

ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE

M. LÉON EYROLLES * (I.), Ingénieur-Directeur

COURS
DE
CHEMINS DE FER

Deuxième Partie
MATÉRIEL FIXE DE LA VOIE

PROFESSEURS :

MM. GRÉGOIRE, Ingénieur honoraire des Chemins de fer de l'État

IMBERT, Sous-Ingénieur des Chemins de fer de l'État

DAUTRY, ancien élève de l'École Polytechnique. — Inspecteur à la C^{ie} du Nord.

Sixième édition revue et augmentée

PARIS

ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
Rue Du Sommerard, Rue Thénard et Boulevard Saint-Germain

1911

PROPRIÉTÉ DU DIRECTEUR DE L'ÉCOLE
Tous droits réservés

COURS DE CHEMINS DE FER

DEUXIÈME PARTIE

Matériel fixe de la voie

CHAPITRE PREMIER

MATÉRIEL DE VOIE COURANTE

Nous entrons maintenant dans le domaine de la superstructure d'une ligne de chemin de fer.

Les travaux de superstructure comprennent tout ce qui est édifié au-dessus de la plate-forme. Ces installations constituent une spécialité sur laquelle nous aurons à nous étendre d'une manière particulière.

Pour en faciliter l'exposé, nous les ferons précéder d'une description du matériel de voie employé dans les chemins de fer.

§ 1^{er}. — VOIE SUR TRAVERSES EN BOIS

Généralités. — La voie se compose actuellement de deux files de barres en acier appelées « rails » posées parallèlement sur des supports transversaux en bois ou en métal que l'on nomme « traverses ». Les rails sont fixés sur les traverses soit directement : c'est alors le rail à patin ou Vignole (1), soit par l'intermédiaire d'un coussinet : c'est alors le rail à *double champignon* ou bien le rail *dissymétrique*.

(1) Nom de l'Ingénieur anglais qui a introduit ce rail en Angleterre en 1836 ; mais il avait été imaginé par un Américain, Stevens, en 1830.

Pour assurer la continuité et la rigidité de la voie et éviter qu'elle ne se déforme au passage des véhicules, les rails sont reliés entre eux bout à bout au moyen de deux armatures métalliques boulonnées que l'on appelle *éclisses*. Dans la pose primitive du rail à double champignon, on n'employait pas d'éclisses : les extrémités de deux rails voisins étaient supportées et emprisonnées dans un coussinet en fonte reposant lui-même sur un support, mais depuis de nombreuses années on a renoncé à ce système. L'assemblage réalisé entre deux rails éclissés s'appelle *joint*.

Les *traverses* ne s'appuient pas directement sur le sol, à cause des inégalités de résistance qu'il présente, non seulement dans les terrains de nature différente, mais aussi dans un même terrain. En s'accroissant au moment des pluies, ces inégalités entraîneraient des déformations d'autant plus grandes que le sol serait plus mauvais. Les traverses reposent sur un matelas perméable de sable ou de pierre cassée appelé *ballast* qui répartit mieux les charges et donne en outre une plus grande élasticité à la voie.

Efforts auxquels la voie est soumise. — Les rails supportent et transmettent aux autres parties de la voie :

1° *Des efforts verticaux* dus au poids des véhicules, transmis par les roues, et qui déterminent la flexion du rail ;

2° *Des efforts transversaux* dus aux mouvements de lacet et à l'action de la force centrifuge et qui agissent sur le rail, soit vers l'intérieur, soit vers l'extérieur de la voie par l'intermédiaire du bandage ou du boudin des roues qui tendent à le renverser ou à le faire glisser latéralement ;

3° *Des efforts longitudinaux* résultant de l'adhérence des roues, soit au moment du démarrage d'un train, soit au moment de l'arrêt provoqué par le blocage des freins. Dans le premier cas, la voie est sollicitée par un effort tendant à l'entraîner en sens inverse de la marche du train et, dans le deuxième cas, dans le sens de la marche.

Pour qu'une voie soit stable et puisse résister à ces divers efforts, il est nécessaire que le rail ait une section suffisante et que ses appuis soient assez rapprochés pour que la limite d'élasticité ne soit pas dépassée.

Il faut aussi que les attaches du rail sur ses appuis soient résistantes et parfaitement maintenues, de façon à former un tout solidaire s'opposant aux efforts transversaux ou longitudinaux, en les répartissant non seulement sur les appuis et les attaches au droit duquel ces efforts s'exercent, mais aussi sur les appuis voisins et sur les deux files de rails.

Jeu de la voie. — Conicité des bandages. — Nous avons déjà parlé, à propos de la constitution du matériel roulant (1^{er} volume) du jeu de la voie et de la conicité des bandages entraînant l'inclinaison des rails. Nous ajouterons ici quelques détails sur cette particularité.

A la suite de la Conférence internationale pour l'unité technique des chemins de fer, qui s'est réunie à Berne en mai 1907, un arrêté ministériel en date du 8 juillet 1908, a déterminé le jeu qui doit exister entre les boudins des véhicules et les bords intérieurs des têtes de rails.

Ce jeu, mesuré d'après le déplacement total de l'essieu, l'écartement de la voie étant supposé de 1 m. 440, doit être au maximum de 35 millimètres et au minimum de 15 millimètres.

Si les bandages étaient cylindriques et les rails verticaux, les roues pourraient se déplacer transversalement dans la limite du jeu de la voie, sans que rien tende à les ramener dans leur position moyenne. Par suite, la moindre défectuosité de la voie aurait pour résultat de rejeter brusquement les véhicules d'un côté ou de l'autre, ce qui provoquerait des frottements anormaux désastreux pour le matériel et des mouvements de roulis désagréables pour les voyageurs. Ces inconvénients sont évités par la conicité du bandage des roues.

La conicité de ces bandages, c'est-à-dire l'inclinaison sur l'horizon de la génératrice en contact avec le rail, est généralement de $1/20^{\circ}$, soit un angle $\alpha = 2^{\circ}51'42''$.

Pour que le bandage de la roue repose normalement sur le rail, il faut que lui-même soit incliné du même angle sur la verticale, à l'intérieur de la voie

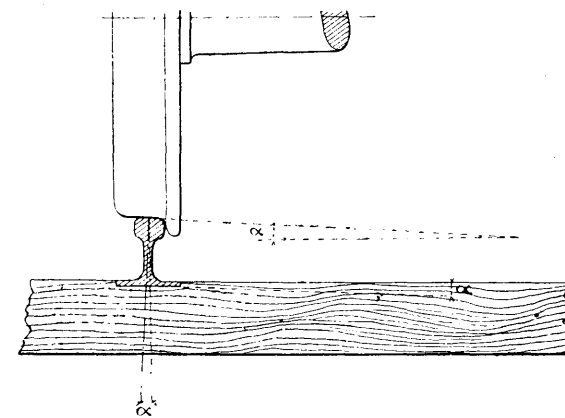


FIG. 1.

RAILS

Forme des rails. — Le rail à double champignon est-il préférable au rail à patin ou Vignole ?

Cette question a fait l'objet de discussions passionnées entre les divers Ingénieurs de chemins de fer. Elle est encore très controversée aujourd'hui ; mais on paraît plus près de sa solution qu'on ne semble le croire ou l'admettre, ainsi que nous le verrons plus loin.

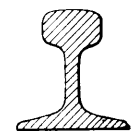
Sans entrer dans le détail de ces discussions qui sortent du cadre de ce cours, il y a lieu de remarquer que le rail à double champignon est employé en France par les réseaux de l'Ouest, d'Orléans, du Midi et de l'Etat, et en Europe par les réseaux anglais. Le rail Vignole est en usage en France sur les réseaux du Nord, du P.-L.-M. et de l'Est ; il est aussi employé dans toute l'Europe continentale, ainsi qu'en Amérique.

La substitution des rails en acier aux rails en fer, accomplie depuis plusieurs années, a complètement modifié la forme de ceux-ci en changeant leur mode d'usure.

Les rails en fer périssaient par l'écrasement et l'exfoliation du champignon à l'intérieur.

On avait donc été conduit à épauler fortement le champignon et à lui donner la forme dite « en poire ». Les partisans du double champignon

avaient, en outre, donné au rail la forme symétrique afin de pouvoir le retourner sens dessus dessous pour user successivement les deux champignons et obtenir ainsi une durée double de celle du rail à patin. Mais les rails en acier, en s'usant au contraire par tranches successives parallèles au plan de roulement et sans



Vignole



Double champignon

déformation du champignon, l'épaulement de cette partie n'avait plus sa raison d'être, ses formes arrondies étaient moins utiles et le bombement excessif de la surface de roulement devenait un inconvénient sérieux en provoquant l'usure trop rapide des bandages des roues. De plus, avec un rail de très longue durée, le retournement sens dessus dessous devenait illusoire, d'autant mieux que le champignon inférieur au bout de quelques années de service, s'usait rapidement au contact du coussinet et présentait en ce point une sorte d'échancrure.

Par suite du retournement, le roulement devenait très désagréable et compromettait même la stabilité de la voie en provoquant le débordement des appuis. De ces constatations est résulté l'abandon du retournement du rail et l'obligation d'accumuler sur le champignon supérieur tout le métal à user. Il devenait dès lors inutile que le champignon inférieur fut semblable au champignon supérieur et on a été conduit à lui donner plus de largeur pour assurer un meilleur encastrement dans le coussinet et par suite une meilleure résistance.

Ces modifications ont ainsi amené la création du rail dit *dissymétrique* (fig. 4 et 5) que les Anglais, qui l'emploient depuis longtemps, nomment *bullheaded*, c'est-à-dire à *tête de taureau*. Quelques réseaux néanmoins ont conservé la forme primitive du champignon inférieur, simplement pour pouvoir utiliser les coussinets déjà en service et s'éviter ainsi des remplacements anticipés toujours onéreux.

De leur côté, les partisans du rail Vignole, après avoir renforcé le rail en accumulant également sur le champignon (fig. 6) une plus forte quantité de métal, ont été amenés à élargir le patin aussi bien pour le mettre dans de meilleures conditions de résistance que pour mieux répartir la charge. En outre, ils ont été conduits d'une façon générale à interposer entre le patin et la semelle, tant pour protéger la traverse que pour rendre les attaches solidaires, une selle en acier qui n'est, en somme, qu'une variété de coussinet.

On voit donc que les deux types de rails tendent à se rapprocher puisque, en réalité, il s'agit, dans les deux cas, d'établir un rail *dissymétrique reposant sur la traverse par l'intermédiaire d'un coussinet ou d'une selle*.

Les figures 3 à 8 donnent les profils de construction de quelques types de rails.

Profils, poids et dimensions des rails. — L'inclinaison *ab* du raccordement de la face verticale du champignon avec l'âme s'appelle *épaulement* et sert d'appui aux éclisses (voir croquis 5 et 6). Cette inclinaison n'est pas quelconque : si elle se rapproche trop de la verticale, la flexion des abouts des rails tend à écarter les éclisses comme un coin et, par suite, à imposer aux boulons un travail exagéré ; si elle se rapproche trop de l'horizontale, tout l'effort se fait sur une partie seulement du champignon et les conditions de résistance du rail sont amoindries.

En France, on donne généralement une valeur de $26^{\circ}34'$ à cette incli-

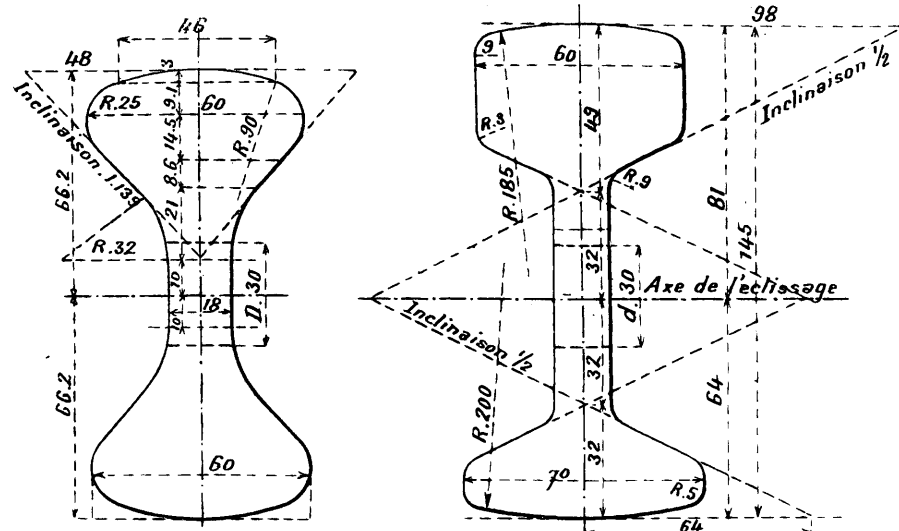


FIG. 3.
Rail D. C. de 38 kilos (P. O. et Etat).

FIG. 4.
Rail D. S. de 40 kilos (Etat).

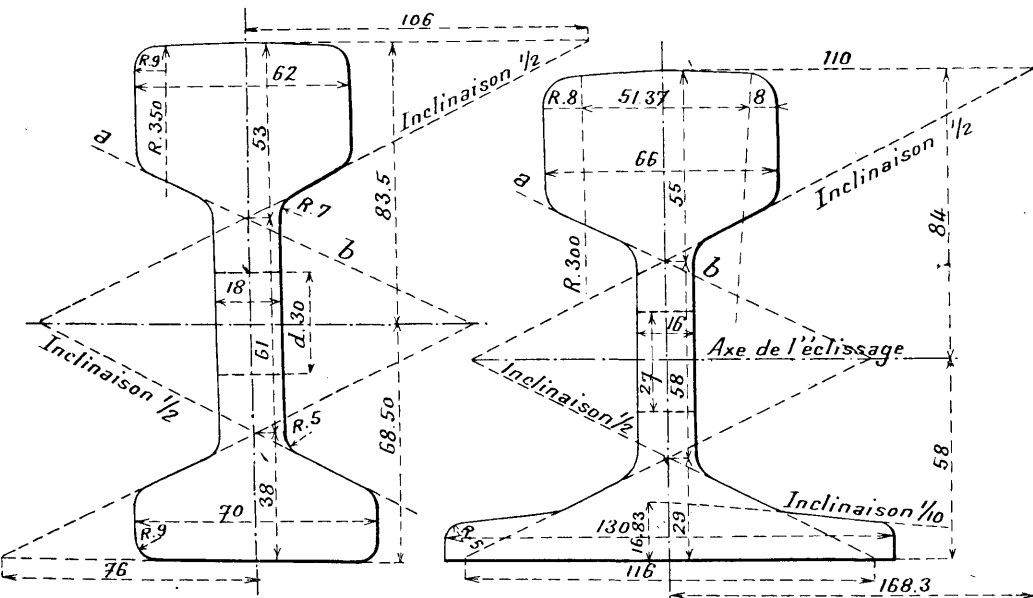


FIG. 5.
Rail D. S. de 46 kil. 250 (Ouest).

FIG. 6.
Rail Vignole de 47 kil. 400 (P.-L.-M.).

naison, soit $\frac{1}{2}$, c'est-à-dire 1 de hauteur pour 2 de base; en Allemagne, elle varie de $\frac{1}{2.5}$ à $\frac{1}{4}$.

Les rails DC Etat et Orléans (fig. 3) avaient une inclinaison de 1,139; cela tenait, au moment où ils ont été créés, à la difficulté du laminage qui ne permettait pas d'obtenir des angles rentrants bien accusés.

L'épaulement qui, dans ces types, était symétrique pour les deux champignons, ne l'est plus dans le rail dissymétrique (fig. 4 et 5) et ne

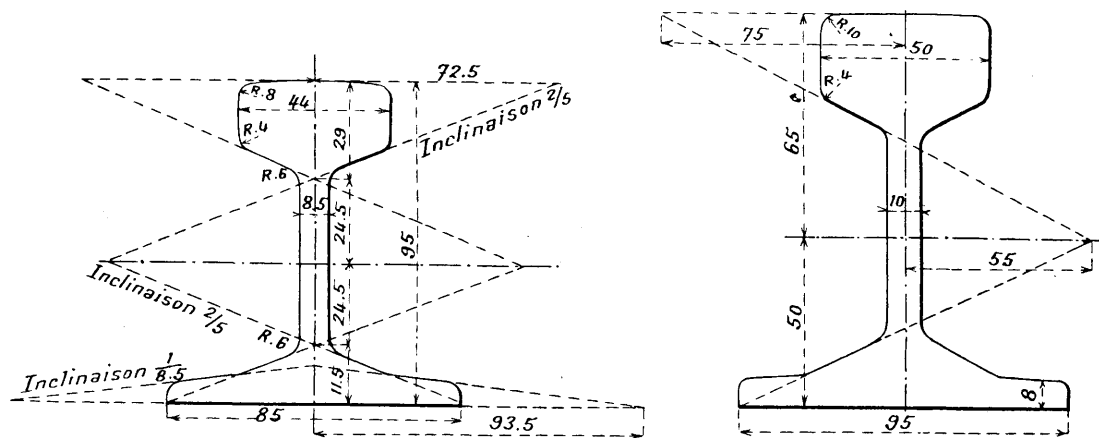


FIG. 7.
Rail Vignole de 18 kil. 250, voie de 1 mètre
(Tramways de la Vendée).

FIG. 8.
Rail Vignole de 26 kil. 500, voie de 1 mètre
(Ligne de Konakry au Niger).

l'est pas dans le rail à patin (fig. 6, 7 et 8) à cause de la nécessité d'augmenter la largeur de la base.

Les expériences faites aussi bien à l'étranger qu'en France (1) au point de vue de l'accélération de la vitesse des trains, ont démontré la nécessité de renforcer le poids des rails qui, en augmentant la rigidité de la voie, diminue sa flexion et, par suite, la fatigue de chaque traverse, en répartissant d'une manière plus régulière sur les appuis voisins la pression due aux charges roulantes.

Pour donner une résistance convenable au rail Vignole, il est nécessaire de conserver un certain rapport entre la hauteur du rail et la lar-

(1) Note de M. Bourret, Ingénieur de la Compagnie de l'Ouest, publiée dans la *Revue générale des chemins de fer* (mai 1894).

Tableau des moments d'inertie et modules de résistance des types de rails les plus récents

DÉSIGNATION des COMPAGNIES	TYPES DE RAILS	POIDS par MÈTRE COURANT	SURFACE de la SECTION NORMALE	MOMENT D'INERTIE de la Section par rapport à un axe horizontal passant par le centre de gravité I	MODULE de RÉSISTANCE $\frac{I}{n}$	OBSERVATIONS
Est.....	Vignole	kilogr. 44,2	mètres carrés 0,005 704	0,000 014 768	0,000 218	Voie large
État.....	Dissymétrique	40,0	0,005 065	0,000 012 599	0,000 164	—
Midi.....	Double-Champ ^{on}	37,5	0,004 887	0,000 009 966	0,000 148	—
Nord.....	Vignole	45,1	0,005 697	0,000 015 861	0,000 205	—
Ouest-État.....	Dissymétrique	44,0	0,005 364	0,000 012 636	0,000 169	—
P.-L.-M.....	Vignole	47,4	0,006 028	0,000 015 855	0,000 223	—
P.-O.....	Dissymétrique	42,5	0,005 356	0,000 012 216	0,000 153	—
New-Yorkcentral	Vignole	49,6	0,006 359	0,000 020 334	0,000 263	—
État-Belge.....	—	52,7	0,006 756	0,000 018 007	0,000 244	—
Saint-Gothard...	—	46,0	0,005 896	0,000 016 400	0,000 223	—
Ouest.....	Dissymétrique	26,0	0,003 167	0,000 005 237	0,000 087	Voie étroite
Tramways de la Vendée.....	Vignole	18,2	0,002 325	0,000 002 929	0,000 060	—
Tramways de Loir-et-Cher..	—	15,0	0,001 918	0,000 001 777	0,0000 404	—

Tableau des rails en acier en service courant dans divers réseaux ou compagnies

DÉSIGNATION DES RÉSEAUX	DÉSIGNATION DES RAILS							OBSERVATIONS
	TYPES	LONGUEUR NORMALE en mètres	POIDS en kilogr. du mètre	DIMENSIONS EN M/M				
				a	b	e	h	
		mètres	kilogr.					
Est.....	Vignole	12	30	57	99	13,5	120	Dans les nouveaux types de rails ou rails renforcés, la hauteur de l'âme est restée sensiblement la même que dans les anciens types. La hauteur seule du champignon supérieur a été augmentée.
	—	12 et 18	44	60	130	13,5	141	
Etat.....	D. C.	11 et 5,5	38	60	60	18	132,4	
	D. S.	11; 16,5 et 22	40	60	70	16	145	
Midi.....	D. C.	11 et 5,50	37,6	61	61	16	134	
Nord.....	Vignole	12 et 8	30	56	97	12	125	
	—	12	45,125	60	136	15	144	
Ouest-État.....	D. C.	8	38,700	62	62	18	130	
	D. S.	12	44	62	62	18	140	
	D. S.	18	46,25	62	70	18	152	
P.-L.-M.....	Vignole	12	38,8	60	130	14	130	
	—	12 et 18	47,4	66	130	16	142	
P.-O.....	D. C.	11 et 5,5	38	60	60	18	132,4	
	D. S.	11	42,5	60	60	18	145	
London And N. W.....	D. S.	varie	42,65	69,9	70	21	140	
Great Western.....	D. S.	de 9,15	39	69,8	63,5	17,4	141,3	
Midland.....	D. S.	à 12,20	42,16	66,7	66,7	20	143	
Etat-Belge (Goliath).....	Vignole	6 et 9	52,7	72	135	17	145	
New-York et Hudson River Rail Road.....	—	12,20	50,8	76,2	139,7	15,1	152,4	
Pennsylvania R. R.....	—	12,20	50,6	71,3	134,7	15,9	140	
Prusse-Chemin de fer de l'Etat.....	—	12 et 15	43,430	72	110	18	138	
Hollande-Chemin de fer de l'Etat.....	—	12	40	60	102	10,2	138,7	
Franco-Algérienne.....	—	6 et 9	20	44	88	9,5	100	
Départementaux.....	—	8	20	46	82	10	96	
Dakar-Saint-Louis.....	—	8	20	45	86	9	98	
Nantes à Lège et Tramway d'Ille-et-Vilaine.....	—	8	18	44	78	9,75	90	
Tramway Vendée.....	—	8	18,250	44	86	8	95	
— Sarthe.....	—	8	15	42	66	9	84	

Voie étroite.

les rails de grande longueur (18 et 24 mètres) on donne aux trous une section ovale d'environ 27×35 , comme au P.-L.-M. ou bien on perce des trous ronds de 30 millimètres dans les éclisses également, comme à l'Ouest.

Métal des rails. — Les premiers rails ont été faits en fer laminé, mais, depuis plusieurs années, on emploie exclusivement l'acier. Nous nous occuperons seulement des rails fabriqués avec ce métal, les rails en fer ne présentant plus qu'un intérêt rétrospectif.

L'acier à rails, produit en grandes masses par les procédés Bessemer ou Martin-Siemens (acide ou basique) est un composé de fer mélangé avec quelques parties de carbone, de manganèse, de phosphore, de soufre et de silicium. Il a un grain plus fin que le fer, il est plus dur et plus homogène.

Certains ingénieurs laissent les usines libres de fabriquer le métal comme elles l'entendent, en leur imposant seulement des essais divers et un long délai de garantie, d'autres fixent les proportions de C. et de Ph. tout en imposant également des essais et un délai de garantie.

Le S et surtout le Ph. sont considérés comme des éléments nuisibles : la fabrication doit donc tendre à les éliminer le plus possible. Le C et le Si. augmentent la durée de l'acier, mais tandis que la proportion du premier doit être au minimum de 0,400 p. 100 le deuxième ne doit pas dépasser 0,150 p. 100, car, au delà, il peut produire des tapures dans le métal et le rendre trop fragile. Le Mn. agent indispensable de la décarburation de la fonte, existe nécessairement dans l'acier. Il améliore la qualité de l'acier s'il n'est pas en excès, c'est-à-dire s'il ne dépasse pas 1 p. 100 à 1,1 p. 100.

En résumé, un acier pour rails doit contenir, en dehors du fer lui-même, pour cent parties de ce métal :

- plus de : 0,400 de C. et moins de 1,500,
- 0,800 de Mn. et moins de 1,100,
- 0,080 de Si. et moins de 0,150,
- et moins de : 0,060 de S.,
- 0,100 de Ph.

La tendance actuelle est d'avoir un acier dur.

La dureté d'un acier ne dépend pas seulement de sa composition chimique, mais aussi de son état physique qui varie avec la pression à

laquelle il est soumis au moment de sa fabrication et avec le commencement de trempe qu'il subit par l'effet des changements de température. Ces derniers agissent en sens inverse de l'épaisseur du métal. C'est pour ce motif que l'on est conduit à adopter, pour le rail Vignole, un acier plus doux que pour le rail D. C. car les bords du patin se trempant plus facilement que le restant de la masse, il se produit, pendant le laminage, des tensions moléculaires irrégulières qui seraient beaucoup plus sensibles avec un acier plus dur.

Le réseau de l'Etat impose comme conditions (1) :

Coefficient de résistance 68 kilos par millimètre carré à la traction :

Allongement minimum 8 p. 100 mesuré sur un barreau d'essai de 100 millimètres de longueur et $13^m/8$ de diamètre découpé dans le champignon du rail.

L'Union des métallurgistes allemands a décidé, en 1900, que le coefficient de résistance minimum de l'acier pour rails serait de 55 kilos par

(1) Voici les principales conditions de fabrication imposées par ce réseau : Le poids des lingots coulés est déterminé de manière à obtenir, après le laminage, des chutes dont la longueur totale sera de 1 mètre au minimum sans préjudice des coupes nécessaires à leur sortie du laminage d'abord et ensuite pour la mise à leur longueur définitive au moyen de la fraise. Le perçage des trous se fait au forêt ou mèche.

Épreuves : 1° Le rail placé de champ sur deux points d'appui espacés de 1 mètre devra supporter en son milieu, pendant 5 minutes, une pression de 25.000 kilos sans conserver une flèche de plus de 0 m. 0005 ;

2° Il devra supporter, pendant 5 minutes, une pression de 48.000 kilos sans conserver une flèche de plus de 0 m. 025. Puis, on augmente la charge jusqu'à la rupture ;

3° Chacune des deux moitiés de la barre cassée placée sur deux appuis espacés de 1 m. 10 devra supporter, sans se rompre, un poids de 600 kilos tombant de 2 mètres de hauteur au milieu de l'intervalle des appuis. La flèche permanente obtenue ne devra pas dépasser 0 m. 014.

Dans le rail sur lequel on a prélevé le coupon ayant servi aux épreuves ci-dessus, on découpe à froid, dans la masse du champignon supérieur, une barrette qui, dans la partie tournée, a 0 m. 100 de longueur utile et 0 m. 0138 de diamètre. Cette barrette devra supporter une charge croissant progressivement jusqu'à rupture. Si on désigne par R l'effort de rupture en kilo par millimètre carré de la section primitive et par A l'allongement pour 100 mesuré après rupture, ces deux quantités devront satisfaire la relation : $R + 2A \geq 92$. La résistance R ne doit pas d'ailleurs être inférieure à 68 kilos et l'allongement A inférieur à 8 p. 100.

Le fournisseur garantit les rails pendant 6 ans à dater de leur mise en service.

Le prix des rails varie suivant les cours, non seulement d'une année à l'autre, mais dans le courant d'une même année. Il est actuellement de 177 francs la tonne pour les rails Vignole et de 165 francs pour les rails dissymétriques, rendue dans les parcs d'approvisionnement.

millimètre carré avec un allongement de 12 p. 100 sur un barreau d'essai de 0 m. 200.

En Angleterre, le coefficient de résistance imposé varie de 60 à 65 kilos ; quelques Compagnies imposent même 78 kilos.

Cela indique que l'on n'est pas absolument fixé sur la nature du métal à employer et le Congrès des Chemins de fer, en 1900, résumant les études spéciales faites à ce sujet, conclut ainsi :

« Il ne semble pas possible de préciser actuellement la nature du métal qu'il conviendrait de recommander pour la confection des rails. Il y a lieu de continuer les études déjà faites dans ce but en précisant ce que l'on entend par acier dur ou doux et en adoptant des unités expérimentales uniformes. »

Quoi qu'il en soit, il est parfois nécessaire de se rendre compte du travail du métal sous le passage des charges roulantes.

Sans entrer dans de longues explications, on peut dire que le rail peut être considéré :

1° Comme une poutre encastrée à ses deux extrémités, si la voie est bien établie et parfaitement entretenue ;

2° Comme une poutre reposant sur deux appuis, si ses supports ou son entretien laissent à désirer.

Dans ces conditions, le moment fléchissant maximum se produit pour la partie du rail comprise entre deux appuis, lorsque l'essieu le plus chargé se trouve au milieu de cette portée.

Si donc, on représente par P la demi-charge portée par l'essieu ; L la distance d'axe en axe de deux appuis voisins, le moment fléchissant maximum sera donné (abstraction faite du poids du rail) par les formules

$$\frac{PL}{8} \text{ dans le premier cas et } \frac{PL}{4} \text{ dans le deuxième}$$

et le travail R du métal par millimètre carré de section (le mètre carré contenant un million de centimètres carrés), par la relation :

$$R \frac{I}{n} = \frac{PL}{4 \text{ ou } 8} \text{ et } R = \frac{\frac{PL}{4 \text{ ou } 8}}{\frac{I}{n} \times 10^6}$$

dans laquelle $\frac{I}{n}$ est le module de résistance, c'est-à-dire le rapport du moment d'inertie et de la fibre neutre.

Usure des rails. — La durée des rails en acier n'a pu encore être pratiquement déterminée. On admettait autrefois que les rails d'acier s'usaient normalement et parallèlement à la face supérieure du champignon jusqu'au moment où, celui-ci devenu trop mince, pour supporter le passage des trains, devait être remplacé.

Mais, au fur et à mesure de leur emploi, on a dû reconnaître (1) que l'usure est presque nulle et que les motifs de rebut des rails résident surtout dans les détériorations accidentelles auxquelles ils sont soumis, telles que cassures, fentes longitudinales, écrasements, etc... M. Couïard estime qu'avec une pose normale, le passage de 150.000 à 200.000 trains, diminue de 1 millimètre la hauteur du champignon du rail. Or, avec les champignons actuellement en service, on peut, sans exagération, atteindre une usure de 15 millimètres (2), ce qui assurerait à ces rails un passage de 2.500.000 à 3.000.000 de trains, soit pour une section chargée, comme celle de Paris-Versailles, par exemple, où il passe annuellement 29 à 30.000 trains sur chaque voie, une durée minimum de 75 ans. Pour des lignes ordinaires, la durée dépasserait de beaucoup le siècle, si l'on n'avait à tenir compte que de l'usure normale. Mais, comme nous l'avons fait observer, cette durée ne sera pas atteinte à cause des remplacements dus aux causes accidentelles et spécialement aux ruptures. On a remarqué que ces ruptures étaient beaucoup plus nombreuses dans les premières années qui suivaient la pose que dans les années postérieures. Cela tient à ce que les défauts provenant de la fabrication qui ont pu passer inaperçus au moment de la réception à l'usine se révèlent sous l'action du passage des véhicules. Ces faits démontrent la nécessité d'imposer aux fournisseurs un délai de garantie de quelques années ou mieux le passage de 50.000 trains, ce qui correspond à une durée de 6 ans pour une ligne à circulation moyenne. Une autre cause de rupture fréquente qui échappe à l'examen ou à l'analyse du métal dans la partie brisée, réside dans l'existence des méplats dus à une usure irrégulière des bandages des roues. Ces méplats produisent des chocs d'une grande intensité et particulièrement dangereux aux passages des joints de la voie. M. Rabut, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans une confé-

(1) Etude de M. Couïard, dans la *Revue Générale des Chemins de fer*, 1884.

(2) La Compagnie P.-O. admet une usure de 12 millimètres pour le rail D. C. de 38 kilos et de 25 millimètres pour le rail de 42 kilos 500. Le Nord 12 millimètres pour les rails de 30 et 37 kilos et 16 millimètres pour les rails de 43 et 45 kilos.

rence publiée dans la *Revue Générale des Chemins de Fer*, de novembre 1901, cite une machine P.-O. qui, dans le parcours de Paris à Limoges, brisa, dans une nuit, 100 rails d'un même côté de la voie, et le lendemain, en revenant, 50 rails de l'autre côté. En visitant la machine, on constata un assez fort méplat sur une des roues motrices.

L'usure normale des rails n'est pas semblable dans un même parcours; elle dépend de diverses causes.

Les constatations faites permettent de dire que cette usure est plus rapide pour l'acier doux que pour l'acier dur; qu'elle est plus grande avec le ballast en sable qu'avec le ballast en pierres cassées, par suite de la projection du sable sur le rail ou sur ses appuis immédiats. C'est aussi pour ce motif qu'elle est plus accentuée sur les rampes où les mécaniciens font usage de la sablière. L'usure est également beaucoup plus grande dans les tunnels (1) qu'en pleine voie à cause de l'oxydation due à l'humidité presque constante qui y règne ainsi qu'à l'action des gaz sulfureux échappés des machines et, en général, dans toutes les parties où s'exerce habituellement le freinage des trains (2).

Longueur des rails. Joints. Soudures. — La partie faible d'une voie, c'est le joint, parce que, quel que soit le mode d'éclissage, on ne peut obtenir la même résistance en ce point que dans le restant du rail. On est donc conduit à rechercher l'emploi de rails de grande longueur, qui réduisent le nombre des joints ainsi que les dépenses d'éclissage.

(1) Dans les tunnels mal ventilés, très humides, on estime que le matériel, rails, éclisses, coussinets, selles, doit être remplacé tous les 15 ans au maximum. Pour éviter cette usure, au Midland-Railway, on peint les rails au minium, 3 couches avant la pose et 1 couche après. Cette pratique aurait augmenté la durée des rails de 30 à 50 p. 100. Au P.-L.-M. on goudronne à chaud, avant la pose, les rails neufs et leurs attaches, mais pour que ce procédé fût efficace, il faudrait le renouveler au moins deux fois par an sur place.

(2) Sur les lignes du genre Métropolitain cette usure, dans certaines parties de voies, dépasse toute prévision.

Dans une courbe du chemin de fer Métropolitain de Boston, on a constaté, sur des rails ordinaires en acier, une usure du champignon supérieur de $19^{\text{mm}}/5$ en 44 jours. Aussi a-t-on été amené à essayer des rails d'un métal plus résistant : acier au nickel, acier au manganèse. C'est ce dernier qui paraît le plus résistant, car un rail de cette nature, placé dans les conditions indiquées précédemment, n'a donné que 5 millimètres d'usure après 247 jours d'emploi. Mais le prix de ces rails est très élevé.

Les premiers rails en acier mis en service avaient la même longueur que les rails en fer qu'ils étaient destinés à remplacer, soit 5 m. 50 et 6 mètres. On craignait, en augmentant leur longueur, de rendre leur remplacement plus difficile et plus onéreux. Devant les résultats obtenus au bout de quelques années, les ingénieurs n'hésitèrent plus et demandèrent aux usines des barres de 12 mètres de longueur, couramment employées depuis 1883.

Depuis lors, la tendance s'est accentuée et plusieurs Compagnies ont mis en service des rails de 18 mètres et 22 mètres de long, qui sont employés de préférence sur les ponts métalliques, dans les tunnels ou sur des lignes particulièrement chargées. Le P.-L.-M. a même commencé l'essai de barres de 24 mètres représentant le maximum de longueur que l'on peut obtenir avec l'outillage métallurgique actuel.

En Angleterre, la longueur générale des rails est de 30 pieds (9 m. 15). On en fait également de 46 et de 40 pieds (11 mètres et 12 m. 20). La même longueur paraît également être adoptée aux Etats-Unis, quoique sur certaines lignes on emploie un rail de 45 pieds (13 m. 72).

Certains ingénieurs américains ont préconisé la suppression totale des joints des rails en soudant leurs abouts, et M. Brillé (1) estime que si les rails sont solidement tenus, cela ne présente aucun inconvénient. Il fait ressortir que le coefficient de dilatation de l'acier étant de 0,00012, l'allongement par mètre courant pour une variation de température de 30° est de 0 m. 00036, et que si cet allongement ne peut se produire ou si la contraction est rendue impossible, le rail n'est soumis en somme qu'à un effort intérieur de 0,00036 E (2), ou $0,00036 \times 20.000 = 7$ kil. 200 par millimètre carré.

Ces résultats seraient plus que satisfaisants s'ils étaient confirmés par l'expérience; le fait est loin d'être acquis et si l'application de cette idée a été réalisée sur quelques lignes de tramways de grandes villes, comme Paris, Berlin, Lyon, le Havre, Marseille, etc..., c'est parce que les rails sont encastrés solidement dans la chaussée et échappent par là partiellement aux effets de la température, tout en résistant mieux transversalement. Il n'en est pas de même sur les voies principales des chemins de fer et l'on s'est borné jusqu'ici à faire sur des voies accessoires, quelques

(1) *Revue des Sciences pures et appliquées*, novembre 1898.

(2) Coefficient d'élasticité du métal égal à 20.000 environ pour l'acier.

essais du joint Falek en vue de diminuer le nombre des joints, mais non de les supprimer (1).

Ce système n'est d'ailleurs pas, à proprement parler, une soudure de rails : c'est la réunion de deux rails, dont on a rapproché les extrémités le plus possible, par un bloc de fonte que l'on coule, incandescente, dans un moule posé à l'emplacement de l'éclissage ordinaire. La fonte provient d'un cubilot mobile installé sur un chariot *ad hoc*, que l'on conduit le plus près possible des lieux d'opération.

Actuellement, on réalise de préférence cette soudure de rails de tramways par le procédé Goldschmidt, dit aluminothermie qui est exploité par une société particulière.

Cheminement des rails. — Indépendamment du glissement des rails sur leurs appuis, dû à la dilatation ou au retrait du métal occasionné par les variations de température, il y a ce que l'on nomme le *cheminement* dû aux efforts longitudinaux dont nous avons parlé.

Il est bien rare que ce cheminement soit égal dans les deux files de rails d'une même voie, c'est pour ce motif que l'on constate assez souvent dans des voies posées depuis plusieurs années des joints ne se trouvant plus sur une même perpendiculaire à l'axe de la voie. M. Couard a publié dans la *Revue Générale des Chemins de fer*, une étude très détaillée à ce sujet. Son analyse nous entraînerait trop loin.

Les causes du cheminement sont multiples et complexes. On constate que ce phénomène se produit dans le sens de la marche des trains les plus rapides et les plus chargés ; qu'il est plus accentué dans les pentes que dans les rampes ; que dans les courbes le grand rayon se déplace plus que le petit. On remarque également que ce cheminement est plus grand dans les lignes à double voie, c'est-à-dire celles parcourues toujours dans le même sens, que dans les voies uniques où un état d'équilibre semble se produire par l'effet de la marche dans les deux sens ; enfin, il se fait sentir davantage dans les premières années qui suivent la pose.

Au point de vue pratique et sauf dans les lignes à profil très accidenté, le système actuel d'éclissage, complété dans certains cas par l'emploi de selles-arrêt dans la pose Vignole, suffit pour remédier à ces déplacements et dans une voie bien posée on n'a guère à s'en préoccuper.

Sur la ligne, à voie de 1 mètre, du Fayet à Chamonix, ouverte le

(1) Voir *L'Ingénieur-Constructeur*, n° 7, de 1903, « Rails continus », par Imbert.

1^{er} juillet 1901, posée avec des rails Vignole en acier de 12 millimètres, pesant 34 kil. 400 le mètre, et dont le profil présente des rampes de 90 millimètres (dont une de 2.155 mètres de longueur) franchies par

simple adhérence, il est évident que les moyens ordinairement employés n'auraient pas suffi à empêcher le cheminement de la voie. Aussi la Compagnie P.-L.-M. a-t-elle complété ses procédés habituels par la construction de heurtoirs maçonnés (figure 10) espacés de 100 mètres en intercalant entre eux un certain nombre d'autres heurtoirs composés, comme les premiers, de deux coupons de rails de 1 m. 20 de longueur, mais qui, au lieu d'être noyés dans une maçonnerie, sont simplement enfoncés dans la plate-forme et coincés fortement avec des moellons.

Ces derniers ont donné un meilleur résultat que les premiers, probablement parce qu'ils sont plus élastiques, fléchissant sous l'action des charges remorquées, mais reprenant, aussitôt qu'elle cesse, leur position première.

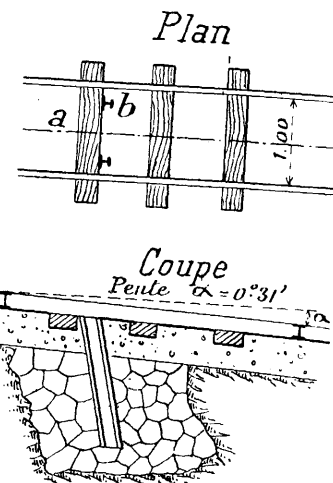


FIG. 10.

ÉCLISSES

On nomme *éclisses* deux armatures en fer ou en acier laminé, destinées à relier, au moyen de boulons, les extrémités des rails et assurer ainsi la continuité de la voie. Elles s'appliquent contre l'âme du rail au-dessous du champignon supérieur, de manière à ne pas être heurtées par les roues des véhicules, au passage des trains. Elles sont, en général, percées de quatre trous, d'un diamètre égal ou légèrement supérieur à celui des boulons, et correspondant à ceux qui sont percés aux extrémités des rails.

Les éclisses sont avec ou sans rainure, simples ou renforcées. Une paire d'éclisses se compose de deux éclisses que l'on désigne sous le nom : l'une d'éclisse intérieure, l'autre d'éclisse extérieure. L'éclisse à rainure destinée généralement à recevoir la tête en fer du boulon et l'empêcher



FIG. 11.

P.-L.-M. (fig. 17), en les tirefondant sur ces dernières, mais ce système fatigue beaucoup les tirefonds, les ébranle et les fait tourner fous au bout de peu de temps.

Dans d'autres Compagnies, comme l'Ouest-Etat, en vue d'éviter dans la pose D. C. de trop grands porte-à-faux, inévitables avec l'éclissage

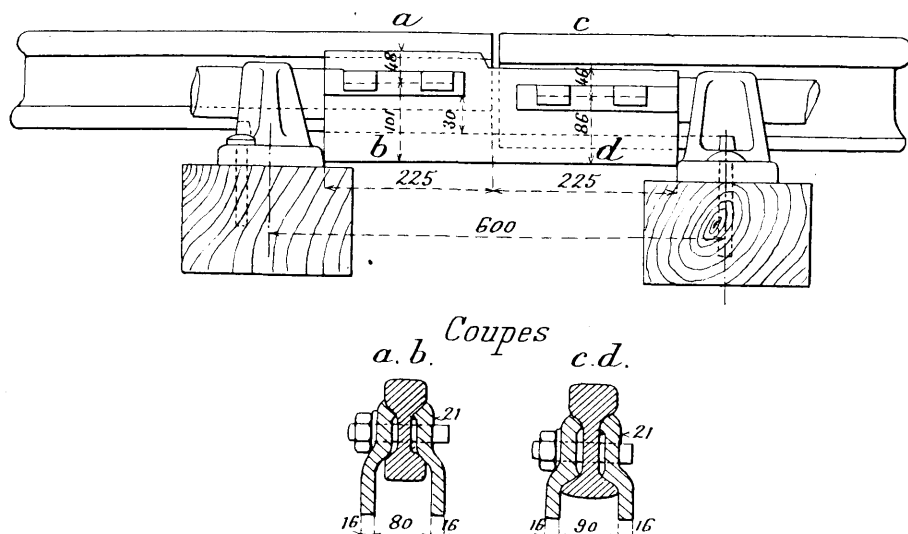


FIG. 16.

Type d'éclisses de raccord de deux rails de hauteur différente. Poids : 18 kil. 900.

habituel, on emploie des éclisses à patin supprimant les coussinets des traverses sur lesquelles elles viennent reposer (fig. 15). Cette disposition coûteuse n'a pas procuré jusqu'ici des résultats bien avantageux, à cause du martelage qui se produit sur les parties métalliques en contact.

Le chemin de fer du Saint-Gothard emploie une éclisse spéciale à support représentée par la figure 21, pour soutenir le joint plus efficacement. Les bouts des rails sont supportés, en dessous, par deux clavettes à plan incliné reposant dans une mortaise de l'éclisse. Le serrage est obtenu par l'enfoncement plus ou moins profond de la clavette supérieure.

Dans le même but, on emploie sur les chemins américains une éclisse embrassant presque entièrement le patin du rail (fig. 19). Mais, à l'heure actuelle le système qui paraît aux États-Unis devoir se généraliser est l'éclissage représenté par la figure 20.

On a également créé divers types d'éclisses de raccord destinés à assembler les rails de types différents, de manière à avoir toujours la

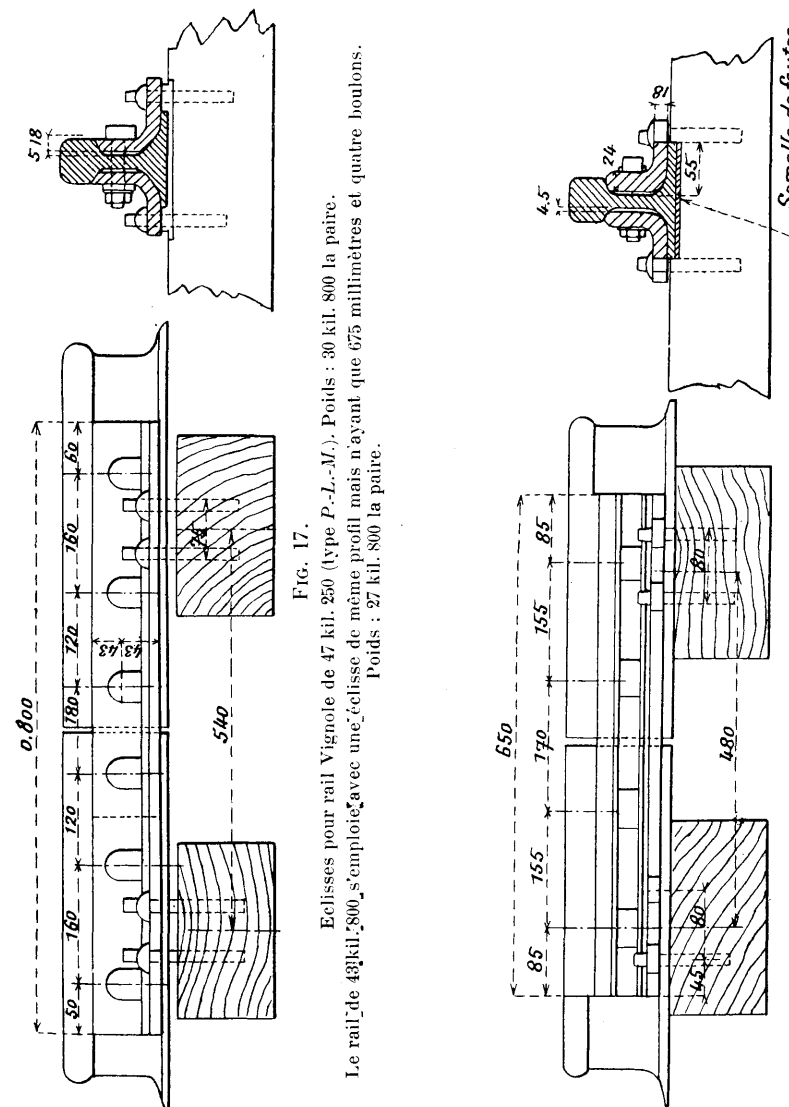


FIG. 17.

Eclisses pour rail Vignole de 47 kil. 250 (type P.-L.-M.). Poids : 30 kil. 800 la paire.

Le rail de 43 kil. 250 s'emploie avec une éclisse de même profil mais n'ayant que 675 millimètres et quatre boulons. Poids : 27 kil. 800 la paire.

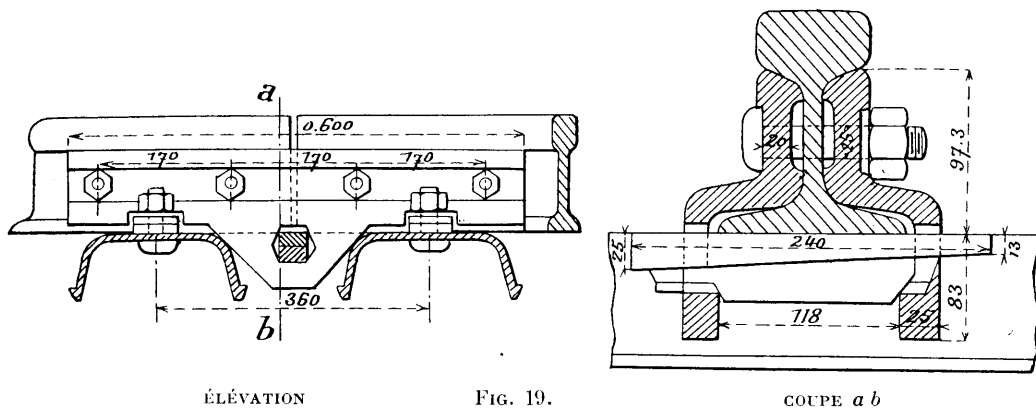
FIG. 18.

Eclisse pour rail Vignole de 43 et 45 kilos (type Nord).

table de roulement dans un même plan horizontal. De là est venue cette forme spéciale d'éclisses dont un type est représenté par la figure 16.

L'éclissage le plus généralement employé dans les voies étroites est celui représenté par la figure 22.

Le poids des éclisses a subi une progression croissante considérable,



ÉLEVATION

FIG. 19.

COUPE a b

Eclisse support du Chemin de fer du Saint-Gothard.

puisque de 9 kil. 500 la paire, il est passé à 25 kil. 560, abstraction faite de l'éclisse-coussinet spéciale de l'Ouest, qui pèse 65 kil. 900.

Les éclisses se font actuellement en acier auquel on demande une résistance de 65 kilos par millimètre carré, avec un allongement de 10 p. 100, mesuré sur une barrette de 100 millimètres de longueur. Les conditions de réception se complètent, comme pour les rails, par des épreuves au choc, à la flexion et à la rupture.

L'usure de ce matériel, en dehors des cas accidentels, est insignifiante : elle se produit néanmoins dans les trous et sur les portées d'éclissage, mais on

peut dire que les remplacements faits jusqu'à ce jour ont été surtout provoqués par le changement de type des rails ou de l'éclisse elle-même.

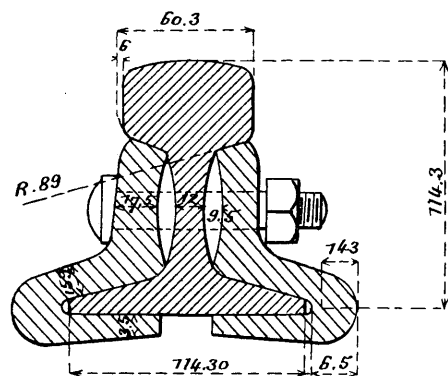
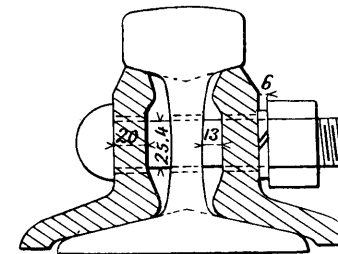


FIG. 20.

Eclisse à pont pour rail de 37 kilos de 610 millim. de longueur à quatre boulons.
(Type des Chemins de fer américains.)

Coupe ab.



Plan

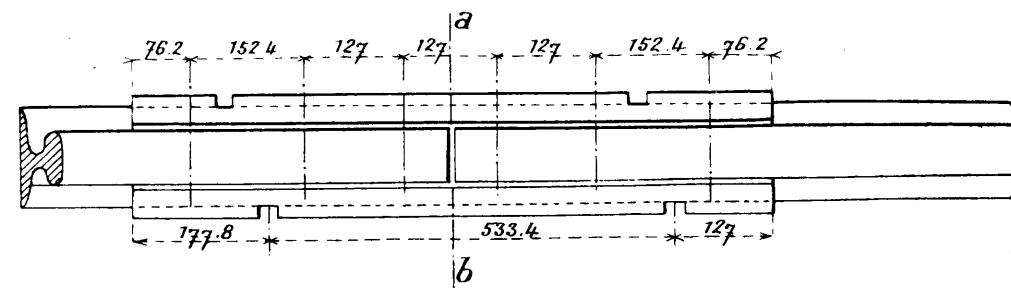


FIG. 21.

Eclissage du rail de 85 livres par yard (42 kil. 200) des Chemins de fer américains.
Eclisses cornières à six boulons.

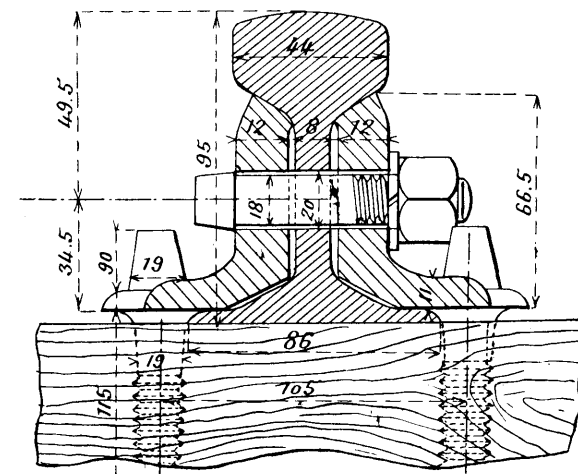


FIG. 22.

Coupe de l'éclissage d'un rail Vignole de 18 kil. 250.
Eclisses cornières à quatre boulons (type Tramways de la Vendée).

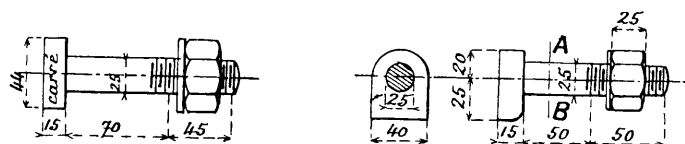
Le prix varie suivant les cours des métaux, il est actuellement de 207 francs la tonne pour les éclisses de rails dissymétriques ; de 225 francs pour celles de rails Vignole ; il atteint même 245 francs pour les éclisses renforcées de la voie D. C. La durée de garantie imposée aux fournisseurs est de trois ans après la date de la dernière réception à l'usine.

Boulons d'éclisse. — Les boulons d'éclisse sont formés communément d'une tige cylindrique filetée à un bout et portant un écrou, terminée à l'autre extrémité par une tête de forme variable (fig. 23). On leur donne généralement 25 millimètres de diamètre, soit une section normale de 490 millimètres carrés.

Ils sont destinés à assurer le serrage des éclisses contre le rail.

Leur nombre varie suivant le système de voie employé, de 4 à 10 ; habituellement on n'en emploie que 4 par paire d'éclisses.

Le filet a généralement pour section normale un triangle isocèle, avec



Boulon d'éclisse (Ouest-État).
Rail de 46 kil. 250. Poids :
900 grammes.

FIG. 23.

Boulon d'éclisse (P.-L.-M.). Rail de
34 kil. 400 à 47 kil. 250. Coupe A B.
Pas de 3 millimètres. Poids : 750 gr.

les angles légèrement arrondis ; cependant certains types présentent une section triangulaire dont un côté se rapproche davantage d'une perpendiculaire à l'axe longitudinal. Le pas est généralement de 3 millimètres avec une saillie de filet de 2 millimètres. La hauteur de l'écrou doit être telle que la pression par millimètre carré sur le filetage ne dépasse pas 1 kilogramme. Pratiquement, on fait la hauteur de l'écrou égale au diamètre de la tige non filetée.

Pour donner à l'écrou un meilleur appui sur l'éclisse et une plus grande résistance au desserrage, on interpose entre ce dernier et l'éclisse une rondelle cylindrique en fer plat de 40 à 45 millimètres et de 2^{m/m} 1/2 à 3 millimètres d'épaisseur environ.

La question du desserrage des écrous est une de celles qui ont beaucoup préoccupé les Ingénieurs. Aussi de nombreux inventeurs ont proposé différents systèmes pour remédier à cet inconvénient.

Pour remplacer la rondelle ordinaire, on emploie sur certains réseaux une rondelle en acier, fendue et en forme de spire, de manière à former ressort. C'est la rondelle « Grower » du nom de son inventeur. Quoique son emploi paraisse aujourd'hui donner toute satisfaction, il ne s'est pas

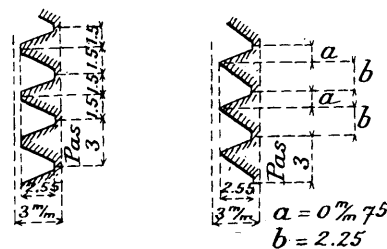


FIG. 24.

Disposition des filets.
Symétrique. Assymétrique.

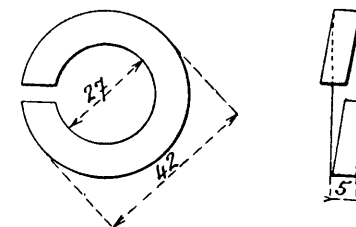


FIG. 25.

généralisé dans toutes les compagnies. Son prix est peu élevé ; il est d'environ 0 fr. 017 pièce.

On a aussi essayé le boulon système Linet, dans lequel le filetage présente la forme indiquée au croquis ci-contre en vue de s'opposer plus efficacement au desserrage.

L'écrou est fendu, avant son filetage, par un trait de scie, suivant un rayon et sur un des angles, dans le but d'en faire un ressort que l'on obtient soit en taraudant l'écrou à un diamètre plus petit,

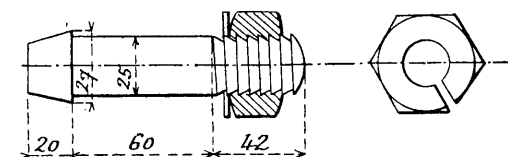


FIG. 26.

Boulon pour voie en rails de 38 et 40 kilos.
Poids : 760 grammes.

soit en le resserrant de l'épaisseur de la fente. Son prix, comparé avec celui du boulon ordinaire, est plus élevé de 0 fr. 06 environ.

Les boulons sont, en général, en fer ; néanmoins, depuis deux ou trois ans, on commence à les demander en acier.

Les conditions de fabrication imposées aux fournisseurs sont habituellement les suivantes :

Boulons en fer. — Limite d'élasticité : 15 kilos. Résistance : 34 kilos. Allongement : 20 p. 100 sur une barrette de 200 millimètres de longueur faisant au minimum la section totale de la tige et au maximum 500 millimètres carrés.

Boulons en acier. — Pour les boulons en acier, on impose une résistance de 40 kilos avec une limite d'élasticité de 20 kilos et un allongement de 20 p. 100 à un barreau d'essai de mêmes dimensions que ci-dessus, ou bien on tourne la partie non filetée 1/2 millimètre plus faible que le diamètre du fond du filet, on visse l'écrou et on soumet ce boulon aux efforts de traction indiqués ci-dessus (limite d'élasticité 20 kilos et limite de rupture, 40 kilos).

La tête des boulons doit être refoulée dans la masse et le filetage obtenu avec la machine à tarauder en une seule passe.

Leur prix, variable avec les cours du métal, est aujourd'hui de :

300 francs la tonne pour les boulons d'éclisses en fer ;

285 francs la tonne pour les boulons en acier employés avec les coussinets de traverses métalliques ;

510 francs la tonne pour les boulons à embase des crapauds des traverses métalliques ;

295 à 300 francs la tonne pour les boulons d'éclisses en acier.

Coussinets. — Le coussinet dans la voie D. C. est l'intermédiaire de pression entre le rail et la traverse. Plus la surface de base est grande,

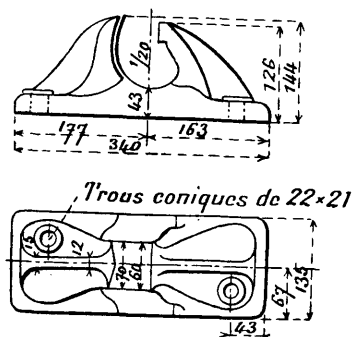


FIG. 27.

Pour rail D. C. de 38 kilos.
Poids : 14 kil. 100.

Surface de la base : 437 cent. carrés.

COUSSINETS

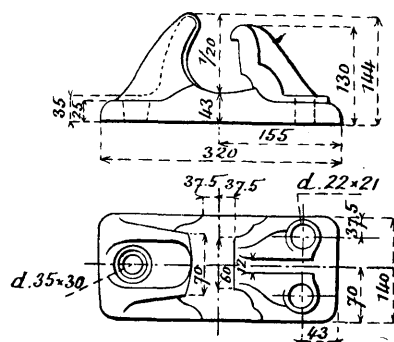


FIG. 28.

Pour rail D. S. de 40 kilos.
Poids : 14 kil. 700.

Surface de la base : 448 cent. carrés.

plus la pression transmise par unité de surface est réduite. On peut donc dire qu'on n'est limité dans sa construction que par l'assiette que lui offre la traverse et par son prix de revient. On le fait ordinairement en fonte. Il présente une chambre assez grande, dont la partie inférieure

épouse la forme du rail. Cette chambre est limitée par deux mâchoires dont l'une, extérieure à la voie, est évasée pour faciliter l'introduction d'un coin ; l'autre, intérieure à la voie, est moins haute, afin de ne pas être atteinte par le bandage des roues. Ainsi que le montrent les croquis des différents coussinets (fig. 27 à 29), on voit que le rail ne porte directement que par trois points dans la chambre ; aux extrémités supérieure et inférieure de la mâchoire intérieure et sur la semelle ; il porte également sur la mâchoire extérieure par l'intermédiaire d'un coin. Cette disposition, nécessaire pour permettre facilement la pose et la dépose du rail et lui assurer un meilleur contact avec le coussinet, doit être aussi simple et aussi robuste que possible. La chambre du coussinet est construite de telle façon que lorsqu'on laisse reposer sa semelle sur la table de sabotage horizontale de la traverse, le rail se trouve naturellement incliné de 1/20° à l'intérieur de la voie, sur la normale à cette table. Elle doit être également assez large pour que l'épaisseur du coin, mesurée dans l'axe du coussinet, soit de 0,045 à 0,050.

L'épaisseur de la semelle est d'environ 43 millimètres et sa surface d'appui, qui primitivement était $260 \times 90 = 234$ centimètres carrés avec le coussinet pour rail de 36 kilos, atteint aujourd'hui 0 mq. 0525 sur les traverses en bois et 0 mq. 0360 sur les traverses métalliques ; de sorte que la pression transmise par unité de surface à la traverse reste encore dans de bonnes limites malgré l'augmentation notable du poids du matériel roulant et de l'accélération de vitesse des trains. La Compagnie de l'Ouest-Etat emploie même avec le rail de 46 kil. 250, des coussinets ayant une semelle de 410×200 donnant une base de 0 mq. 0820. La pression transmise par le rail à la traverse par cet intermédiaire n'est donc plus normalement que de $\frac{8.000}{820}$, soit un peu moins de 10 kilos par

centimètre carré. On voit que ce n'est pas exagéré puisque les bois travaillant à la compression dans un sens perpendiculaire aux fibres peuvent

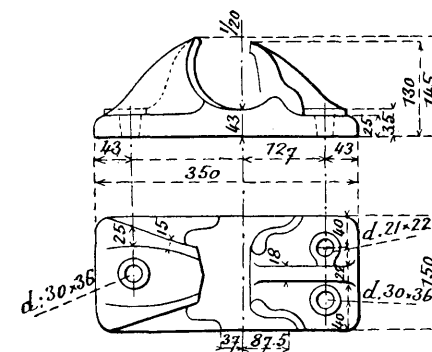


FIG. 29.

Pour rails D. S. de 40 kilos.

Poids : 18 kilos.

Surface de la base : 525 cent. carrés.

pratiquement supporter par centimètre carré : chêne, 36 kilos; hêtre, 36 kilos; pin ou sapin, 22 kilos.

Les coussinets étaient autrefois attachés à la traverse par deux tirefonds; aujourd'hui, on les fixe plus généralement par trois. Leurs trous ont généralement 1 millimètre de conicité, pour faciliter leur fabrication. Le poids des coussinets a suivi la progression des autres parties du matériel. Ainsi, à la Compagnie P.-O. par exemple, le coussinet est passé de 9 kil. 700 à 18 kil. 600, soit une augmentation de près de 92 p. 100.

L'usure normale de ce matériel n'est pas rapide et on ne le réforme généralement, en dehors des ruptures accidentelles des mâchoires ou de la semelle, que par suite de l'ovalisation des trous des attaches. On a essayé de remédier à cette usure par l'emploi de bagues en bois que nous décrivons plus loin.

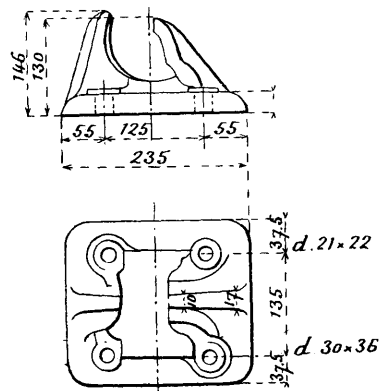


FIG. 30.

Coussinet à patin pour rail de 40 kilos D. S. (posé sur longrine). Poids : 15 kil. 500. Surface de la base : 487 cent. carrés.

de largeur et qui sont fixés par quatre tirefonds (fig. 30).

De même, aux passages à niveau ou dans les cours des gares, où la voie peut être franchie par des véhicules, on emploie un coussinet spécial destiné à recevoir à la fois le rail de la voie et un contre-rail. Les mâchoires de ce coussinet sont disposées de manière à maintenir ces deux rails d'une façon invariable, en laissant entre eux une ornière de 0 m. 055 à 0 m. 070 de largeur pour assurer le libre passage des boudins des wagons (fig. 31).

Certaines compagnies anglaises, en vue de donner à la voie une plus grande résistance aux efforts transversaux, disposent la semelle des coussinets en forme de dents de scie, généralement au nombre de deux du côté intérieur de la voie et quatre du côté extérieur (fig. 32).

Ce procédé présente l'inconvénient de couper les fibres du bois et d'user plus rapidement la traverse qui est le plus souvent en pin.

Les coussinets pour voie courante ou pour appareils se font en fonte grise de première ou de deuxième fusion. Le grain doit en être gris, fin, serré, homogène et se travaillant facilement à la lime ou au burin.

La fonte ne doit pas avoir de gouttes froides, soufflures, gravures, piqûres, etc... On lui impose, en général, les épreuves suivantes :

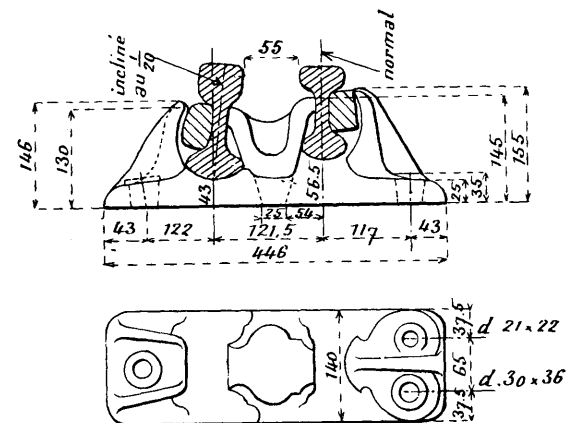


FIG. 31.

Coussinet de P. N. pour voie D. S. et contre-rail pour voie D. C. Poids : 40 kilos. Surface de la base : 624 cent. carrés.

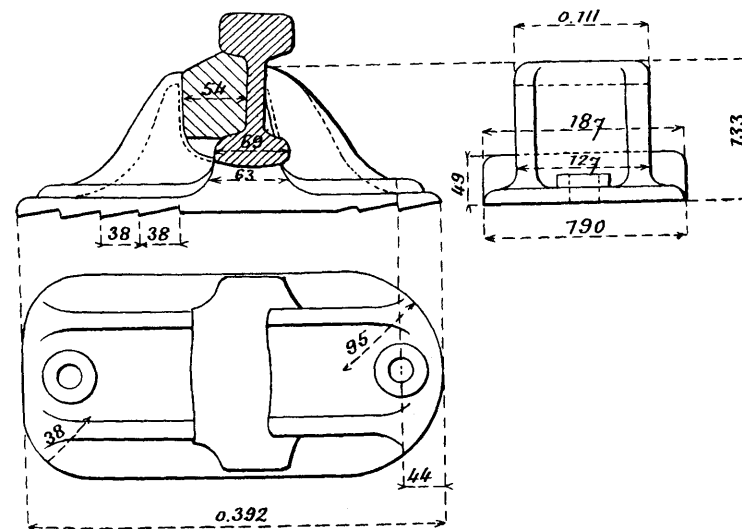


FIG. 32.

Coussinet pour rail de 46 kilos du Great Eastern Railway (Angleterre). Poids : 21 kilos. Surface d'appui : 733 cent. carrés.

1° Un barreau carré de 40 millimètres de côté et de 200 millimètres de longueur, coulé avec cette fonte, posé sur deux couteaux espacés de 160 millimètres, devra supporter, sans se rompre, le choc d'un mouton de 12 kilos tombant d'une hauteur libre de 350 millimètres ;

2° Un barreau carré de 30 millimètres de côté et 200 millimètres de longueur utile, devra résister à un effort de traction de 15 kilos par millimètre carré, au minimum.

Le prix de ce matériel varie également suivant les cours. Actuellement on paie :

Pour les coussinets ordinaires : 125 à 150 francs la tonne ;

Pour les coussinets spéciaux : 200 francs la tonne.

Quelquefois, pour utiliser de vieux stocks de fonte, on fait transformer cette vieille fonte en coussinets neufs ; cette transformation, qui paraît avantageuse, se fait généralement au prix de 36 francs la tonne.

Bagues. — Les bagues ont été imaginées par M. Collet pour obvier au sérieux inconvénient de l'ovalisation et de l'usure des trous de coussinets.

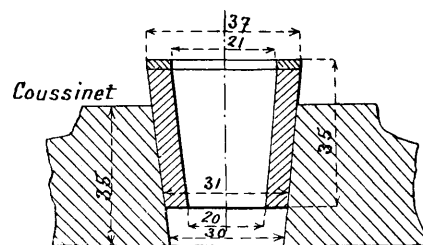


FIG. 33.

Cette garniture est fabriquée en bois de chêne pris parmi les parties les plus saines des traverses rebutées. Elle a un profil tronconique de section annulaire comme l'indique le croquis ci-contre. Le diamètre de la partie intérieure a exactement les cotes de la partie du tirefonds qui s'y engage et les dimensions extérieures ont 1 milli-

mètre de plus que les trous des coussinets destinés à la recevoir ; de façon que la bague dépasse de 6 à 8 millimètres la tétine des coussinets pour permettre un resserrage après usure partielle de la bague. La partie supérieure qui reçoit la tête du tirefond est recouverte d'une rondelle en fer agrafée dans le bois.

Les réseaux de l'Orléans et de l'Etat ont commencé l'application de ces bagues dans une assez large mesure. Chaque coussinet, attaché généralement par trois tirefonds dont deux internes et un externe à la voie, a tous ses trous percés à 31×36 ou parfois deux seulement, un interne et un externe, pour recevoir cette garniture. Dans ce dernier cas, le troisième trou est percé dans la forme habituelle.

L'usure de ces bagues est relativement rapide. Elles durent au maximum de cinq à six ans.

Le prix en est fort peu élevé : 70 francs le mille.

Selles. — Les Compagnies de chemins de fer qui emploient le rail Vignole interposent généralement, à l'Etranger comme en France, entre le patin du rail et la traverse, une semelle en fer ou en acier que l'on nomme *selle*. Cet intermédiaire a un double but : protéger la table de sabotage de la traverse et rendre solidaires les attaches.

Les efforts sont mieux répartis sur la traverse, car la surface de la selle est toujours supérieure à la surface du patin du rail et les tirefonds sollicités par des forces diverses concourent ensemble à les amoindrir.

Les premières selles employées étaient plates et avaient peu d'épaisseur, elles se cassaient sous le rail. A l'heure actuelle, on emploie des selles à rebords qui assurent un meilleur appui à la tête du tirefond et l'empêchent de se renverser. Celle de la figure ci-contre représente le dernier modèle P.-L.-M. qui est employé avec les rails de 39 à 47 kilos.

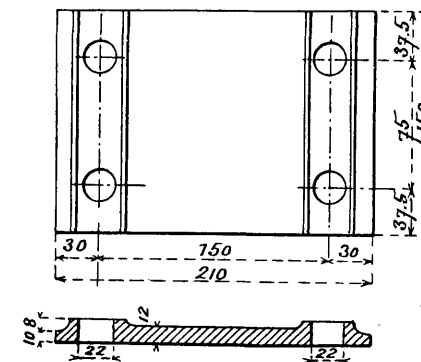


FIG. 34. — Poids : 3 kilos.

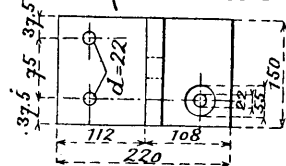
Les quatre trous ne sont pas toujours employés ; on se contente de placer seulement deux et quelquefois trois tirefonds ; les trous non utilisés servent en cas de resabotage.

Pour poser une selle, on entaille la traverse sur 8 à 9 millimètres d'épaisseur ; de telle sorte que la selle se trouve presque encastrée sur deux côtés dans la traverse, ce qui augmente encore la résistance des attaches aux efforts transversaux. Cette entaille est inclinée au $1/20^\circ$.

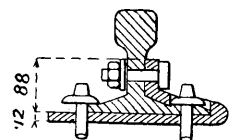
Les réseaux du Nord et de l'Est ont conservé à la voie Vignole sa simplicité primitive. Le rail toutefois ne repose pas directement sur la traverse : on interpose, entre le patin et la table de sabotage, une semelle en feutre goudronné de la largeur du patin et de 0 m. 20 à 0 m. 008, ou une semelle de peuplier injecté de même largeur et même longueur, mais de 0 m. 004 seulement d'épaisseur parce que cette dernière est moins com-

pressible que la première. Ces semelles ont pour but de protéger la traverse et le patin du rail contre une usure trop rapide. Elles parent également,

Plan (le rail enlevé)



Poids 3^k000



Longueur développée 0^m385

FIG. 35.

recourbé. La branche horizontale, épousant la forme du patin et percée

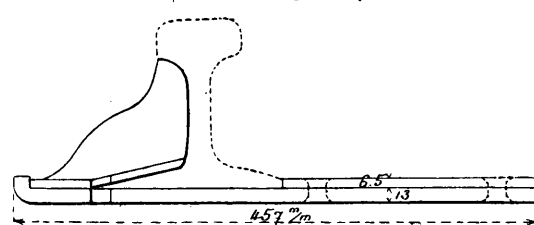
de trois trous, sert de selle ordinaire; le trou extérieur a un diamètre suffisant pour laisser passer la tête du tirefond; la branche verticale recourbée s'appuie sur l'âme du rail auquel elle se fixe au moyen d'un boulon de 25 millimètres. Ce même réseau emploie sur la ligne Paris-Marseille, comme attaches intermédiaires avec le rail

de 47 kil. 400, des flasques d'arrêt jumelles pesant 2 kil. 800 la pièce. Ce sont des éclisses de même type que celles de la voie courante,

dans une certaine mesure, à des défauts de sabotage. La dépense complémentaire qui résulte de l'emploi de ces intermédiaires est minime; elle est de 0 fr. 01 pour les semelles en peuplier et de 0 fr. 05 pour les semelles en feutre; ces dernières ont une plus grande durée que les premières.

La Compagnie P.-L.-M. a également créé un type de selle-arrêt, qui figurait à l'exposition de 1900 et qu'elle emploie à raison de deux par longueur de rail dans les voies très chargées ou à très forte pente, munies de rails de grande longueur (fig. 35). Cette selle-arrêt est formée d'une large bande d'acier doux

Élévation.



Plan.

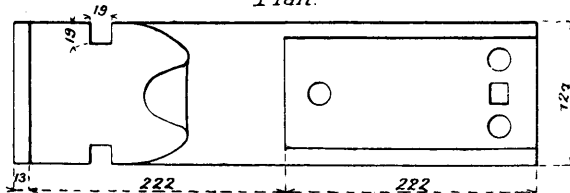


FIG. 36. — Selle d'épaulement.

mais de 150 millimètres de longueur seulement, fixées à l'âme du rail par un boulon de 25 millimètres ayant un jeu de 4 millimètres dans le trou d'éclisse, et maintenues sur la traverse par l'intermédiaire d'une selle à talon, au moyen de 4 tirefonds de 23×155 , comme dans la pose d'éclisse représentée par la figure 18.

Ces flasques d'arrêt jumelles, d'un poids de 2 kil. 800, ont pour but de rendre le rail plus rigide et de s'opposer au cheminement. Elles se posent au nombre de deux ou trois sur les traverses situées vers le milieu du rail.

Aux États-Unis, l'usage des selles ordinaires avec ou sans épaulements, fixées par trois ou quatre crampons, se répand de plus en plus.

On emploie également, surtout dans les appareils de voie, une selle en acier épaulant fortement le rail à l'extérieur et ayant quelque analogie avec le coussinet ordinaire des voies D. C. et D. V. (fig. 36).

Le prix de ces accessoires, variable suivant les cours des métaux, est actuellement de 0 fr. 55 pour une selle-arrêt et de 1 fr. 60 pour une paire de flasques d'arrêt jumelles.

Attaches. — Les premières voies Vignole et à coussinets ont été fixées aux traverses en bois par des crampons ou des chevillettes dont la forme est indiquée par le croquis ci-contre.

Les crampons de section rectangulaire employés dans la pose Vignole pouvaient à la rigueur se poser dans une traverse en bois tendre sans perçage préalable de trous en les enfonceant avec le marteau à cramponner et certains ouvriers ne s'en faisaient pas un scrupule. Cette façon de procéder provoquait généralement la fente de la traverse, surtout si cette der-

nière restait plusieurs jours exposée au soleil sans être recouverte de ballast. Les chevillettes employées dans la voie D. C. avec leur forme cylindrique et leur absence de pointe exigeaient le perçage préalable de la traverse. A l'aide d'une tarière, on forait un trou de 3 à 4 millimètres

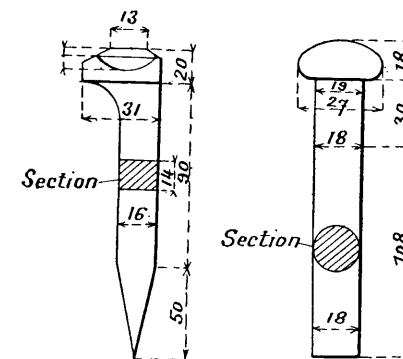


FIG. 37.

Crampon pour voie Vignole.

Chevilllette pour coussinets.

plus petit que le diamètre de la chevillette, puis on enfongait celle-ci à coups de marteau en emprisonnant le coussinet.

Le frottement de la surface de ces attaches dans le bois était la seule résistance qu'elles offraient aux efforts d'arrachement. Lorsque ceux-ci se produisaient sur des traverses imparfaitement bourrées, le rail qui avait fléchi au moment du passage du train se relevait après ce passage, entraînant avec lui la traverse, et ébranlait plus ou moins l'attache. Il n'était pas rare alors de constater dans une voie, même dans des traverses neuves, que la tête de ces attaches laissait un vide de 5 à 6 millimètres entre le patin du rail ou la tétine du coussinet suivant le type de voie.

Aussi, les réseaux français, depuis de nombreuses années, ont-ils tous abandonné ces attaches, sauf, toutefois, dans certaines lignes à faible trafic où on attend un renouvellement général du matériel pour en opérer la substitution, et ont adopté le tirefond aussi bien pour la voie Vignole que pour la voie à coussinets.

Depuis quelques années, les réseaux étrangers et notamment la Belgique et l'Allemagne, ont également adopté le tirefond. Il faut remarquer cependant que les crampons sont d'un usage général aux États-Unis. Les Ingénieurs américains reconnaissent bien que le tirefond offre une plus grande résistance à l'arrachement, mais ils estiment que ce dernier s'oppose moins efficacement au surécartement que le crampon à section carrée. Peut-être ne faut-il voir (dans cette opinion) qu'une question de main-d'œuvre, très chère aux États-Unis.

Tirefonds. — Le tirefond se compose d'une tige filetée, d'un pas plus ou moins grand, munie d'un collet surmonté d'une tête cylindrique portant un carré qui en permet le vissage au moyen d'une clé à douille.

Les figures et le tableau ci-après montrent divers types de tirefonds.

Les dispositions de ces attaches, tant pour la pose Vignole que pour la pose à coussinets, sont à peu près les mêmes. Il n'y a de différence que dans la dimension de la tête qui est de 30 à 32 millimètres de diamètre pour les tirefonds destinés aux coussinets et qui atteint 54 millimètres pour les tirefonds des rails à patin.

Le plan du dessous de la tête du tirefond pour voie D. C. est normal à l'axe longitudinal ; tandis que la tête du tirefond pour voie Vignole a une inclinaison de $1/5^e$ à $1/10^e$ sur ce même axe, dans le but de porter normalement sur le patin du rail. Le tirefond est conique à sa partie inférieure sur 0 m. 015 à 0 m. 020 pour permettre un enfoncement initial à la main

dans le trou percé préalablement dans la traverse et d'éviter ainsi qu'on le frappe avec un marteau sous prétexte d'en faire l'amorçage.

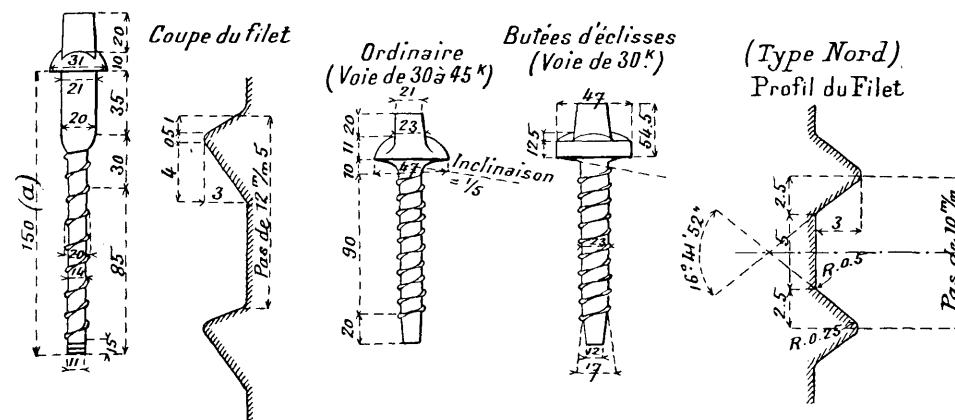


FIG. 38.

Tirefond pour rail D. C. ou D. S.
(Etat). Poids : 355 grammes.

FIG. 39.

Tirefonds pour voie Vignole.

Dimensions de quelques tirefonds actuels

TYPE	DIAMÈTRE		PAS	LONGUEUR (a)	OBSERVATIONS
	EXTÉRIEUR	NOYAU			
Est.....	23	16,5	12,5	125	pour voie Vignole.
Nord.....	23	17	10	120	—
Orléans.....	21	15	10	145	pour voie D. C. et D. S.
Ouest-État....	21	15	12,5	140	—
Tramways de la Vendée...	19	13,5	10	115	pour voie Vignole de 1 ^m
Tramways de la Sarthe....	14	10	5	90	—

Une autre conicité existe à la partie supérieure du filet sur environ 30 millimètres de longueur ; elle raccorde le noyau de la partie cylindrique de la tige filetée avec la partie non filetée.

Le diamètre extérieur du tirefond est sensiblement égal au diamètre du trou du coussinet ou de la selle dans lequel il s'engage. A l'origine, les filets des tirefonds avaient pour section droite un triangle isocèle; aujourd'hui, on donne à ce profil la forme d'un triangle scalène dont le côté supérieur est presque normal à l'axe longitudinal du tirefond.

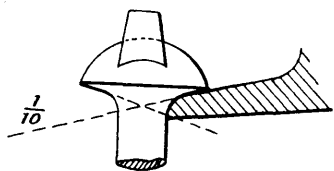


FIG. 40.

Cette forme, plus rationnelle, offre plus de résistance à l'arrachement et

ici la pratique est d'accord avec la théorie.

Le pas du tirefond a une grande importance sur la résistance offerte par les traverses. Les expériences faites, notamment par la Compagnie de l'Est, ont démontré que, quelle que soit l'essence de la traverse, le tirefond qui donnait le meilleur résultat à l'arrachement, avait un pas compris entre 10 et 14 millimètres et nous avons vu un tirefond d'un pas de 12^m/5 s'arracher sous un effort de 2.000 kilos, tandis qu'un tirefond de 7 millimètres de pas, dans la même traverse, n'a pu supporter qu'un effort de 1.000 kilos.

L'usure des tirefonds n'est pas très considérable. Dans la pose à coussinet, avec des traverses en pin injectées soit au sulfate de cuivre, soit à la créosote et au chlorure de zinc, leur durée moyenne est de 8 à 10 ans. Ces matières : sulfate et chlorure, au contact de l'eau, dont la traverse est toujours saturée dans le ballast, attaquent le métal, rongent le filet et tendent ainsi à mettre cette attache hors de service.

Pour remédier à cette usure anormale, plusieurs réseaux ont substitué aux tirefonds ordinaires des tirefonds galvanisés. Les résultats obtenus jusqu'ici ne permettent pas de se prononcer sur la valeur absolue de ce préservatif. La Compagnie du Midi se contente de verser dans le trou de la traverse injectée au sulfate de cuivre, au moment de la pose ordinaire, une cuillerée de goudron très chaud.

Dans la pose Vignole sans selle ou platine, où les attaches travaillent davantage que dans la pose à coussinets, on trouve des tirefonds entaillés

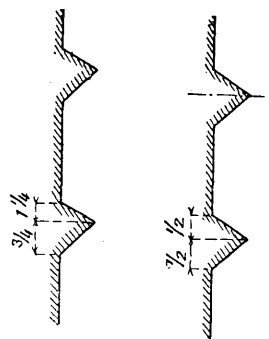


FIG. 41.

de plusieurs millimètres sous le collet, par le patin du rail, surtout dans les courbes. On en rencontre aussi qui, sous l'effet des efforts transversaux, se renversent et se faussent. D'une façon générale, leur durée ne dépasse pas six à huit ans.

Dans la pose de la voie avec selles, l'usure des tirefonds est un peu moins rapide. Elle est provoquée, comme dans la voie D. C. par les matières injectées dans les traverses et par la détérioration de la partie engagée dans la selle.

Les tirefonds se font actuellement en acier. Le métal employé dans leur fabrication doit offrir une résistance de 45 kilos avec un allongement de 18 à 22 p. 100 mesuré sur une barrette de 100 millimètres de longueur utile et d'une surface de 500 millimètres carrés.

Le filetage se fait à chaud. Si on taraude le tirefond à froid, il faut lui faire subir, avant cette opération, un recuit suffisant pour que le métal ne soit pas altéré par le taraudage.

Si le tirefond doit être goudronné, on le trempe chaud dans le goudron bouillant; s'il doit être galvanisé, on le décape très soigneusement, puis on le plonge dans un bain de zinc en fusion, de façon à obtenir une couche parfaitement adhérente.

La durée de garantie imposée aux fournisseurs de tirefonds est généralement de 3 ans après la pose ou 4 ans après la dernière réception à l'usine.

Le prix de ce matériel, variable avec le cours des métaux, est actuellement de 250 à 280 francs la tonne pour les tirefonds goudronnés et de 400 à 500 francs pour les tirefonds galvanisés.

Coins. — Les coins sont destinés à maintenir énergiquement le rail dans les coussinets et assurer ainsi la rigidité de la voie. Les coins en bois sont fabriqués en cœur de chêne ou de châtaignier. Ils ont une forme tronconique pour faciliter leur mise en place, et leur épaisseur, mesurée dans l'axe du coussinet après leur pose, doit être égale à 45 millimètres au minimum. Elle est quelquefois plus forte suivant le type de rail et de coussinet adopté. Les conditions que doivent remplir les bois destinés à la fabrication des coins sont les suivantes :

Ils proviendront de bois à fibres serrées, ni gras, ni gélifs, ni échauffés, exempts de nœuds, roulures ou autres défauts, abattus depuis un an au moins;

Le débitage sera fait de droit fil, en morceaux ayant les dimensions

nécessaires pour former un seul coin après le retrait résultant du séchage du bois. Les bois ainsi débités seront empilés sous un hangar couvert, de manière que l'on puisse circuler tout autour et le séchage de ces piles

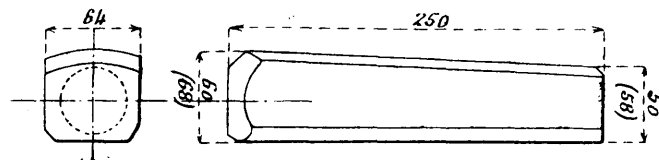


FIG. 42.

Coin pour voies D. C. et D. S. — Chêne (*Ouest-Etat*). Poids (variable) : 500 gr. pour rail de 44 kilos D. S.

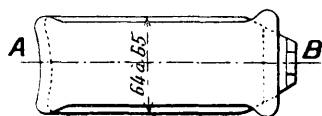
(Les cotes entre parenthèses se rapportent aux coins renforcés.)

aura une durée comprise entre 10 et 14 mois. Au bout de ce temps, on pourra commencer la fabrication des coins.

Malgré l'application de toutes ces prescriptions, les coins s'usent

rapidement et donnent un serrage imparfait. Le bois est soumis à toutes les influences atmosphériques et il les subit d'autant mieux qu'il est moins recouvert de ballast. Avec l'adoption de plus en plus générale du profil de ballast dit « réduit », le coin se trouve presque entièrement à découvert. Il se gonfle alors à la pluie et se dessèche au soleil; il ne se maintient plus dans la cage du coussinet, et, malgré la surveillance exercée, tombe parfois sur la traverse. Pour éviter ce grave inconvénient, les poseurs introduisaient souvent entre le coussinet et le coin, des clous ou des éclats de rails. Cette façon de remédier au défaut du coin en bois a mis en éveil l'imagination de quelques inventeurs qui se sont ingéniés à créer un *coin indesserrable*. Nous n'en citerons

Plan par dessous



Coupe AB

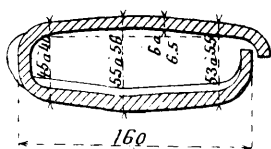


FIG. 43.

Coin pour voies D. C. et D. S. — Acier (*Ouest-Etat*). Poids : 1 kil. 230 gr. pour rail de 40 kilos D. S.

qu'un, à titre de curiosité, car le coin en bois, malgré sa modicité de prix, tend à disparaître rapidement devant le coin en acier.

Le coin *Bianco* est un coin en bois ordinaire, mais muni sur la face

opposée à celle qui est en contact avec le rail d'un fil de fer *a b* de 0 m. 20 de longueur environ encastré dans le bois. Une des extrémités est solidement clouée dans la partie supérieure du coin. Ce coin se pose comme le coin ordinaire, mais aussitôt qu'il est en place on prend avec une pince l'extrémité *b* du fil de fer et on la relève en *b'*. Au fur et à mesure de l'usure du coin et du serrage qui en résulte, on relève de plus en plus l'extrémité du fil de fer.

Nous disions plus haut que le coin en bois tendait à disparaître. En effet, les divers réseaux français ont mis en essai depuis quelques années les coins métalliques et, à l'heure actuelle, leur application est devenue générale. La forme qui est le plus généralement employée est celle du « coin David » représenté par la figure 43.

C'est une lame d'acier trempé repliée sur elle-même et formant ressort entre la mâchoire du coussinet et le rail. Le serrage que ces coins

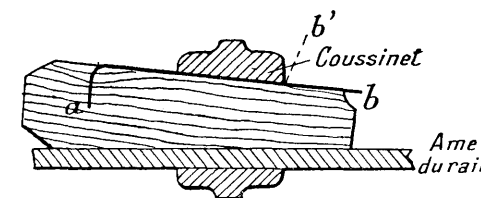


FIG. 44.

impriment est très énergique, au point que dans les premiers échantillons fabriqués, un assez grand nombre, au moment de la pose, se brisaient ou cassaient les mâchoires des coussinets. Cet inconvénient a disparu depuis que la fabrication a franchi l'heure des tâtonnements et que les poseurs se sont familiarisés avec l'emploi de ce coin. On est aujourd'hui très satisfait des résultats obtenus. Le réseau d'Etat a même décidé le remplacement intégral et progressif de tous les coins en bois actuellement en service. L'acier servant à la fabrication des coins est de la qualité de l'acier à ressorts.

Comme conditions de résistance, le coin doit supporter, sans déformation permanente, une pression de 2.500 kilos exercée dans le sens de l'épaisseur, au milieu de sa longueur. Il doit également supporter sans se rompre une pression de 6.000 kilos exercée comme dans le premier cas. On admet néanmoins, comme tolérance, qu'une quantité de 20 p. 100 ne résiste qu'à un effort compris entre 4.500 et 6.000 kilos pourvu que la moyenne de résistance de l'ensemble soit égale à 6.000 kilos.

Le prix du coin en bois se maintient vers 100 francs le mille; celui du coin en acier pour rail de 38 kilos pesant 1 kil. 030 et pour rail de 40 kilos pesant 1 kil. 230 est actuellement de 340 et 400 francs le mille.