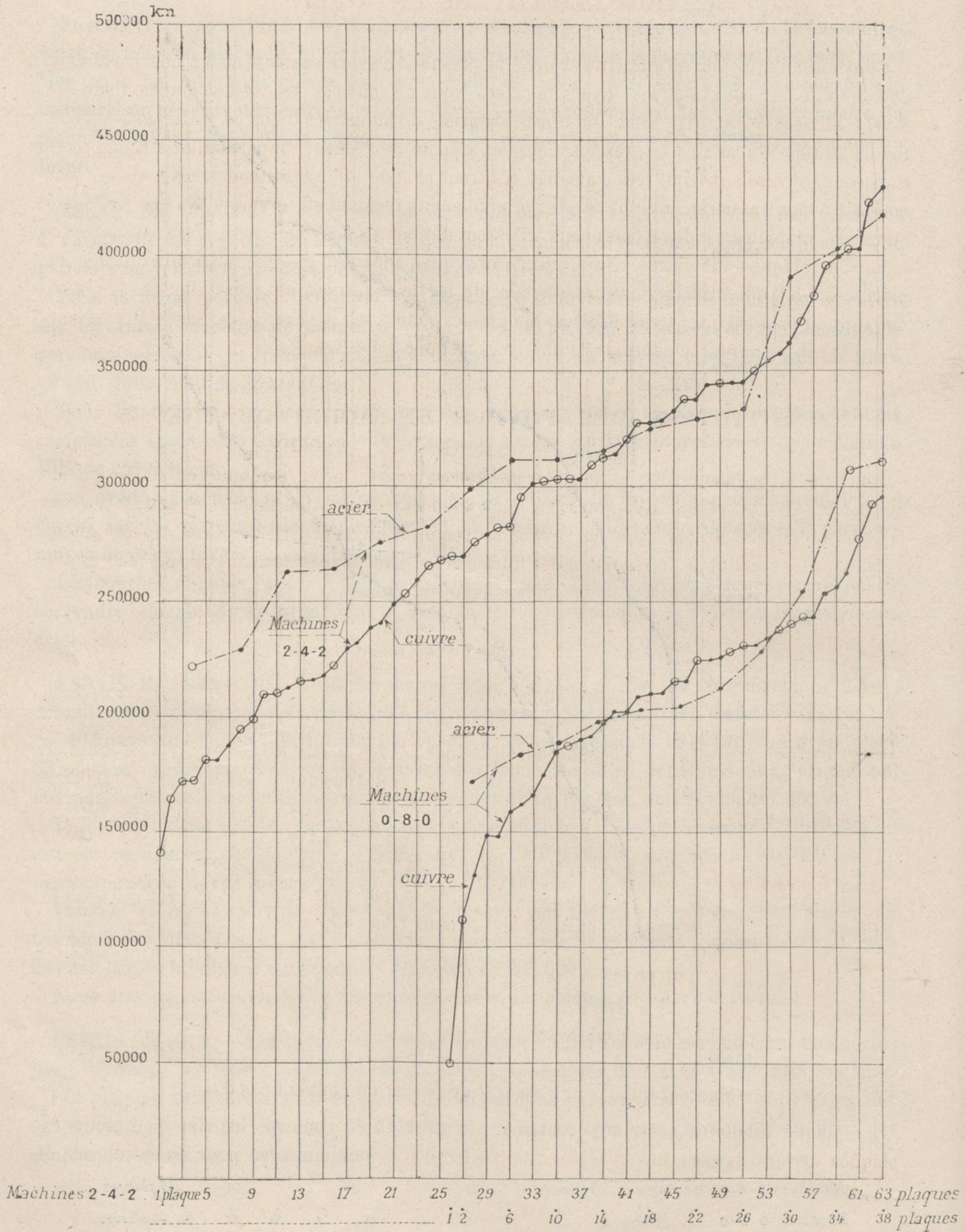


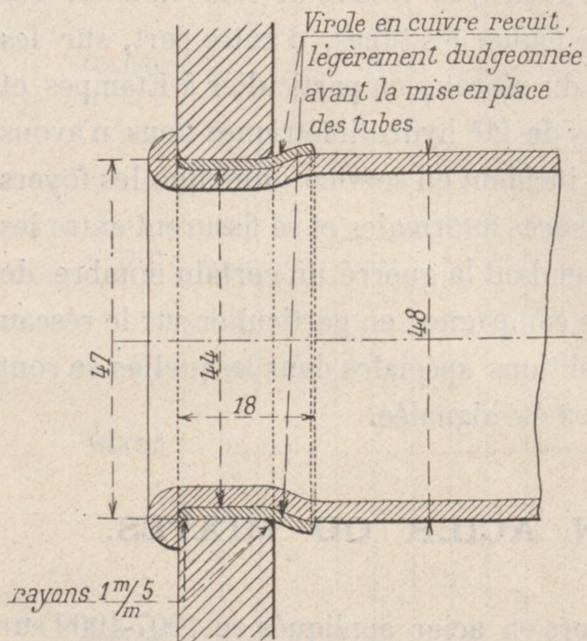
Fig. 9. — ESSAIS DE 1909-1910.

Le signe ○ indique une plaque tubulaire déjà retirée du service. — Le signe ● indique une plaque tubulaire encore en service.
— Parcours des foyers et plaque en cuivre fin 1917. — . . . Parcours des foyers et plaque en acier fin 1917.



diamètre des entretoises en cuivre. Toutes ces cotes ont été conservées dans les applications ultérieures, mais déjà dans les essais de 1909-1910 on a commencé à employer des tôles et des barres en fer de provenance française, concurremment avec celles de provenance américaine. On avait choisi comme tôle la qualité B du cahier des charges unifié des chemins de fer français et pour le fer la qualité P ; dans les applications ultérieures on s'est servi uniquement de

Fig. 11.



matériaux français : on a conservé la qualité B pour les tôles et on a employé indifféremment du fer P ou de l'acier I pour les entretoises.

En général, les ouvriers préfèrent l'acier I au fer P et trouvent que le rivetage est plus facile et la qualité plus homogène.

La mise en place des foyers en acier a été faite dans les mêmes conditions que pour les foyers en cuivre, sans aucune précaution spéciale ; pour les entretoises on les a rivées aux deux extrémités et on a formé une tête simplement dégrossie sans leur donner le fini habituel des entretoises en cuivre, l'assemblage des tubes dans les plaques tubulaires a été fait suivant la méthode américaine (voir croquis ci-contre) : Insérer entre le tube et la plaque une mince virole de cuivre

puis dudgeonner le tube dans la plaque et rabattre les bords.

Cette pratique a donné les meilleurs résultats et lorsque le travail est bien fait, il est inutile de retoucher cet assemblage.

CONCLUSION.

Des essais très étendus que nous venons de relater résulte pour nous la conviction qu'en prenant les précautions spéciales que nous avons mentionnées dans cet article on peut facilement substituer des foyers en acier ou des foyers mixtes aux foyers en cuivre. Il semble même que la durée des foyers en acier soit supérieure à celle des foyers en cuivre. Comme les foyers en acier sont beaucoup plus légers et beaucoup moins chers que les foyers en cuivre, c'est là un résultat de première importance ; mais nous insistons à nouveau sur la nécessité absolue, avant de procéder soit à un essai, soit à une application en grand de foyers en acier ou de foyers mixtes sur un réseau, de commencer par généraliser le lavage et le remplissage à l'eau chaude des chaudières, de façon que cette pratique soit en usage courant avant la mise en service des foyers en acier. Une locomotive est amenée en effet à passer dans plusieurs dépôts du Réseau, il importe donc que la pratique du lavage et du remplissage à l'eau chaude soit absolument générale, sans quoi l'on risquerait, par un seul lavage à l'eau froide fait dans de mauvaises conditions, de mettre un foyer hors de service.