

# BULLETIN

DE LA

COMMISSION INTERNATIONALE

DU

## CONGRÈS DES CHEMINS DE FER

[ 623 .145.4 ]

### LE RAIL CONTINU OU LE JOINT SOUDÉ SUR LES GRANDES VOIES FERRÉES,

Par A. STEVART,

INGÉNIEUR EN CHEF HONORAIRE DES CHEMINS DE FER DE L'ÉTAT BELGE,  
PROFESSEUR A L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE.

Fig. 1 et 2, p. 190.

La soudure des rails bout à bout, en vue de supprimer la discontinuité due aux joints éclissés, est entrée dans la pratique courante des exploitations de tramways urbains. Les grandes villes américaines : New-York, Boston, Chicago, Saint-Louis; puis après elles, Lyon, Marseille, Paris, Le Havre, Rouen; et enfin, récemment, Bruxelles, en ont vu des applications étendues et réussies.

Quel avenir attend ce procédé sur les grandes voies ferrées où l'assemblage par éclisses a donné lieu à tant de laborieuses tentatives d'amélioration sans grand succès?

Nous voudrions examiner rapidement les objections qu'on peut faire *a priori* au rail soudé. Sans avoir la prétention de résoudre la question qui ne pourra être tranchée définitivement que par l'expérience, nous pensons que ces objections sont plus fortes qu'on ne le croit, et qu'elles suffisent pour mettre en garde contre la séduction d'un procédé simple écartant d'emblée les nombreux inconvénients et les graves imperfections que présentent encore les systèmes d'éclissage les plus perfectionnés.

On sait en quoi consiste l'opération du soudage sur place : dans le procédé Elihu Thomson, tel qu'on l'a appliqué sur plusieurs lignes de tramways en Amérique (lignes qu'on a souvent, à tort, qualifiées de chemins de fer électriques), un wagon-atelier circule sur la partie achevée de la ligne et porte une dynamo motrice recevant

un courant continu de 400 ampères sous 500 volts pris des fils de trolley et le transforme en un courant alternatif de 350 volts qu'un système de transformateurs fixes abaisse jusqu'à 4 volts, élevant ainsi l'ampérage jusqu'à près de 50,000.

Ce courant passant par les points de contact des deux bouts des rails fortement pressés l'un contre l'autre les amène à la fusion, et cette fusion s'arrête quand les deux rails sont assez soudés pour que la résistance au passage du courant soit devenue suffisamment faible.

Dans le procédé Falk, appliqué notamment aux tramways bruxellois <sup>(1)</sup>, un wagon-atelier constitue une fonderie roulante où un cubilot peut préparer en peu de temps la fusion de la masse de fonte nécessaire à un soudage. Celui-ci s'opère par un procédé bien connu des fonderies, en faisant couler une masse suffisante pour porter les bouts jointifs des rails, convenablement décapés, à la température du ramollissement.

La soudure, dans un cas comme dans l'autre, paraît parfaite et la continuité de forme, tout au moins du bourrelet et de la surface de roulement, est assurée.

Cette opération des plus simples ne prend pas plus d'un quart d'heure quand elle a été convenablement préparée, et si l'on considère seulement l'établissement d'une voie neuve, on ne peut que se déclarer satisfait. En sera-t-il de même en cas de réparation ou de restauration d'un rail brisé? Le fait de devoir transporter sur place le wagon-usine et le personnel spécial à l'exécution d'une soudure prendra un temps incompatible avec les exigences de l'exploitation. C'est à peine si, sur certaines lignes, le remplacement d'un rail éclissé, qui se fait en quelques minutes, n'est pas déjà considéré aujourd'hui comme une entrave. Et puis, la soudure sera-t-elle encore possible si le bris s'est produit précisément à un joint soudé? Et si la rupture se faisant à basse température laisse se produire un retrait tel que les bords de la cassure s'écartent de 5 centimètres, comme on l'a constaté dans certaines voies de tramways?

Enfin, on peut se demander ce qu'est devenue la nature du métal pour laquelle les grandes lignes se montrent avec raison si exigeantes dans les cahiers des charges et les réceptions? L'espèce de trempe subie au point soudé par le refroidissement plus ou moins rapide, la surcarburation de l'acier qui n'est pas seulement superficielle dans le joint Falk <sup>(2)</sup>, ne vont-elles pas, l'une et l'autre, rendre le joint plus cassant que le corps du rail? Et même ne peut-on pas douter que le rail, dans le voisinage du joint, soit encore en état de subir avec succès les épreuves qu'on lui a imposées lors de la fourniture?

Je sais bien qu'on affirme que depuis des années les voies de tramways pourvues de joints soudés n'ont qu'un pourcentage de bris très faible; mais on ne peut

---

<sup>(1)</sup> C. LECHAT, « La soudure des rails par le procédé Falk aux tramways bruxellois ». (*Revue universelle des mines*, octobre 1901.) — Voir aussi, dans *Street Railway Journal*, février 1899, la description d'un procédé de la « Milwaukee Rail Joint & Welding Co. », concurrent du précédent.

<sup>(2)</sup> Voir des résultats d'analyse de M<sup>r</sup> Le Châtelier dans l'article de M<sup>r</sup> C. Lechat précité.

conclure d'une voie de tram en rails lourds, parcourue à faible vitesse par des essieux chargés au plus de 6 tonnes, à une voie sur laquelle circulent à 100 kilomètres à l'heure des essieux chargés de 15 à 20 tonnes, et où les efforts dynamiques seront cinquante fois plus considérables.

Les déformations que subira forcément une voie en rails continus par suite des dilatations ou contractions du rail dues aux variations de température sont un des sujets sur lesquels les auteurs ont le plus de discordances et de contradictions.

Il n'en est pas de même au sujet des efforts de tension positive ou négative qui se produiront dans les barres selon l'écart en plus ou en moins de leur température actuelle avec celle qu'elles avaient au moment du soudage.

On est d'accord, en effet, pour écrire que le coefficient de dilatation de l'acier étant d'environ 0.000108 et le module d'élasticité étant pris  $E = 20,000$ , une barre assujettie de manière à ne pouvoir ni s'allonger ni se contracter, supportera une fatigue de 0.2 kilogramme pour chaque degré d'écart avec la température au moment du soudage.

Quel pourra être, dans nos climats, par exemple, l'écart maximum des températures d'un rail dans le cours d'une année?

Ici, les avis commencent à différer. Les uns prétendent que l'observation précise leur permet d'affirmer que *la température du rail est celle de l'air* <sup>(1)</sup>, à cause de *la grande conductibilité de l'acier*.

D'autres soutiennent, au contraire, qu'on peut se brûler gravement la main au contact d'un rail qui a été exposé plusieurs heures au soleil, et nous croyons cette observation plus exacte que la précédente, à cause du *grand pouvoir absorbant* du rail pour la chaleur rayonnée.

Pour ne rien exagérer, nous admettons que l'écart maximum des températures du rail en hiver et en été irait de  $-20^{\circ}$  à  $+60^{\circ}$ .

Quel chiffre admettre alors pour la température du rail au moment où l'on vient de finir la seconde soudure de ses abouts? L'expérience seule pourrait l'apprendre; en tout cas, il paraît difficile d'admettre que la température moyenne du rail dont les bouts viennent d'être presque fondus ne soit pas notablement supérieure à celle de l'air ambiant, et l'on comprend difficilement l'auteur qui écrit : « *Le bourrelet du rail n'est que légèrement chauffé, et ainsi le danger de trempe est évité* <sup>(2)</sup>. »

Un autre auteur dit avec plus de raison : « *Le temps froid est le meilleur pour faire ce genre de travail, parce qu'il y aura alors moins de fatigue du rail par les grands froids* <sup>(3)</sup>. » Aphorisme qui perd beaucoup de sa valeur par le fait qu'on n'est maître ni du temps chaud ni du temps froid et qu'en cas de réparation, notamment, il faudra bien prendre le temps tel qu'il est.

---

(1) Article de Мохам, dans *Railway Review*, du 29 octobre 1892. (Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, numéro de janvier-février-mars 1893, p. 210.)

(2) *The Railway Age*, 11 août 1899, p. 598.

(3) *Railway World*, juin 1898.

Admettons cependant que l'écart de la température avec celle qu'avait le rail au moment du soudage ne dépasse jamais  $50^{\circ}$  C., ni en plus ni en moins, la température du rail étant prise entre  $10^{\circ}$  et  $30^{\circ}$ .

Avec le coefficient de dilatation de 0.0000108 et le module d'élasticité de  $E = 20,000$  kilogrammes par millimètre carré, on obtiendra donc, selon les cas, une dilatation positive ou négative de  $i = 0^{\text{m}}00054$  par mètre, ou bien, si cette dilatation est empêchée par un obstacle absolu, une fatigue de  $Ei = 10.8$  kilogrammes par millimètre carré.

Relisant nos auteurs, qui tous admettent un effort de 8 à 10 kilogrammes, l'un dit : « Cette tension, même par les plus grands froids, ne dépassera pas la limite d'élasticité ». L'autre dit : « C'est une tension très acceptable pour les aciers à rails <sup>(1)</sup>. »

Sans doute, l'acier employé pour les rails supportera allègrement cette fatigue; mais on aurait dû ajouter, comme circonstance fâcheuse, que le rail a autre chose à faire. Nous regardons, au contraire, comme vraiment excessif qu'on admette aussi légèrement la possibilité de faire supporter une pareille fatigue initiale à un rail soumis aux actions statiques et surtout dynamiques, d'une valeur considérable et, jusqu'à présent, non encore estimées, que lui imposeront la charge et la vitesse des locomotives et des trains.

Si le rail, au lieu d'être supposé rigidement maintenu, est plus ou moins libre de se déplacer, une partie de cette fatigue lui sera enlevée; mais ces déplacements ne causeront-ils pas des altérations en alignement droit et en courbe, incompatibles avec la précision qu'on apporte à la pose des grandes voies modernes?

Cherchons à les évaluer.

La fatigue estimée plus haut à 10.8 kilogrammes par millimètre carré correspond, pour un rail de  $p$  kilogrammes par mètre courant, dont l'acier pèse 0.0078 kilogramme par centimètre cube, à un effort de

$$\frac{p \cdot 10.8}{0.0078} = 1,380p.$$

C'est donc, pour un rail de 40 à 50 kilogrammes par mètre, une force de 55,200 à 69,000 kilogrammes qui le pousse ou le tire selon la température extrême que l'on considère. Pour la voie entière, c'est donc le chiffre effrayant de 110 à 140 tonnes d'effort longitudinal : admettons 100 tonnes.

La liaison des deux files de rail et le frottement des billes sur le ballast suffiront-ils pour empêcher les déplacements de la voie? On a vite fait de déclarer que le frottement de la voie sur 2 ou 3 kilomètres tout au plus suffira pour limiter en longueur l'action de chaque partie sur ses voisines <sup>(1)</sup>. Nous nous permettons de ne pas trouver cela très rassurant. Une voie solide, avec rails de 40 à 50 kilogrammes, pèse sans doute 200 à 250 kilogrammes par mètre, mais le coefficient de frottement sur le ballast est très incertain et, en tout cas, la trépidation due au passage des trains

---

(1) Voir *Bulletin du Congrès des chemins de fer*, n° 5, mai 1897, p. 792.

permettra des déplacements en abaissant celui-ci, comme elle permet le redressement spontané des rails qui n'ont été courbés sur place qu'après la pose et dont la flexion est restée en deçà de la limite d'élasticité.

Cherchons à examiner de plus près ce qui va se passer, en ligne droite ou en courbe, par l'action de cette tension.

*En ligne droite.* — Par les basses températures, on aura une tension uniforme des rails, qui les maintiendra en alignement, et la fatigue initiale maximum de 10.8 kilogrammes par millimètre carré.

Par les températures les plus élevées, on aura une tendance au flambement, tendance combattue par l'assemblage aux traverses et par le frottement sur le ballast.

Estimons-en le maximum en supposant *ce frottement nul* et les attaches légèrement lâchées. Il est vraisemblable que les joints soudés, présentant une grande rigidité latérale comparée à celle du rail, se maintiendront en ligne droite et formeront les points d'inflexion d'une espèce de sinusöide, que nous allons regarder comme un arc de cercle de rayon  $R$  sur la longueur  $l$  d'un rail.

Cette longueur sera devenue  $l(1 + i) = l'$ ,  $i$  étant l'allongement par mètre courant (0.00054 millimètre) que nous avons calculé plus haut.

Il s'agit donc de calculer la flèche  $f$  d'un arc  $l'$  tel que sa corde  $l$  diffère de l'arc de  $li = 0.00054 l$ .

Or, on a, pour le demi-arc confondu avec sa corde, ce qui constitue une approximation largement suffisante,

$$\frac{l'^2}{4} = 2Rf$$

et pour la demi-corde, 
$$\frac{l^2}{4} = f(2R - f) = \frac{l'^2}{4} - f^2,$$

d'où 
$$f^2 = \frac{l'^2 - l^2}{4} \quad \text{et} \quad f = \frac{1}{2} \sqrt{l'^2 - l^2}$$

or, 
$$\begin{aligned} l' &= l(1 + i) \\ l' + l &= l(2 + i) \\ \frac{l' - l}{l' + l} &= \frac{li}{l(2 + i)} \\ l' - l &= l^2 i (2 + i) \end{aligned}$$

et enfin 
$$f = l \sqrt{\left(1 + \frac{i}{2}\right) \cdot \frac{i}{2}}$$

substituant la valeur numérique de  $i$ ,

$$f = l \sqrt{1.00027 \times 0.00027} = 0.0164l$$

pour des rails de 9 ou 12 mètres, les flèches respectives seraient de 0<sup>m</sup>1476 et

de 0<sup>m</sup>1968, soit de 15 à 20 centimètres. Sans doute, en pratique, on ne s'attendra pas à de pareilles déformations de la voie assemblée; il ne s'agit ici que de l'hypothèse exagérée d'un rail maintenu aux deux bouts et glissant librement en fléchissant dans le plan horizontal.

Il n'en reste pas moins pratiquement certain qu'il faut choisir entre toutes les solutions intermédiaires aux deux extrêmes que nous avons considérées : c'est-à-dire que le rail restera plus ou moins droit, avec une fatigue initiale d'autant plus rapprochée des 10 kilogrammes par millimètre carré que la flèche de déformation sera plus faible. Il ne faudrait pas s'étonner si, dans certaines circonstances aidées par les trépidations des trains, l'on constatait à la fois une fatigue appréciable et un flambement intolérable.

*En courbe.* — Ce qui se passerait en courbe serait encore bien pis. En effet, qu'il s'agisse de dilatation ou de contraction, le résultat sera d'augmenter ou de diminuer la flèche de l'arc considéré dans une proportion qui résultera de la valeur des résistances horizontales normales à la voie qui s'opposent au déplacement de celle-ci. Si  $R$  est le rayon de la courbe et  $f$  l'ensemble de ces résistances par unité de longueur, il est facile de montrer qu'on doit avoir pour l'équilibre (fig. 1)

$$F = fR.$$

Or, nous avons trouvé dans les températures extrêmes :

$$F = 400,000 \text{ kilogrammes}$$

pour des rayons

$$R = 250 \quad 400 \quad 500 \quad 1,000 \text{ mètres,}$$

il faudrait

$$f = 400 \quad 250 \quad 200 \quad 100 \text{ kilogrammes}$$

de frottement par mètre courant.

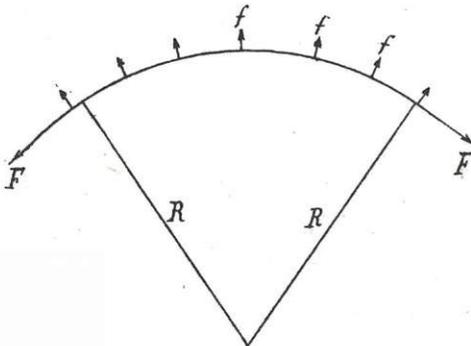


Fig. 1.

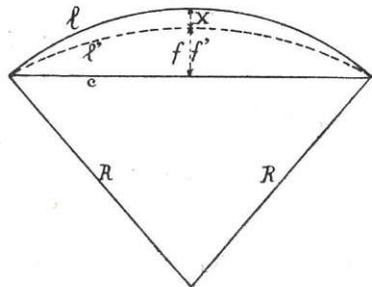


Fig. 2.

Est-il exagéré de craindre aussi que, dans certaines circonstances, la résistance

effective au déplacement par mètre courant qui, comme on le voit, est indépendante de la longueur, soit inférieure à ces chiffres?

Quel serait ce déplacement si l'ensemble de ces résistances était nul?

Le problème consiste à calculer la différence de flèche entre deux arcs de longueur  $l$  et  $l'$  ayant même corde. Soient  $x$  la différence entre les flèches  $f$  et  $f'$  correspondantes à  $l$  et  $l'$ ,  $R$  le rayon de la courbe  $l$ . On a, comme ci-avant (fig. 2) :

$$l' = l (1 - i)$$

$$\frac{l^2}{4} = 2Rf$$

et, en nommant  $R'$  le rayon de la courbe contractée,

$$\frac{l'^2}{4} = 2R'f' (1 - i)^2 = 2R'f'$$

$$l^2 - l'^2 = 8 (Rf - R'f')$$

D'autre part, la corde commune  $c$  donne :

$$\frac{c^2}{4} = 2Rf - f^2 = 2R'f' - f'^2$$

ou bien

$$f^2 - f'^2 = 2 (Rf - R'f') = \frac{l^2 - l'^2}{4};$$

remplaçant  $l$  et  $l'$  par leurs valeurs en fonction de  $R$  et de  $i$ , il vient :

$$f'^2 = f^2 - 2Rfi (2 - i),$$

et enfin, puisque  $x = f - f'$

$$x = f - \sqrt{f^2 - 2Rfi (2 - i)} \dots$$

Soit une courbe de 200 mètres de long et de 1,000 mètres de rayon.

$$f = \frac{l^2}{8R} = \frac{40,000}{8,000} = 5 \text{ mètres.}$$

$$2Rf = \frac{l^2}{4} = 10,000$$

$$i = 0.00054$$

$$2 - i = 1.99946$$

valeurs qui, substituées, donnent :

$$x = 5 - \sqrt{25 - 5.4 \times 1.99946}$$

$$x = 5 - \sqrt{14.2} = 5 - 3.77 = 1^m 23.$$

Ici encore, il sera permis d'affirmer que la réalité sera entre ces deux résultats extrêmes, c'est-à-dire un ripage appréciable de la voie en courbe, joint à une tension des rails qui diminue leur résistance.

L'effort énorme de 100 tonnes s'exerçant longitudinalement en un point quelconque de la voie pourra encore avoir une influence nuisible dans le cas de deux rampes ou de deux pentes se succédant sans une longueur suffisante de raccordement vertical. En effet, si les inclinaisons en sens contraire sont de  $i$ , les composantes verticales de chacune des deux forces  $F$  seront  $F_i$  et un poids de voie égal à  $2F_i$  pourra être soulevé ou tout au moins cessera de peser sur le ballast. Si  $i$  vaut 0.005, ce serait 10 tonnes de voie, et sans admettre, encore une fois, que cet effet puisse, à raison des frottements, se produire intégralement, il n'en est pas moins vrai qu'il faut craindre de ce chef une diminution de la stabilité de la voie.

En résumé, sans attacher plus d'importance qu'il ne convient à cet examen trop théorique d'une question que l'expérience seule peut résoudre complètement, nous pensons qu'il y a lieu de se montrer très prudent dans l'extension aux grandes voies de chemin de fer d'un procédé qui a donné, jusqu'à présent, toute satisfaction dans les voies de tramways enterrées dans le pavage ou le macadam.

Peut-être sur les grandes lignes trouverait-on dans les longs tunnels, où les variations de température sont moindres qu'ailleurs, un endroit favorable pour y essayer les soudures de rails; mais bien d'autres considérations viendront, dans ce cas, empêcher qu'on se résolve à les y tenter.

Décembre 1904.