
LE CHEMIN DE FER SUSPENDU

DE BARMEN-ELBERFELD-VOHWINKEL (ALLEMAGNE)

Le développement rapide des transports en commun dans les grandes villes du continent et du nouveau monde a montré que les moyens de transports au niveau du sol, dont on ne peut accroître indéfiniment le rendement sans qu'il en résulte une gêne ou même des dangers pour les piétons et la circulation routière, peuvent devenir insuffisants dans bien des cas.

On a alors songé à doubler, dans certaines villes, les moyens offerts à la circulation urbaine, en créant, à un niveau différent de la chaussée parcourue par les tramways ordinaires, des chemins appropriés pour le passage de convois plus rapides et plus fréquents.

C'est ainsi que sont nés les « elevated » très en faveur aux États-Unis (il y en a un aussi à Liverpool) et les chemins de fer souterrains (métropolitains de Londres, Budapest, Paris, etc.).

Ces lignes aériennes et souterraines, qui coûtent déjà fort cher par leur construction même, ne pourraient supporter encore les charges d'expropriations coûteuses, et, en conséquence, on ne peut songer à les entreprendre qu'autant qu'elles peuvent emprunter le sol public des larges avenues existantes. En outre les embranchements ne sont rendus possibles que dans les voies adjacentes qui coupent les premières avenues sous un certain angle ; car il y a un minimum de rayon qui ne peut être dépassé avec les voies ordinaires à rails, pour les courbes de raccordements, quelles que soient les dispositions adoptées pour le matériel roulant.

Ces considérations montrent la difficulté du problème en présence duquel se sont trouvées les Administrations locales de cette vallée si essentiellement industrielle de la Wupper, affluent du Rhin, lorsqu'il a fallu songer à établir un nouveau moyen de transport en commun entre les villes de Barmen, Elberfeld, Somborn et Vohwinkel, les moyens existants des chemins de fer (un sur chaque rive) et de nombreuses lignes de tramways électriques menaçant de devenir insuffisants pour les relations entre les différents points de ces villes qui ne forment plus pour ainsi dire aujourd'hui qu'une seule et même cité de 15 kilomètres de longueur.

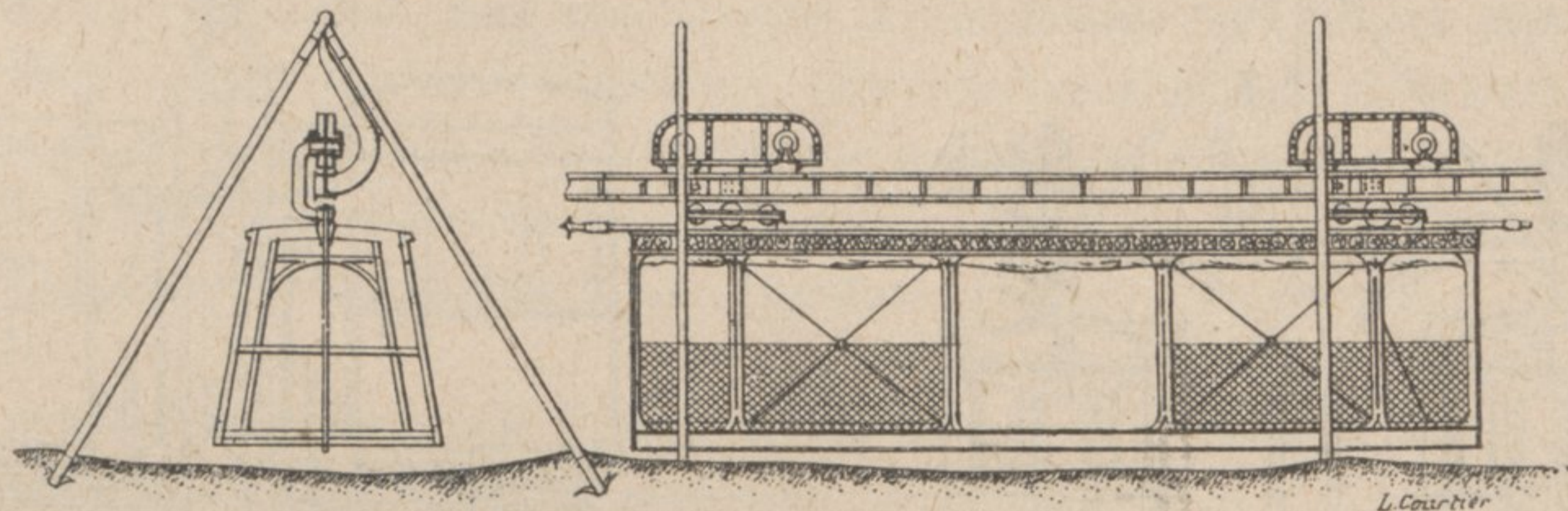
Les replis et les dénivellations du terrain sur lesquels se sont élevées et développées les maisons existantes le long de la Wupper ne permettaient pas la construction d'un « elevated » ou d'un chemin de fer souterrain dans les rues adjacentes.

Il n'y avait donc que la Wupper elle-même qui offrit l'espace large et continu désirable pour l'établissement d'une nouvelle ligne de chemin de fer ; mais par quels moyens ? Un tube sous le lit de la rivière eût coûté fort cher, encore qu'on ait pu croire un instant à la possibilité de sa réalisation. Un pont-viaduc continu pour l'assiette d'une plateforme surélevée à plusieurs voies, ne pouvait être admis pour bien des raisons : notamment on n'aurait pu trouver sur les berges la place nécessaire pour les appuis et il aurait fallu ainsi créer, de distance en distance, des piles fondées en pleine eau qui auraient gêné la navigation.

C'est alors que, mettant à profit les expériences faites à Deutz, près de Cologne, par M. Langen sur

les chemins de fer monorails suspendus, on résolut de tenter l'installation, sur la Wupper, d'un chemin de fer monorail suspendu : ce procédé n'exige en effet que la pose d'une poutre continue, surelevée pour servir de chemin de roulement aux véhicules, et des étais espacés, pouvant facilement prendre appui en des points des berges de la rivière où les circonstances locales le permettraient, devaient suffire pour supporter cette poutre unique sans qu'il soit nécessaire de recourir à de grandes acquisitions de terrains ni à des travaux de fondations trop coûteux.

Fig. 1. — CHEMIN DE FER SUSPENDU A VOIE LÉGÈRE DE CAMPAGNE ET DE MONTAGNE.



A vrai dire, M. Langen n'est pas l'inventeur des chemins de fer monorails suspendus ; mais, ce n'est pas diminuer son grand mérite d'avoir rendu cette conception vraiment pratique, dans un cadre des plus grandioses, que de citer ses précurseurs et ses imitateurs.

Fig. 2. — SYSTÈME LARTIGUE (Behr).

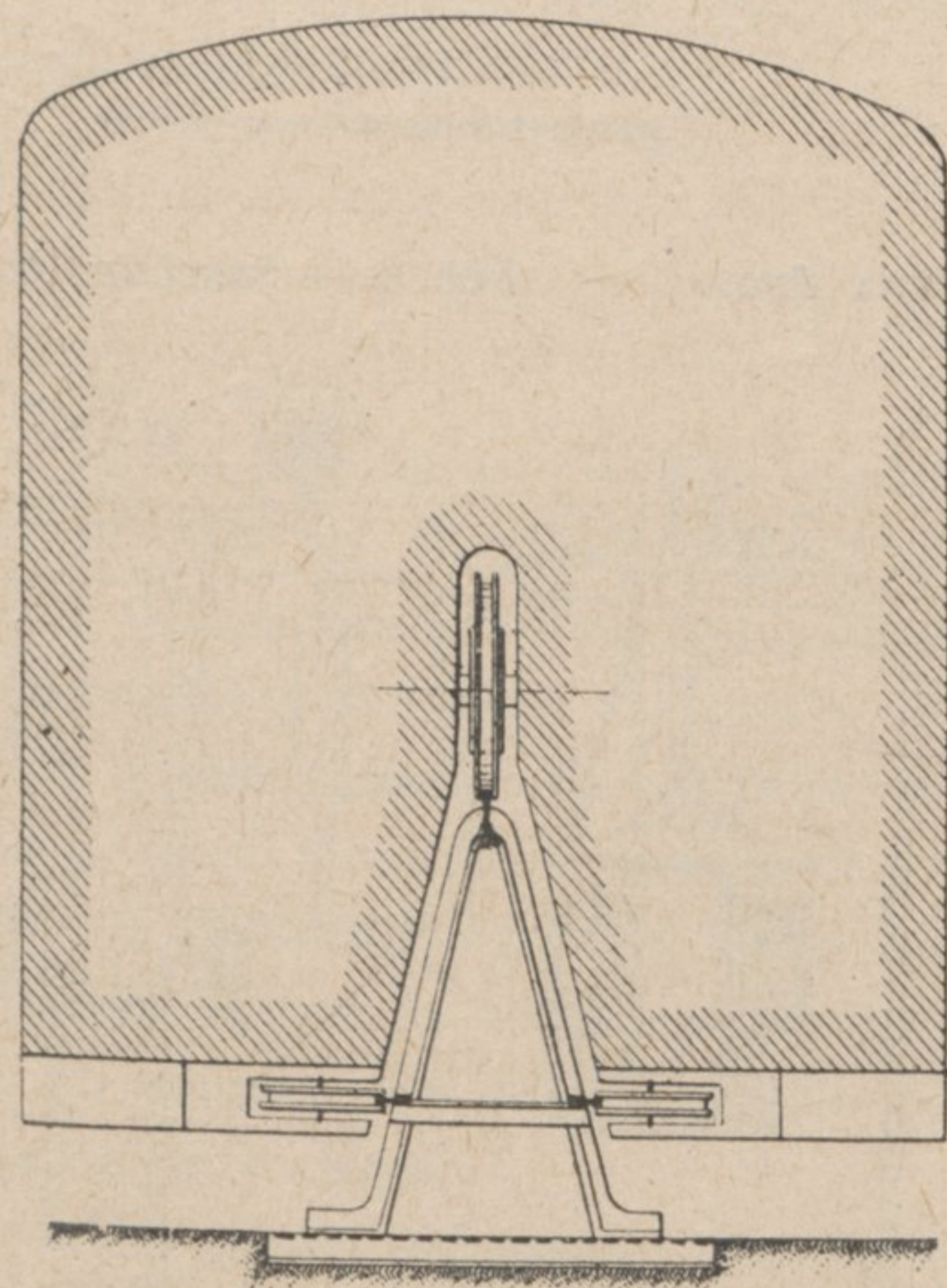
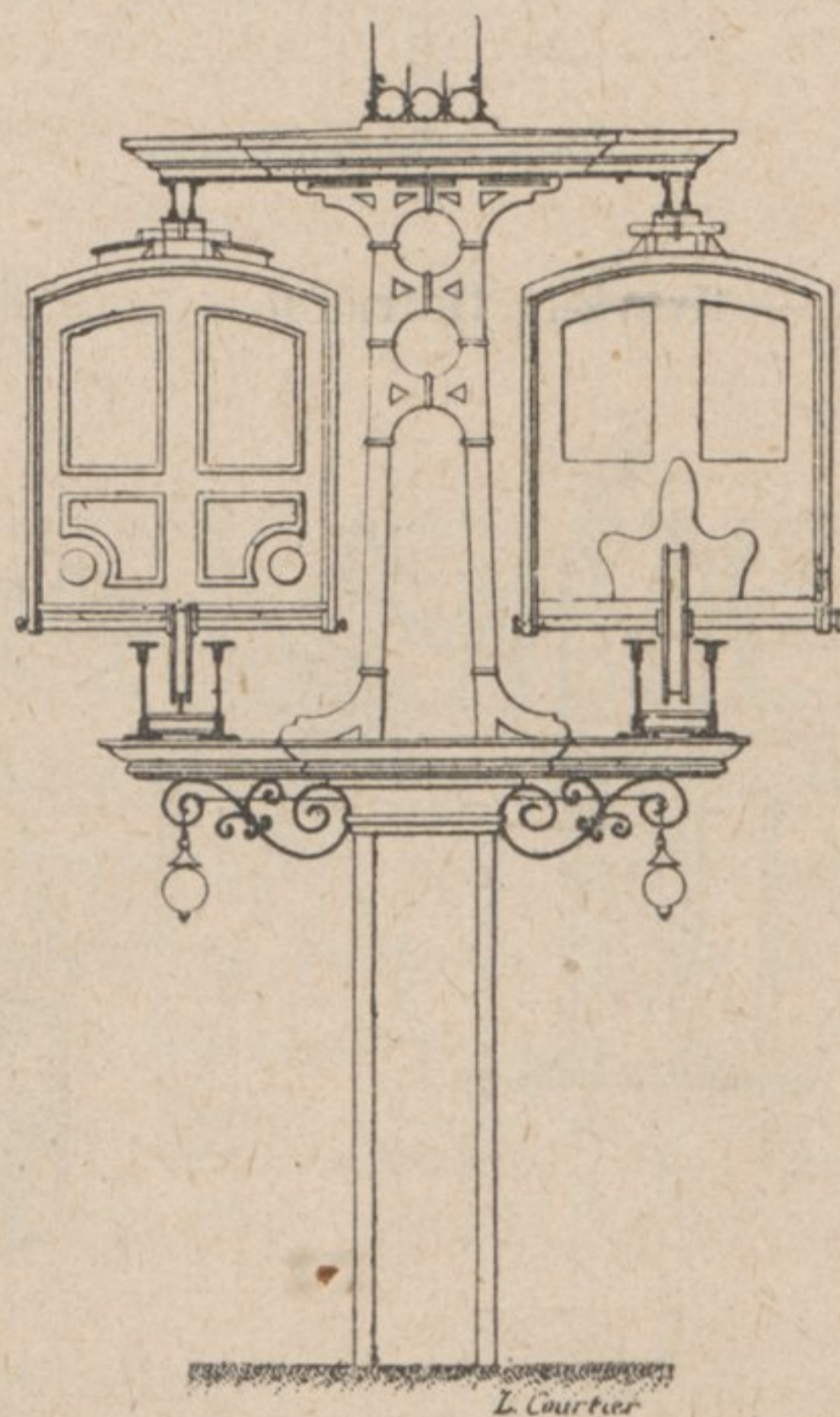


Fig. 3. — SYSTÈME BEYER.



L'invention du chemin de fer monorail revient, sans conteste, à l'ingénieur français M. Lartigue, qui l'avait conçu surtout en vue de la confection de voies économiques, et pour ainsi dire transportables, qui pouvaient s'adapter à toutes les formes de terrain sans qu'on ait besoin d'effectuer des terrassements coûteux, longs à exécuter et dangereux au point de vue de l'hygiène dans les contrées malsaines.

Une ligne du système Lartigue a même été construite en France entre Feurs et Panissières.

L'ingénieur anglais M. Behr a repris l'idée de Lartigue, avec un tout autre objectif, celui d'obtenir de très grandes vitesses. Des essais faits par lui à Tervueren, pendant l'Exposition universelle de Bruxelles en 1897, n'ont pas donné tous les résultats qu'on attendait ; mais peut-être l'idée n'est-elle pas abandonnée.

Nous rappelons seulement par les croquis schématiques ci-joints les dispositifs connus de ces genres de locomotion (Fig. 1 à 8).

Dans la plupart de ces systèmes, on avait recours à l'emploi de rails-guide pour limiter l'amplitude du déplacement des voitures dans les courbes, sous l'effet de la force centrifuge.

Fig. 4. — SYSTÈME LANGEN.

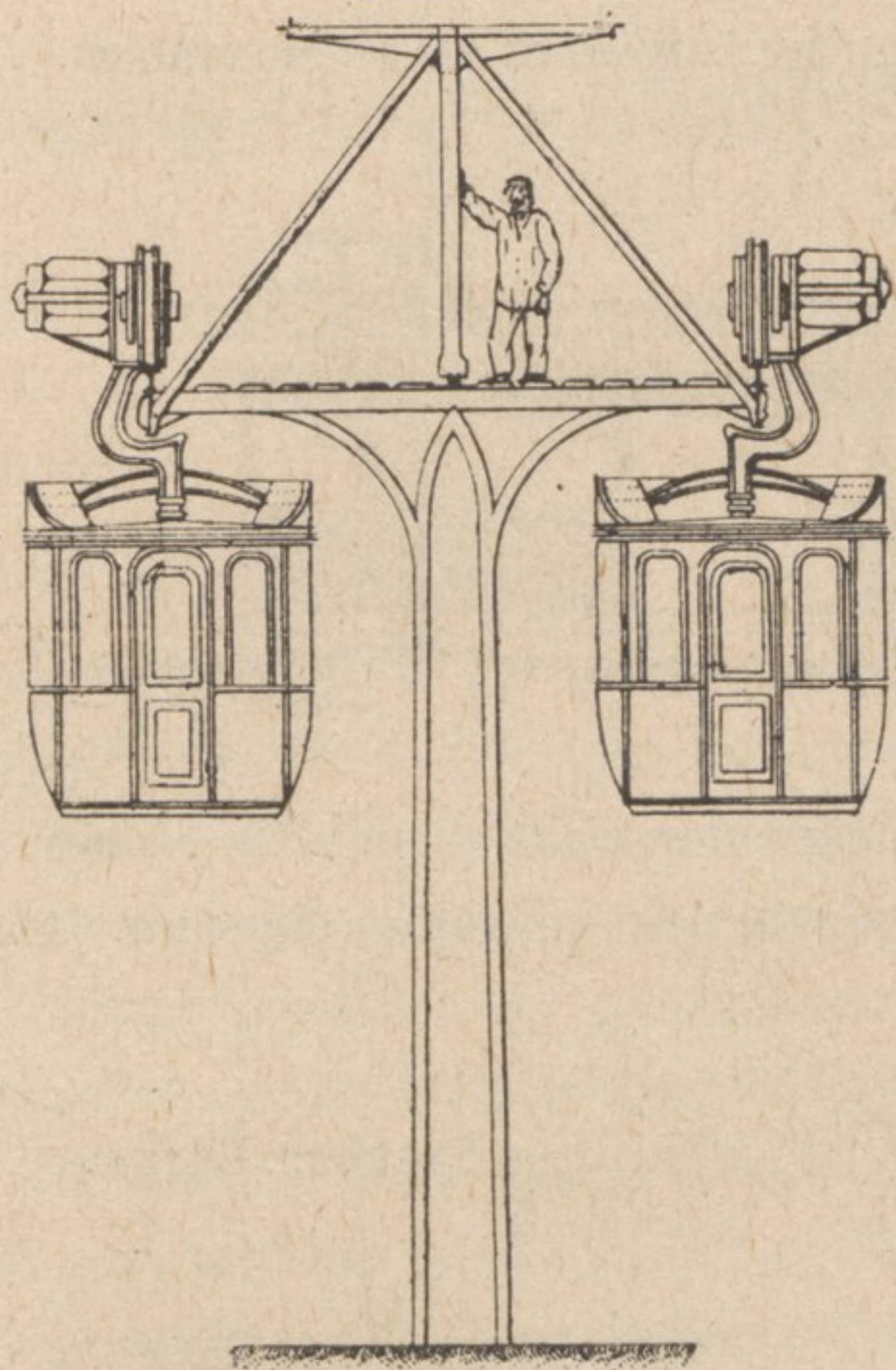


Fig. 5. — SYSTÈME COOK.

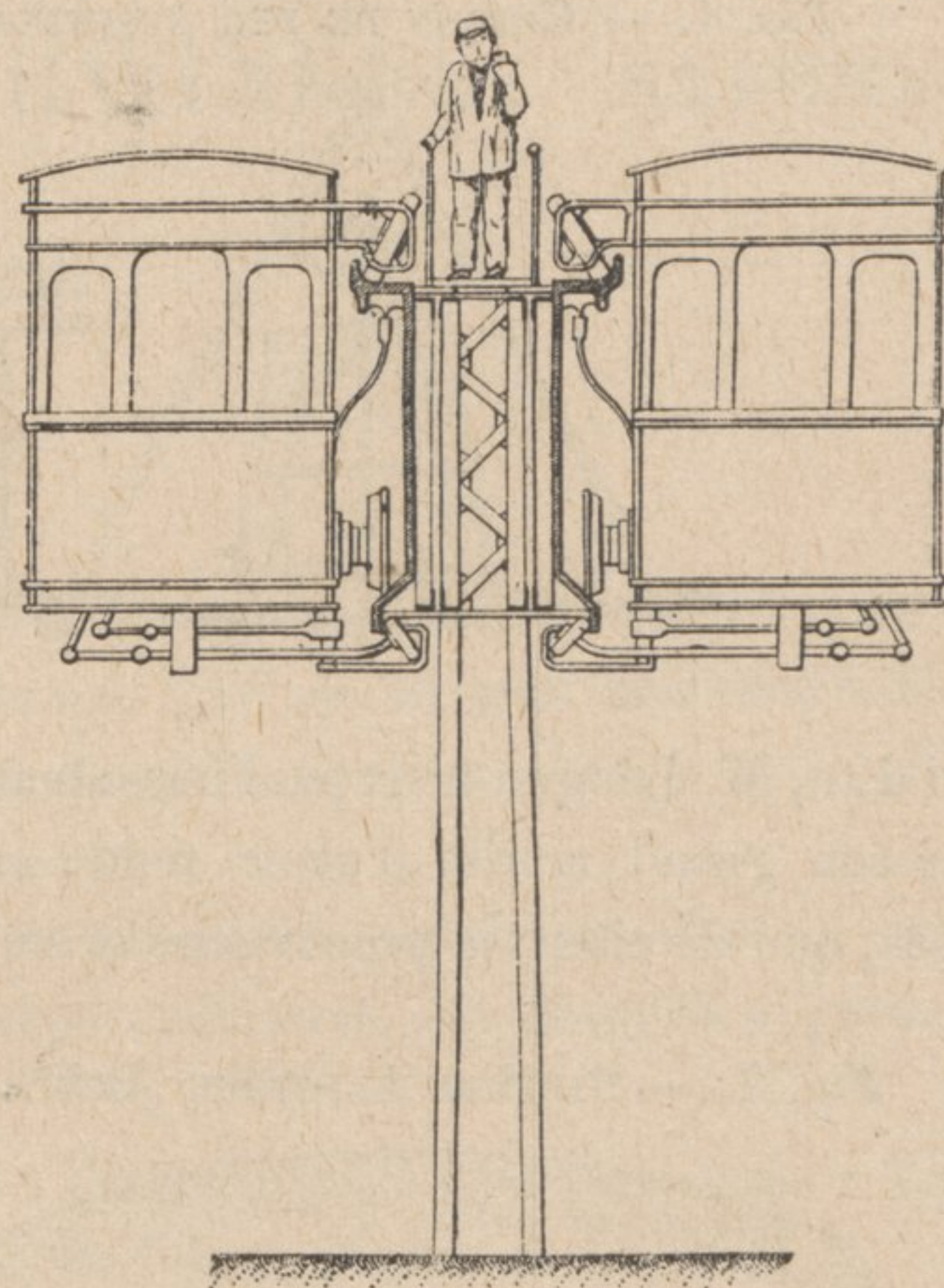


Fig. 6. — SYSTÈME DIETRICH.

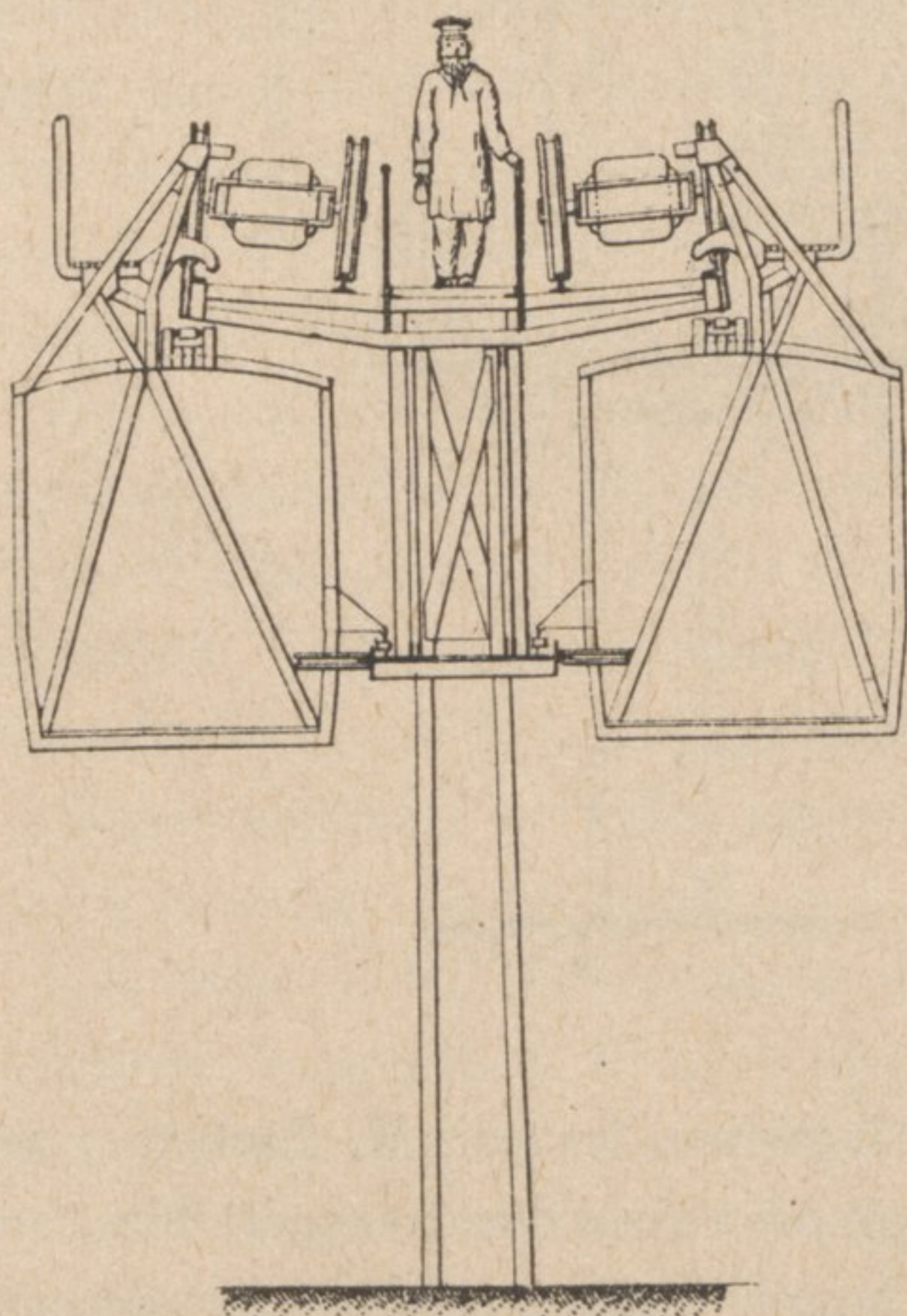


Fig. 7. — SYSTÈME ENOS.

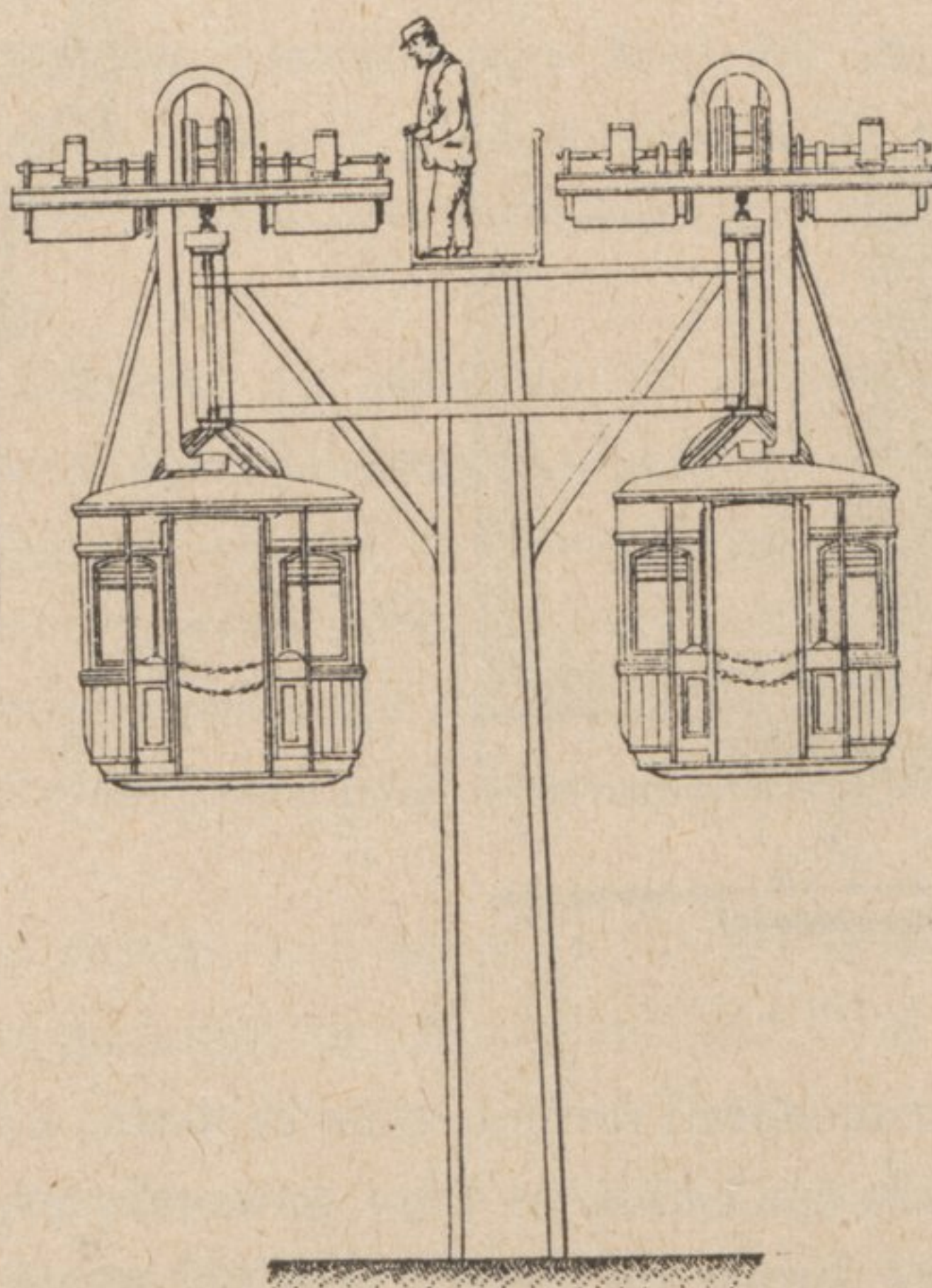
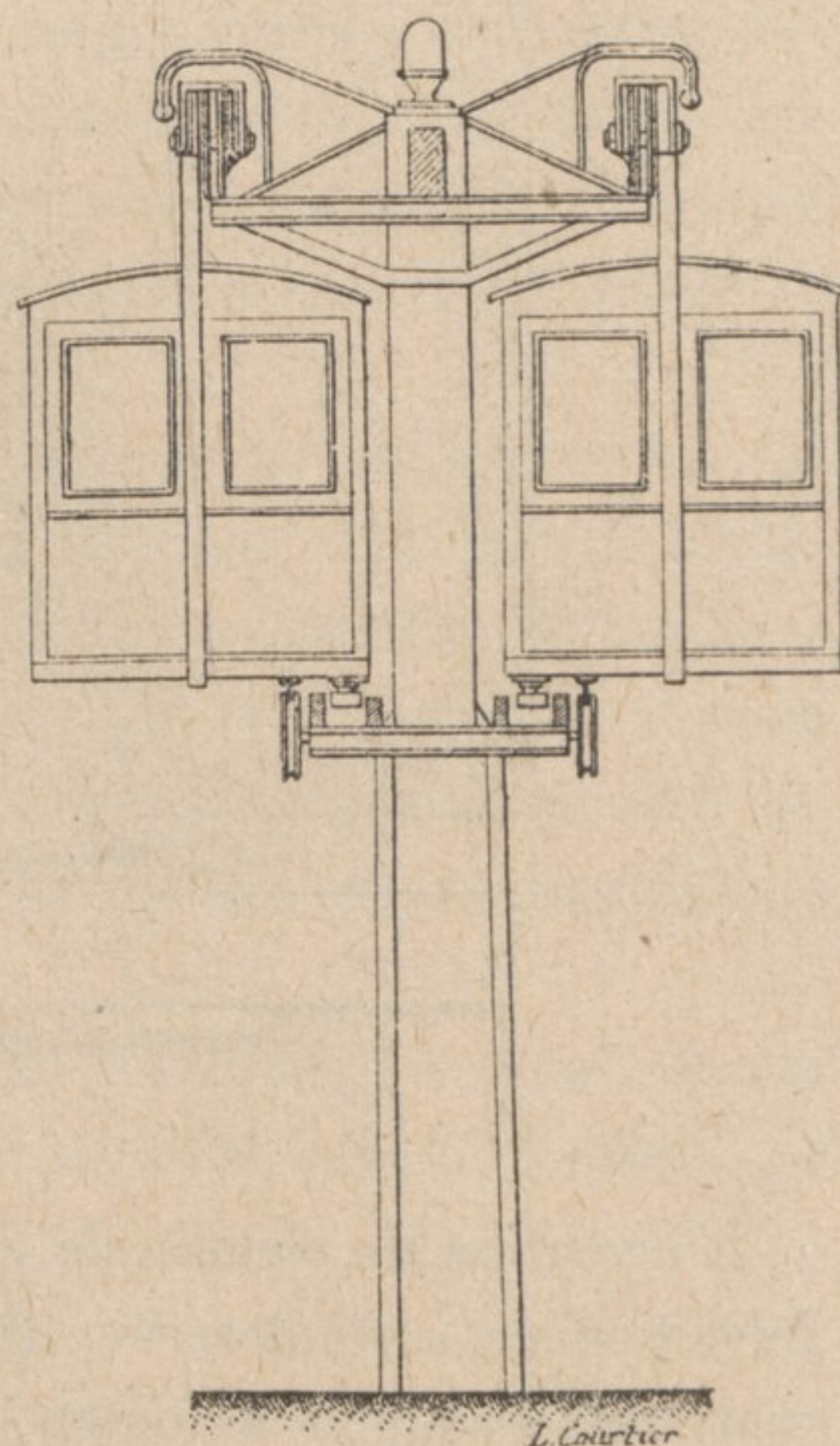


Fig. 8. — SYSTÈME PERLAY-HALES.



Le système de M. Langen se différencie précisément des premiers par ce fait qu'au lieu de s'opposer au déplacement de la voiture, il le laisse complètement libre de se produire, considérant que c'est une condition essentielle de sécurité et de grand confort pour le public, qui n'éprouve d'ailleurs aucune sensation désagréable dans les voitures en grande vitesse (à la condition de ne pas regarder les objets extérieurs dans les courbes à très faibles rayon).

L'idée maîtresse d'Eugen Langen est précisée de la manière suivante par l'Office impérial des brevets allemands : « *A l'aide du chemin de fer aérien avec voitures à voyageurs suspendues librement, on a pour but, par une disposition convenable des supports et des véhicules, de rendre de longues voitures à voyageurs, suspendues à des supports de construction légère, aptes à traverser facilement, sûrement et tranquillement les courbes de voies les plus petites sans que, pour cela, il y ait une tendance apparente à fausser les supports dans le service ordinaire.* »

Après ce préambule nécessaire, nous abordons la description du chemin de fer monorail suspendu de Barmen, Elberfeld, Vohwinkel, dont une voiture et un tronçon de voie ont figuré à l'Exposition Universelle de 1900, à Paris (annexe de Vincennes), dans la section allemande de la classe 32.

La concession de ce chemin de fer a été accordée par les autorités allemandes, le 31 octobre 1896, à la Société par actions des constructions électriques (ancienne maison Schücker et C^{ie}), de Nuremberg. Le caractère d'utilité publique de la dite ligne, entraînant le droit d'expropriation, a été décrété le 17 décembre 1897.

La Société concessionnaire a confié l'exécution de la voie à la Société des constructions réunies d'Angsbourg et à la Société par actions de constructions de machines de Nuremberg, et la construction des voitures à la maison Van der Zypen et Charlier de Cologne-Deutz, tandis qu'elle se réservait pour elle-même, la partie électrique.

En 1898, on commença la construction du premier lot, et au commencement de l'année 1899, on put déjà faire les premiers essais.

Le lot d'Elberfeld comprenant Kluse, le jardin zoologique, et long de 7,5 kilomètres vers Vohwinkel, a été livré à l'exploitation en mars 1901, tandis que le lot de Barmen, long de 6 kilomètres, ne sera probablement terminé qu'en 1902.

I. — LA VOIE.

Tracé. — La voie aérienne a une longueur de 13,3 kilomètres et, à partir de la gare de Barmen-Rittershausen, elle suit le cours de la Wupper (Fig. 9), pour traverser les villes de Barmen et d'Elberfeld : tout autre tracé étant rendu impossible, par suite de la densité des habitations.

Près de Sonnborn, non loin du jardin zoologique, à Elberfeld, la ligne quitte la Wupper pour rejoindre la grande route de Sonnborn à Vohwinkel, puisque à ce point la Wupper s'éloigne de la ville. Le point terminus de la ligne se trouve dans le voisinage des bâtiments de la petite vitesse de la gare de Vohwinkel. On s'est donné comme condition de ne jamais recourir, sauf le cas de force majeure, à des rayons de courbe inférieurs à 90 mètres (à deux endroits seulement ce rayon se trouve abaissé à 75 mètres). Les alignements droits et les courbes sont raccordés par des paraboles cubiques de 50 mètres de longueur.

Les principes qui ont été adoptés dans les études de l'établissement de cette voie découlant presque uniquement des expériences obtenues dans les trois séries d'essais faits antérieurement à Deutz et qui furent confirmées sur une plus vaste échelle, dès le commencement de 1899, en profitant de l'achèvement du premier tronçon de la ligne à Elberfeld. On constata notamment que les voitures avaient une allure d'une douceur inconnue jusque-là et que surtout les secousses disparaissaient complètement dans les courbes. Mais, avant tout, l'expérience a montré qu'une position très oblique des voitures est possible et que les vitesses dans les courbes peuvent être de beaucoup supérieures à celles des voies ordinaires.

D'après les règlements des Chemins de fer de l'État Prussien, la vitesse maxima dans les courbes d'un rayon de 90 mètres, ne doit pas dépasser 30 km à l'heure, tandis qu'une courbe d'un tel rayon à Elberfeld peut être passée sans inconvénient avec une vitesse de 50 km. à l'heure, qui est la vitesse maxima admise pour l'exploitation, étant donné que les stations ne sont distantes en moyenne que de 700 mètres.

L'installation de la voie aérienne d'Elberfeld prévoit un balancement des voitures de 10° , tandis que, pendant les essais précités faits à Deutz sur voie à rail unique, on a pu faire circuler sans inconvénients dans des courbes de 9^m50 de rayon des voitures qui prenaient alors une inclinaison de 25° , sans que les voyageurs aient ressenti quoi que ce soit de cette position les stores étant baissés.

Le point initial de départ des trains est prévu au terminus de la gare de Vohwinkel. A cet endroit, de même qu'à la gare terminus de Rittershausen, les voitures passent d'une voie sur l'autre sans retournement par une courbe de faible rayon (Fig. 10) et repartent ainsi aussitôt leur arrivée. Comme une partie des trains doit circuler exclusivement entre Barmen et Elberfeld sans aller jusqu'à Vohwinkel, on a établi également à Elberfeld, au jardin zoologique, des voies d'évitement avec un tournant semblable.

Enfin, un tournant est établi provisoirement à la halte de Kluse-Bembergerstrasse, à Elberfeld, point où s'arrête le trajet pour le moment jusqu'à ce que le tronçon de Rittershausen soit achevé.

Les haltes sont situées, cela va sans dire, aux points d'aboutissement des rues les plus fréquentées, généralement à côté d'un pont traversant la Wupper. Aux abords de ces haltes, la voie est en palier sur une longueur de 50 mètres environ, sauf cependant à la sortie de Vohwinkel où les voies sont en pente de $2 \frac{m}{m} 5$ par mètre.

En ce qui concerne la circulation routière, il a fallu ménager un espace libre suffisant sous les voitures de la voie aérienne. L'arête inférieure des voitures du chemin de fer se trouve à $3^m,50$ plus bas que le rail ; la hauteur libre exigée au-dessus du niveau des rues étant de $4^m,50$, la cote minimum des rails au-dessus des routes se trouve donc être au minimum de 8 mètres. Aux endroits où l'on croise des lignes électriques, ce minimum de hauteur est augmenté de $0^m,25$. Les eaux de la Wupper s'étendent sous la voie sur une étendue de 10 km 500, en passant de l'altitude de 161^m10 à celle de 136^m05 , soit une pente de $1/420^e$, qui montre combien le cours de la Wupper est rapide. Ce point est d'une importance capitale, puisqu'il rendait difficile l'implantation de certains piliers dans le cours de la rivière.

Le niveau du rail se trouve à la gare de Rittershausen à une altitude de 171^m961 et descend en général parallèlement au niveau des eaux hautes de la Wupper, sauf à la traversée des routes, où il a fallu surélever la voie pour avoir le gabarit minimum. Les haltes sont placées aussi près que possible du niveau des routes jusqu'au point où la Wupper, entre Elberfeld et Vohwinkel tourne rapidement presque à angle droit et où par conséquent la route principale de Vohwinkel (Fig. 9) qui jusque-là longeait parallèlement la Wupper, monte rapidement. La ligne aérienne atteint là son point le plus bas à une altitude de $132^m,180$, ensuite elle monte rapidement jusqu'à 179^m970 d'altitude du point terminus de Vohwinkel.

Le chemin de fer suspendu comporte, sur toute sa longueur de 13 km 3, 20 stations ou arrêts, à savoir, 7 sur le territoire de Barmen : Ritterhaussen-Bahnhofsbrücke, Schillerbrücke, Vertherbrücke, Rathausbrücke, Adlerbrücke, Loherbrücke, Kaiserbrücke ; 11 sur le territoire d'Elberfeld : Landgerichtsbrücke, Kluse-Bembergstrasse, Döppersberg, Alexanderbrücke, Breite Strasse, Schillerstrasse, Westend, Gasaustalt, jardin zoologique, Sonnborn, Hammersteiner Weg, et sur le territoire de Vohwinkel les 2 arrêts de Vohwinkel-haut et Vohwinkel-bas. Les distances varient de 320 mètres entre Döppersberg et Alexanderbrücke jusqu'à 1.000 mètres entre Kaiserbrücke et Landgericht.

Ouvrages métalliques. — Il était impossible d'employer d'autres matériaux que le fer ou l'acier pour les supports du viaduc. On se heurta dans bien des cas à des difficultés d'ordre esthétique, surtout aux endroits où on traverse les artères ayant une belle perspective, et cela malgré la sveltesse de la nouvelle voie et la grande hauteur à laquelle elle se trouve suspendue.

Les haltes couvertes, fort simples en général, ne se ressemblent pas toutes, notamment la station de Döppersberg a fait l'objet d'un concours entre architectes (projet Bruno Mähring).

Les supports pour les deux rails consistent en une simple poutrelle portée par des piliers doubles ; ces piliers, d'une construction spéciale, de façon à céder aux efforts de la dilatation longitudinale provenant des

différences de température, alternent tous les 200 ou 300 mètres avec un support solidement fixé dans la maçonnerie qui concentre tous les efforts de la tension longitudinale de la voie ; et, entre chacun d'eux, se trouve une articulation libre de compensation des différences de longueur. Aussi loin que la voie suit le lit de la Wupper, les supports ont un fort écartement à la base (Fig. 11 à 13). Sur le tronçon entre Sonnborn et Vohwinkel les supports affectent la forme d'un portique enveloppant la voie charretière (Fig. 14 et 15).

Fig. 11 et 12. — ÉLÉVATION ET VUE EN BOUT DU VIADUC, AU-DESSUS DE LA WUPPER.

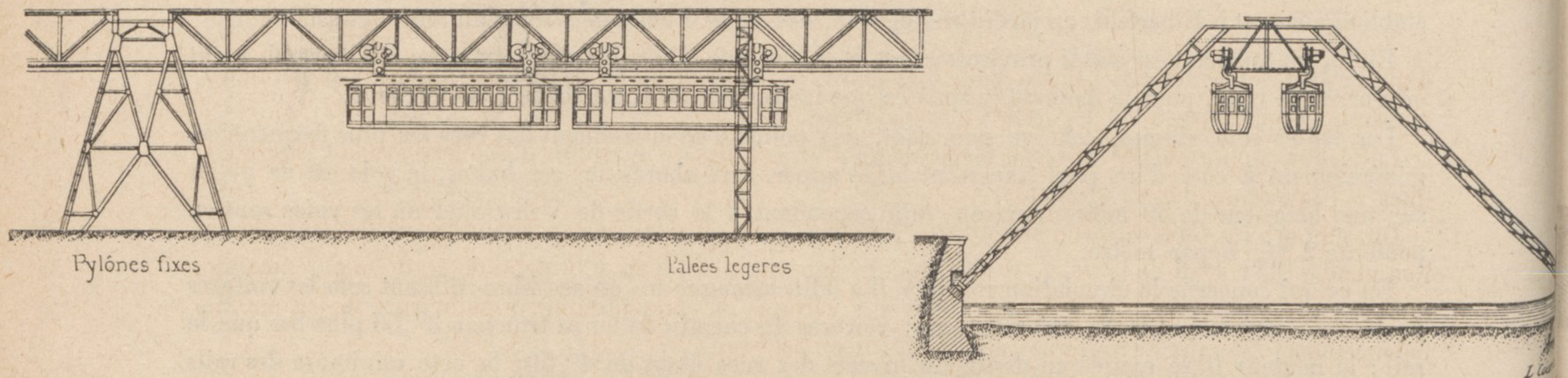


Fig. 13. — PLAN DU VIADUC, AU-DESSUS DE LA WUPPER.

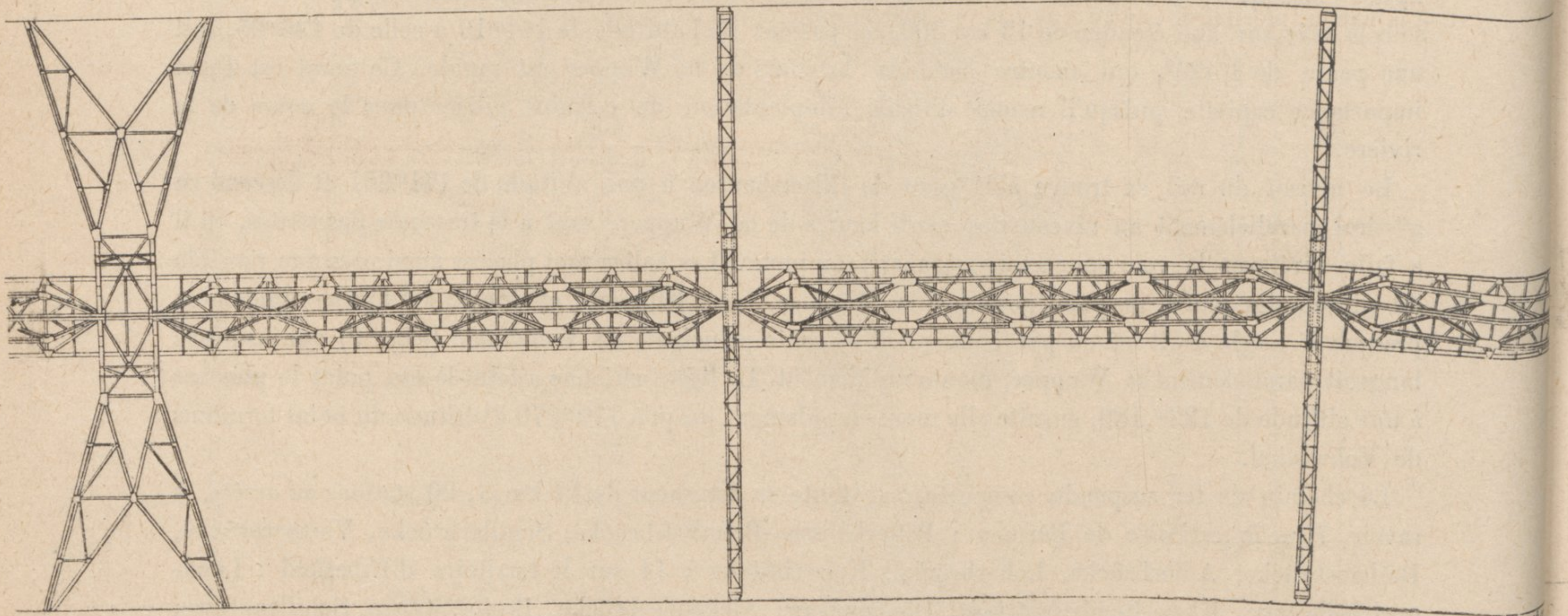


Fig. 14.

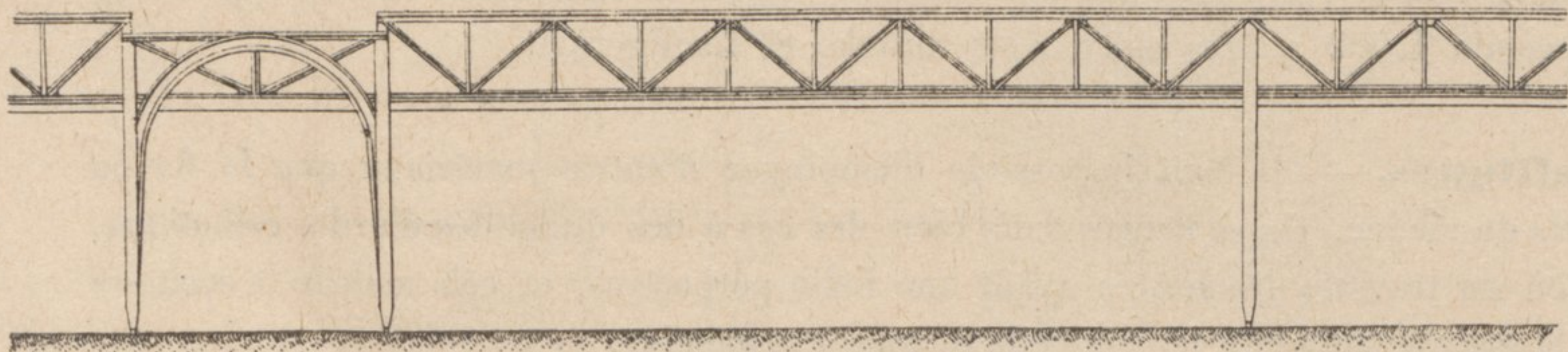
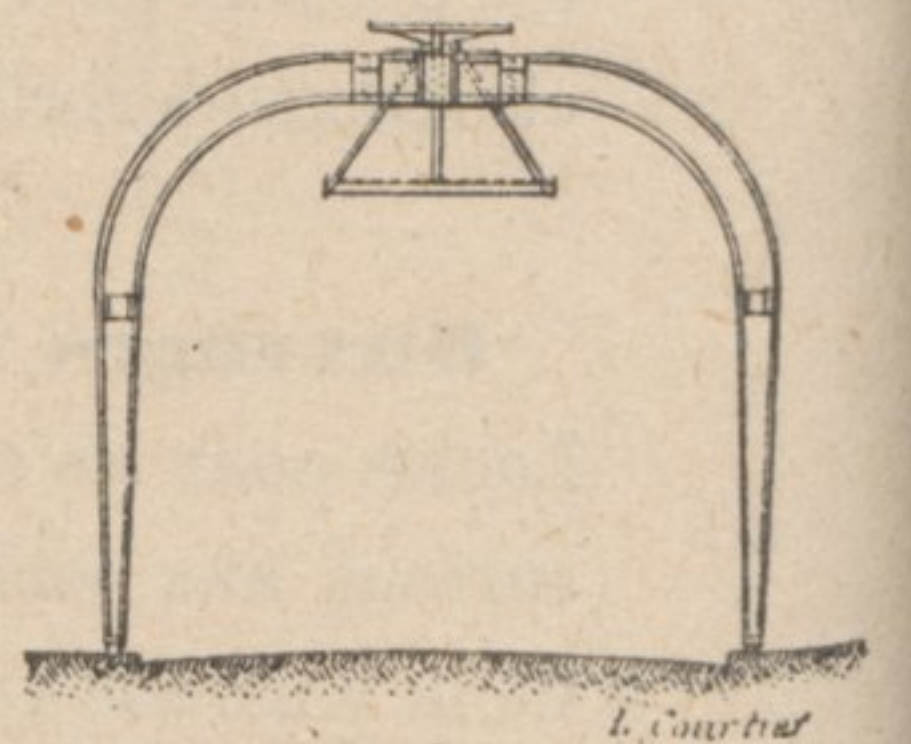


Fig. 15.



La distance entre les supports variant, suivant les conditions locales, entre 21 et 33 mètres, ces supports affectent cinq formes différentes calculées pour des portées variant de 3 à 3 mètres : 21, 24, 27, 30 et 33 mètres.

Dans les calculs relatifs à ces poutres, on a fait intervenir, bien entendu, la charge éventuelle due au vent : on a admis 150 kg. par mètre carré vertical. La surface exposée à la pression du vent n'est que de 1 m² par m. de développement de la poutre. La pression du vent sur la voiture, pour une hauteur de 2^m,6 et une longueur de 11^m, s'élève à 1 tonne l par roue. Quant aux pressions admissibles, elles sont en général en harmonie avec les prescriptions ministérielles de 1895 d'après lesquelles on peut tolérer, sans vent 850 kg. par cm², et, eu égard au vent, 1.100 à 1.300 kg par cm².

D'après ces hypothèses le poids propre des poutres supportant les deux rails est de :

Portées	33 ^m	30 ^m	27 ^m	24 ^m	21 ^m
Poids	786 kg.	713	653	614	580 kg.,

à quoi s'ajoutent seulement 142 kg. pour les rails et les revêtements. Ces poids, relativement insignifiants, montrent à quel degré de légèreté on est arrivé.

Le viaduc supportant les voies est formé de poutres en caissons à treillis d'une très grande légèreté et dues à l'invention de M. Rieppel.

Du support de voies suspendues, on exige d'abord qu'il offre la résistance voulue aux torsions qui ont lieu pendant le travail de la voie ; il doit en outre montrer aussi peu d'incertitude statique que possible, pouvoir suivre les courbes que doivent faire les voitures en marche et offrir enfin assez de jeu pour les balancements latéraux de voitures s'appuyant sur un seul rail.

Le dispositif Rieppel répond à toutes ces exigences (Fig. 16 à 20).

Le système comprend : une poutre principale dans un plan vertical, et deux poutres horizontales, l'une à la partie inférieure, l'autre à la partie supérieure de la poutre verticale.

Fig. 16.

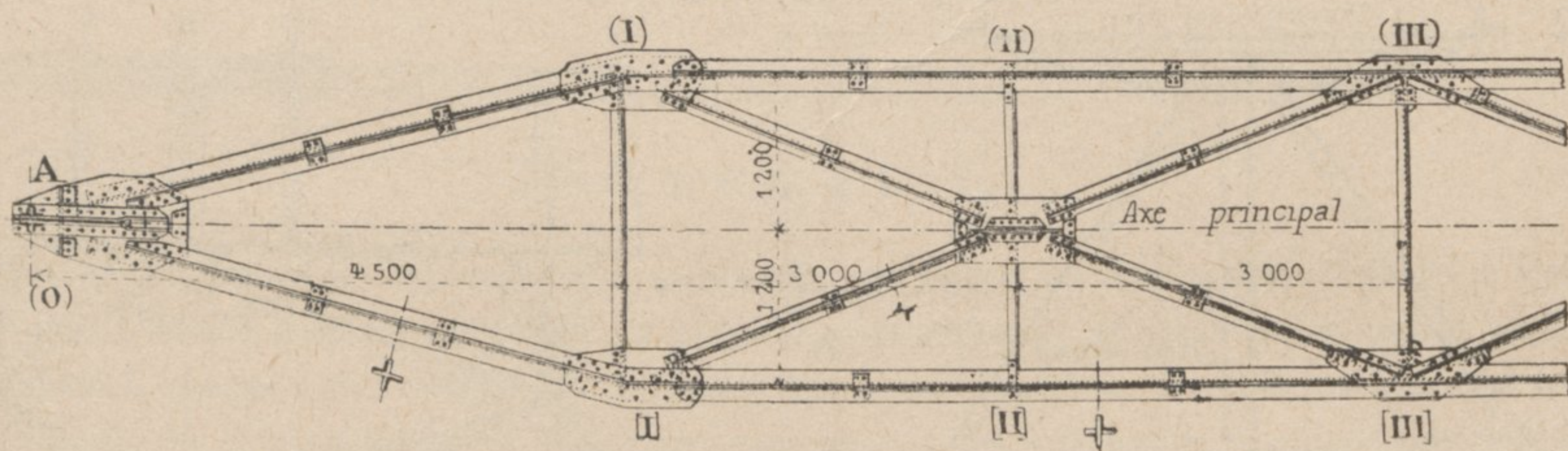
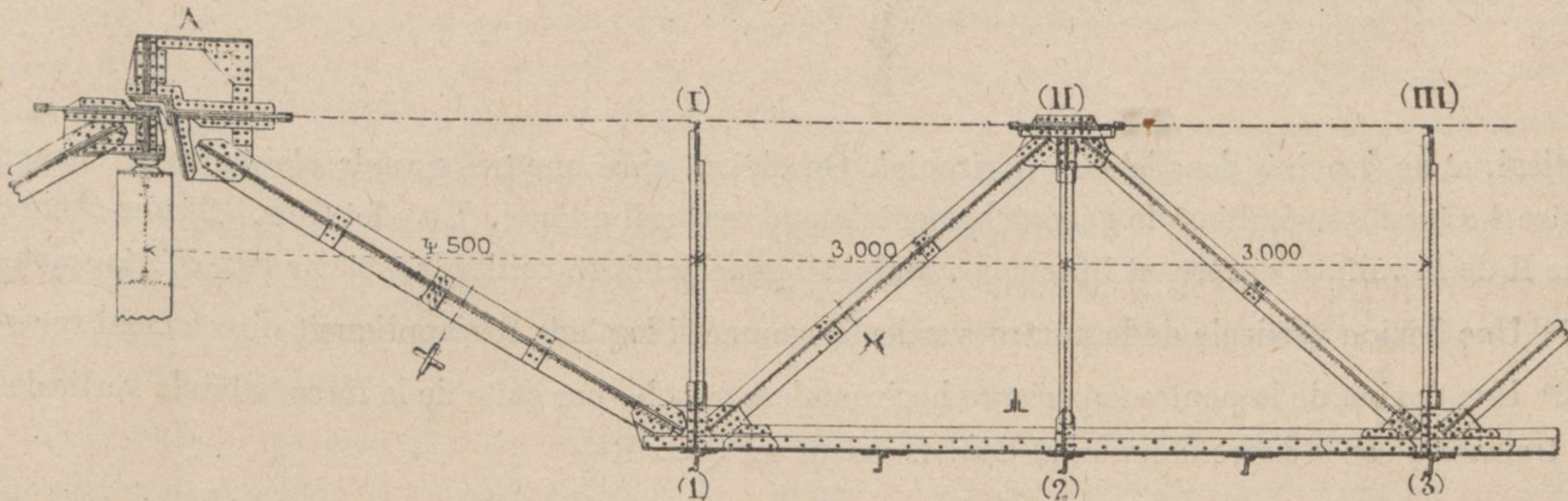


Fig. 17.



La poutre verticale n'a pas de table à la partie supérieure : c'est la poutre supérieure horizontale qui lui en tient lieu.

Ces deux poutres n'ont un appui commun qu'aux points AA (Fig. 16 et 17), où concourent les forces horizontales et verticales transmises par le système.

Les poutrelles de la poutre inférieure horizontale constituent les supports mêmes des rails, et elles sont reliées, dans l'axe de la poutre horizontale supérieure par de simples tirants obliques SS (Fig. 19). Aux extrémités, l'assemblage des poutres se fait par l'intermédiaire de cadres obliques (Fig. 20) qui ramènent les points d'appui exactement sur la verticale de l'axe du palier vertical. Par suite de cette liaison particulière des 3 parties essentielles, tout le système se trouve appuyé, en 2 points, dans le sens

Fig. 18.

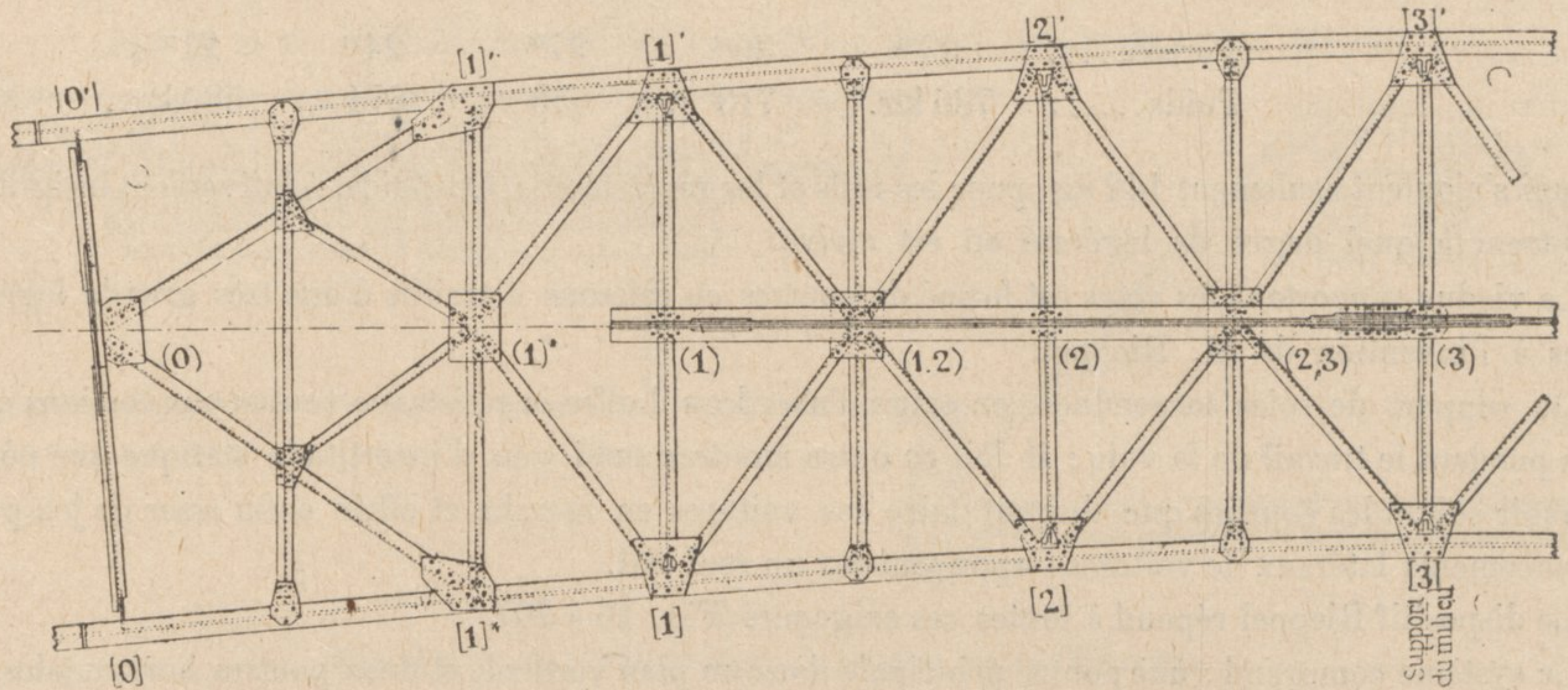


Fig. 19.

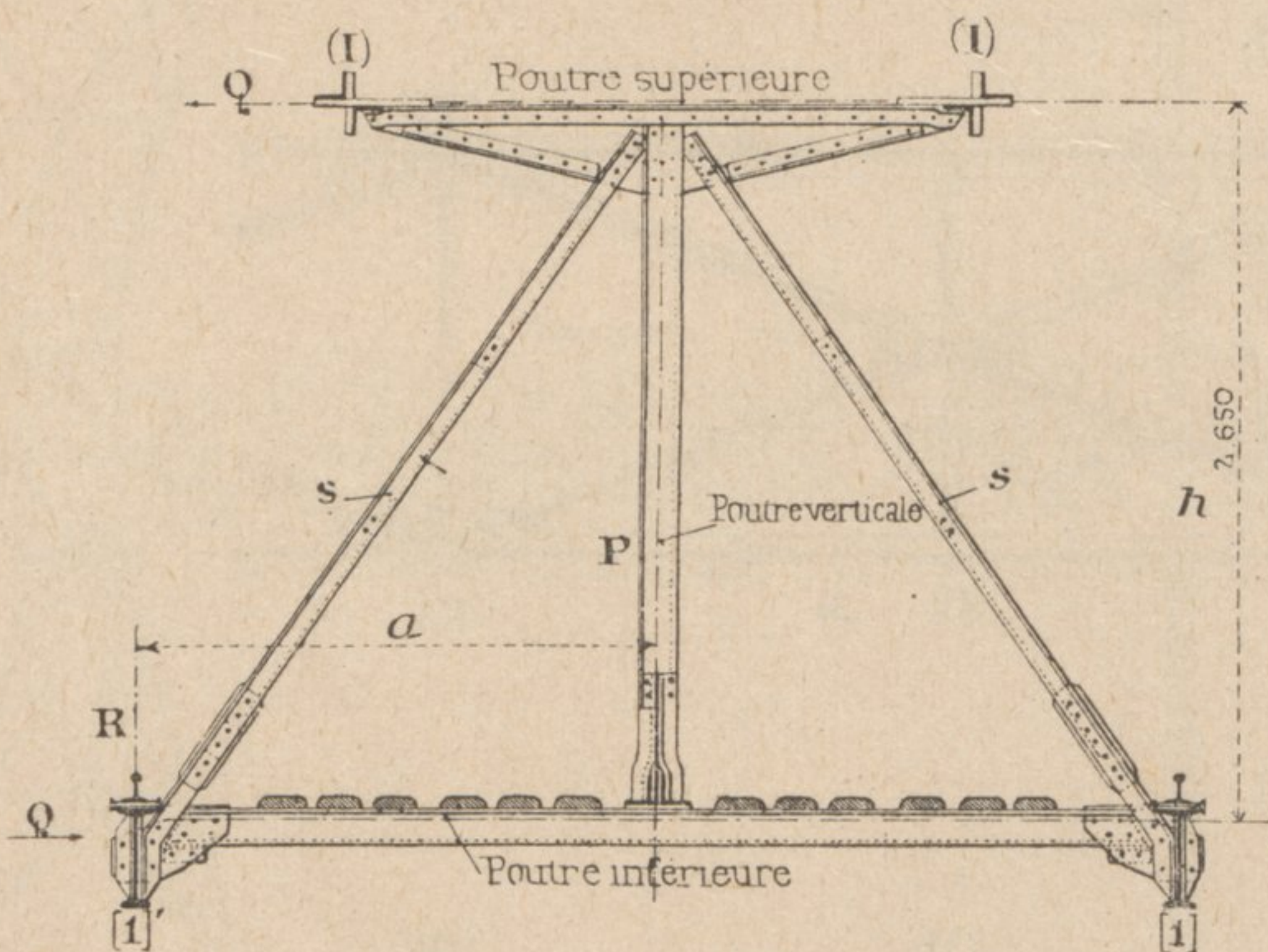
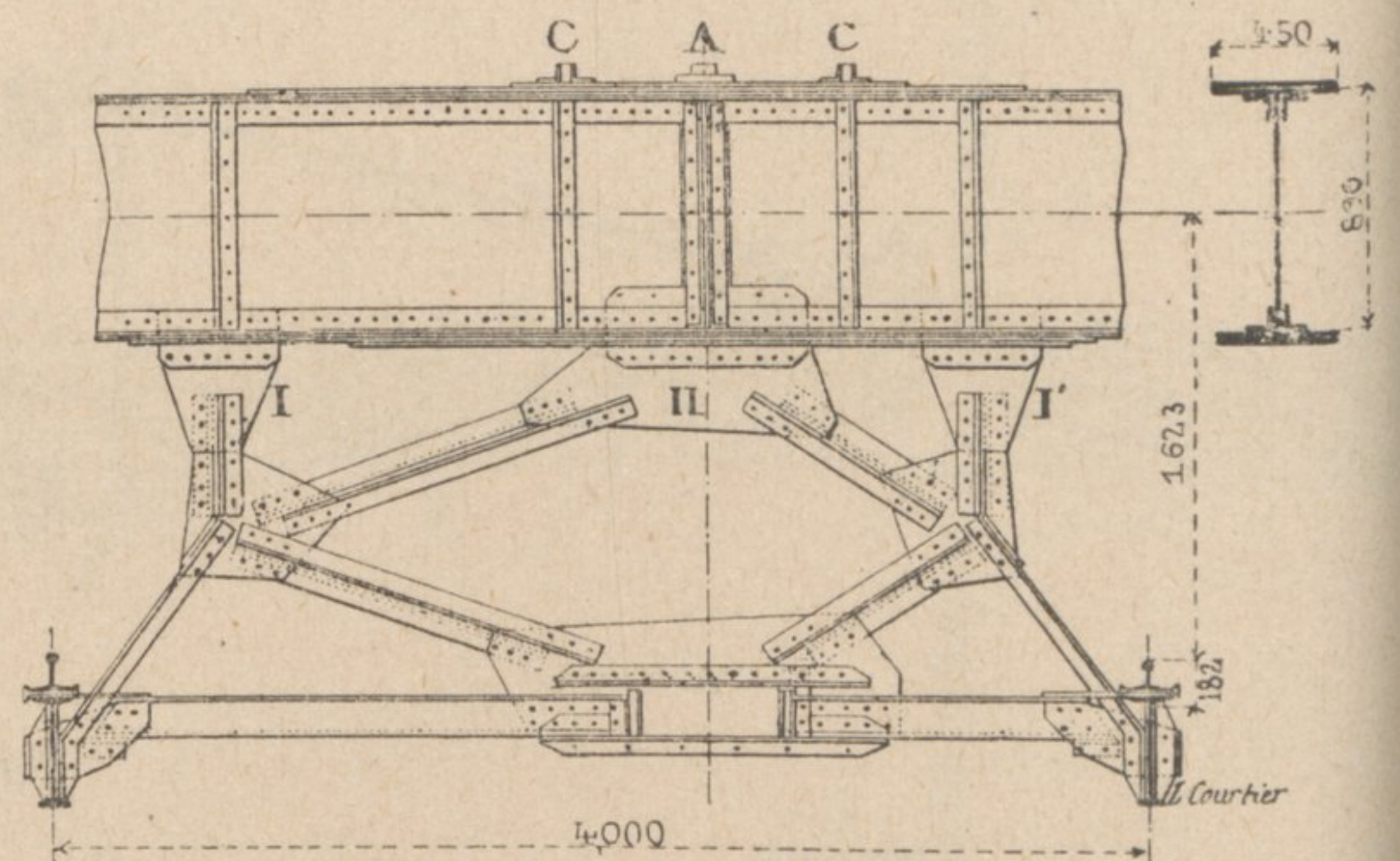


Fig. 20.



vertical, et en 4 points dans le sens horizontal. On obtient ainsi une très grande résistance de l'ensemble contre les torsions résultant de l'accrochement latéral par rail unique. En effet (Fig. 19) une charge de roue R de la voiture s'exerçant librement, sur le rail gauche fait travailler le système aux efforts suivants :

- 1° Une flexion verticale de la poutre verticale comme si le poids R s'appliquait directement sur elle ;
- 2° Une flexion de la poutre supérieure horizontale à gauche par suite de la force latérale verticale qui est transmise par la barre oblique, et dont la valeur est $Q = R \frac{a}{h}$
- 3° Une flexion de la poutre inférieure horizontale à gauche, par suite de la force latérale $Q = R \frac{a}{h}$ s'exerçant directement à la partie inférieure de la poutre.

La grandeur de ces tensions des différentes poutres se détermine par les considérations suivantes :

La poutre verticale (Fig. 17) comprend un treillis, calculable statiquement, dont la partie supérieure dans la région moyenne est posée parallèlement aux rails, mais qui se trouve ramenée obliquement à ses

extrémités vers les appuis situés à la partie supérieure. Les parties latérales sont des barres obliques dont les moyennes sont alternativement soumises à des efforts de traction et de compression. La recherche des forces de tension suivant la méthode, des lignes d'influence n'a pas besoin d'autre explication.

La poutre horizontale supérieure (Fig. 16) n'entre pas en considération pour les charges placées symétriquement par rapport à la poutre principale verticale, ainsi que pour des charges permanentes et égales, charges d'exploitation des deux côtés. En effet, aux 4 points communs O II II O dans l'axe longitudinal, la différence des forces agissant sur la poutrelle supérieure de la poutre verticale entre seule en jeu comme force finale. Donc, dès que les charges agissant sur les deux côtés sont différentes, soit par suite de l'exploitation d'un seul côté, soit par la pression du vent, il se produit des efforts obliques. Si l'on considère la poutre horizontale supérieure comme poutrelle supérieure de la poutre principale verticale, il est évident que pour le cas exposé dans la Fig. 16, il y a double indétermination au point de vue statique, parce qu'il existe deux barres superflues.

Soit S_0 la tension d'une barre du système principal déterminé en ne tenant pas compte des barres superflues, et soient S' et S'' les efforts de tension de cette barre quand le système principal est chargé par une force I , en supposant successivement l'une, des barres superflues absente, les deux forces inconnues au point de vue statique X_1 et X_2 peuvent être déterminées par les déformations élastiques du système. Avec les symboles choisis et par l'introduction de l'expression $\rho = \frac{s}{E F}$ où $s =$ la longueur, F la coupe diagonale et $E =$ le module d'élasticité des différentes barres, les équations du travail prennent les formes suivantes :

$$\begin{aligned} \Sigma S' S_0 Q + X_1 \Sigma S'^2 Q + X_2 \Sigma S' S'' \rho &= 0 \\ \Sigma S'' S_0 Q + X_1 \Sigma S' S'' Q + X_2 \Sigma S''^2 Q &= 0 \end{aligned}$$

Les forces réelles de tension des barres sont obtenues en calculant X_1 et X_2 dans l'équation :

$$S = S_0 + S' X_1 + S'' X_2$$

Pour arriver maintenant à l'expression des sommes de ces forces, on doit calculer d'abord la force de tension S_0 du système général déterminé au point de vue statique, de façon qu'on puisse rapporter successivement à chaque point commun de la poutre principale verticale, les charges I afin d'obtenir pour chacune de ces charges les forces extérieures correspondantes aux points communs supérieurs ; ces forces sont ensuite prises comme forces extérieures pour la poutre horizontale supérieure. En laissant de côté les barres (III) (III) ou bien (I) (I) ou bien (I') (I') on détermine le système principal pour la poutre supérieure. Les forces S_0 qui naissent sous l'influence de ces forces extérieures sont faciles à obtenir graphiquement. Et alors, les forces S' et S'' sont déterminées par les deux hypothèses d'exploitation. Pour obtenir par le calcul les forces de tension des barres, on écrit les sommes sous forme d'un petit tableau, ce qui donne plusieurs simplifications. Les barres placées symétriquement ont les mêmes efforts de tension. Comme les charges résultant de l'exploitation de l'une ou de l'autre voie, ainsi que les charges permanentes n'occasionnent pas de chargement oblique de la poutre supérieure on obtient finalement en mettant les valeurs de S sous les places chargées correspondantes, les lignes d'influence des forces dans les barres.

En second lieu, la poutre supérieure est exposée à la pression latérale horizontale de la charge d'exploitation marchant d'un côté. Le poids de 1 tonne, à l'aplomb du rail engendre comme nous venons de l'expliquer plus haut une pression latérale de $1 \times \frac{2.00}{2.55} = 0.755$ tonne. Les lignes d'influence trouvées dans ce cas sont à réunir avec les lignes d'influence de la 1^{re} espèce.

En troisième lieu, la poutre horizontale supérieure est sous l'influence des pressions du vent. En réunissant pour les pressions des barres, les conditions les plus défavorables comme chargement continu

pleine charge d'exploitation ou charge d'exploitation d'un côté et vent, on obtient pour les plus petites poutres longues de 21 m., les forces de tension suivantes :

	SANS VENT-TONNES.	AVEC VENT-TONNES.
Poutrelles.....	{ O/I..... — 29.52	— 39,11
	{ I/III — 33.27	— 34.83
Barres obliques.....	{ I/II..... — 6.61	— 7.17
	{ + 8.25	+ 8.80
Montants.....	{ II/III — 13.22	— 13.60
	{ I/I + 6,95	+ 7.09
	{ III/III..... + 7.18	+ 7,89

Pour la constitution de la coupe transversale on est descendu jusqu'à des sections 70 × 70 × 7.

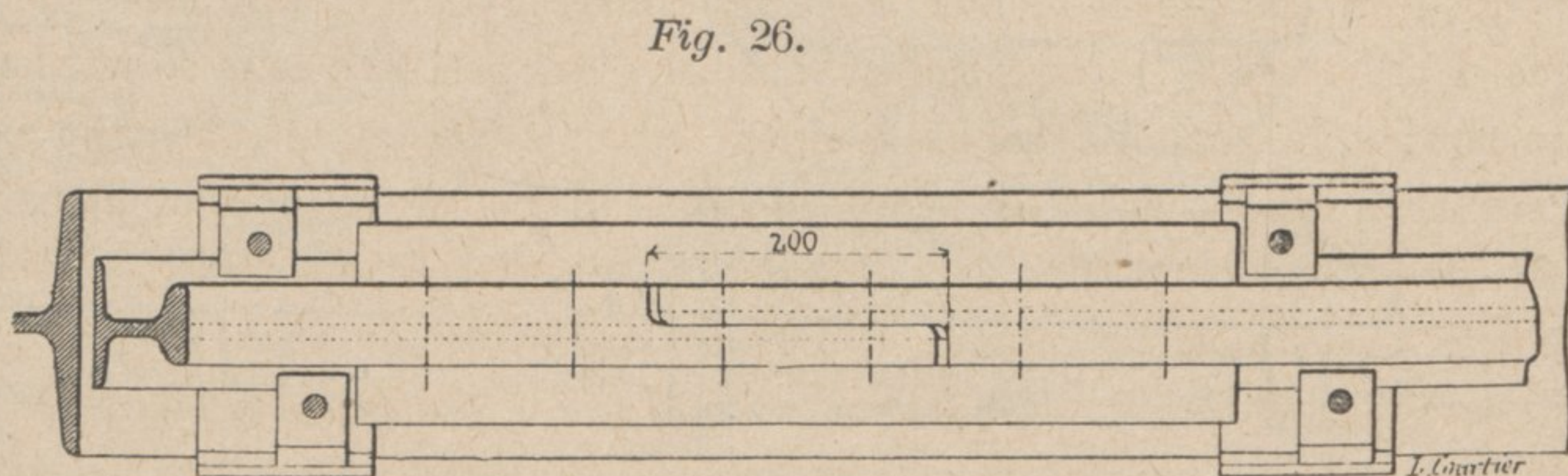
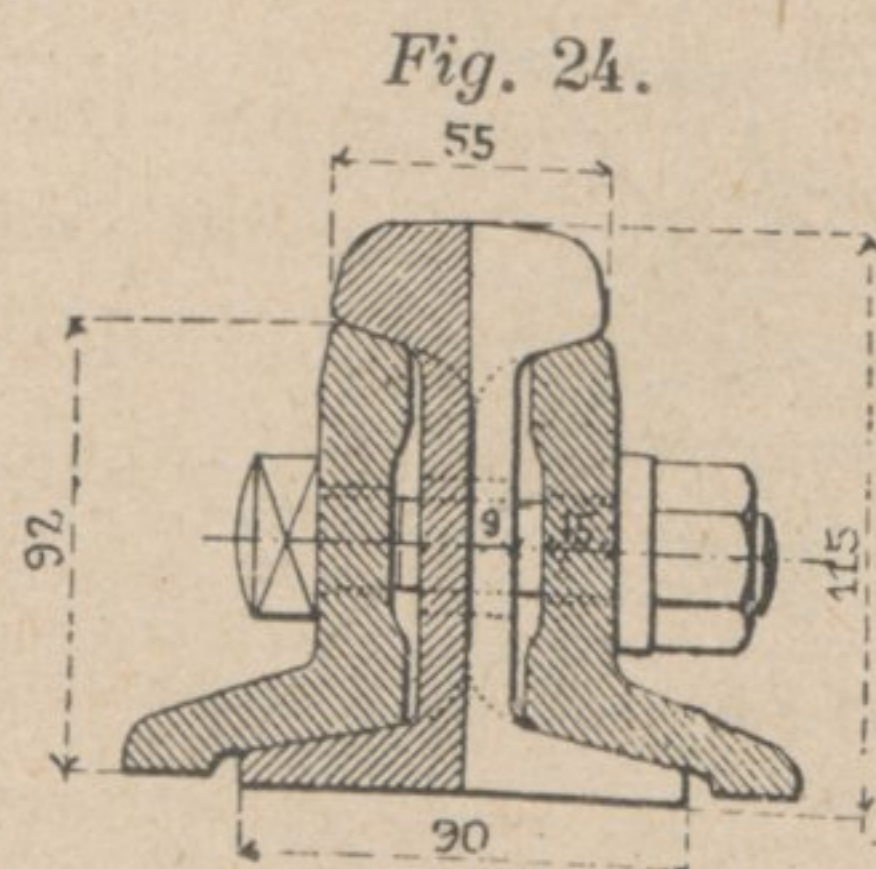
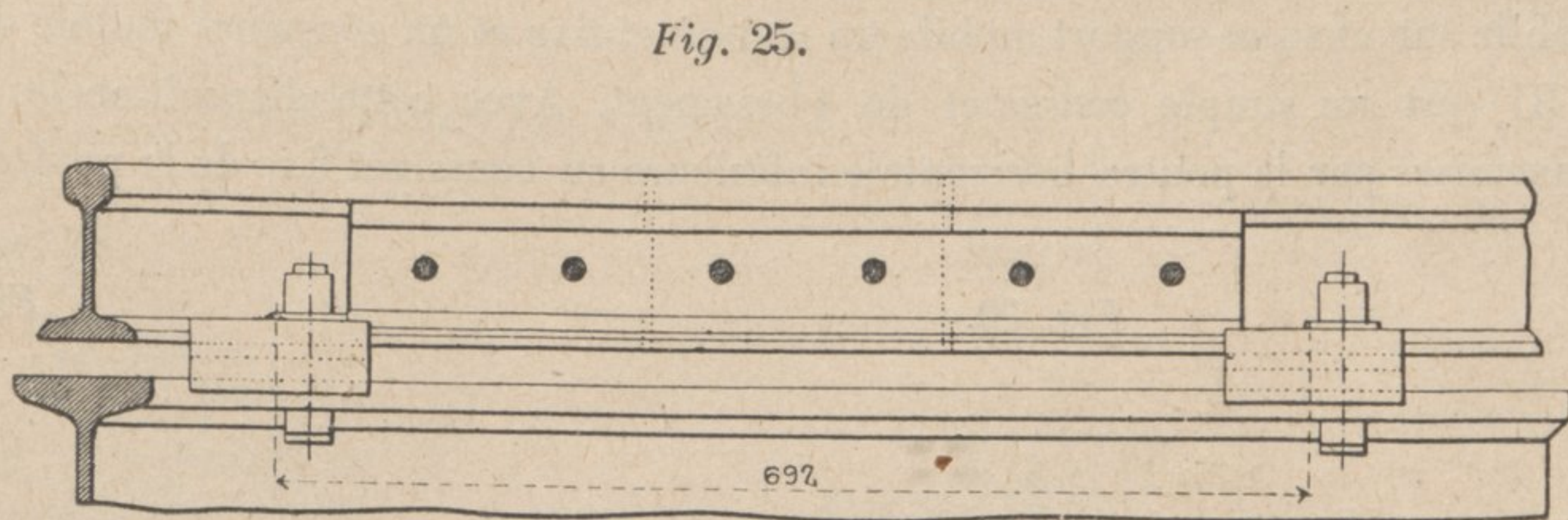
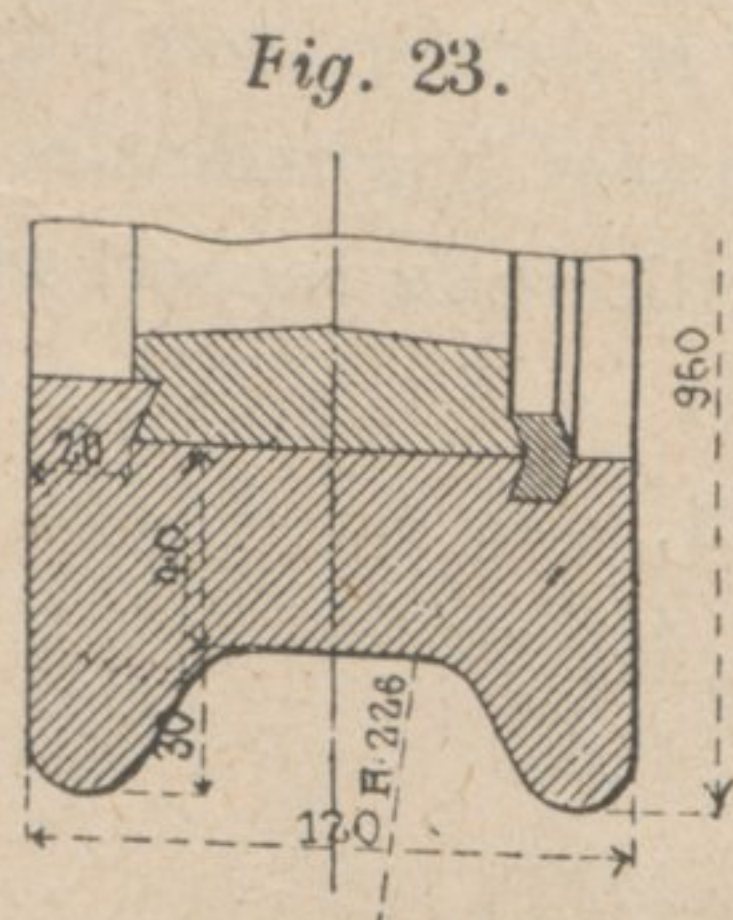
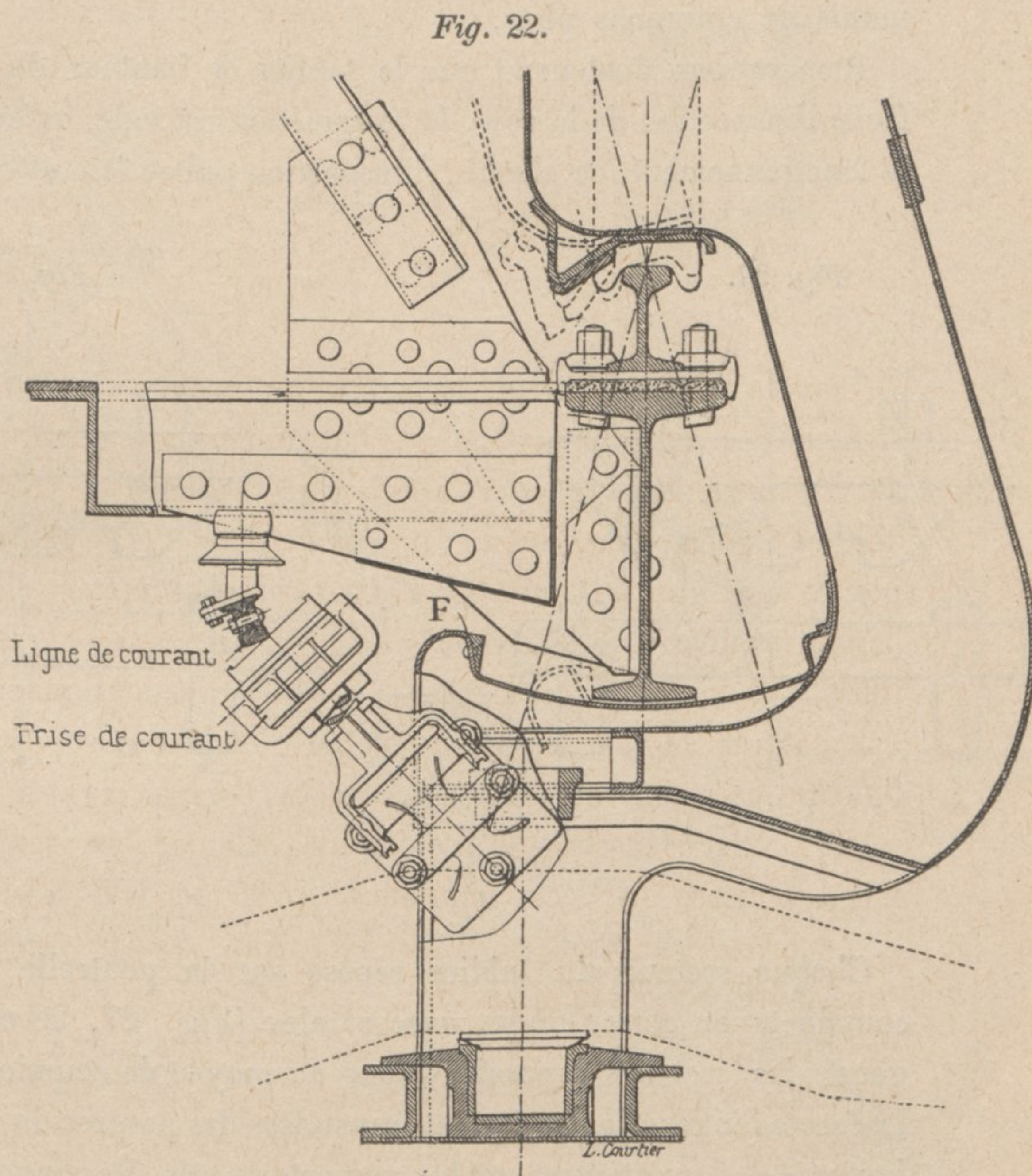
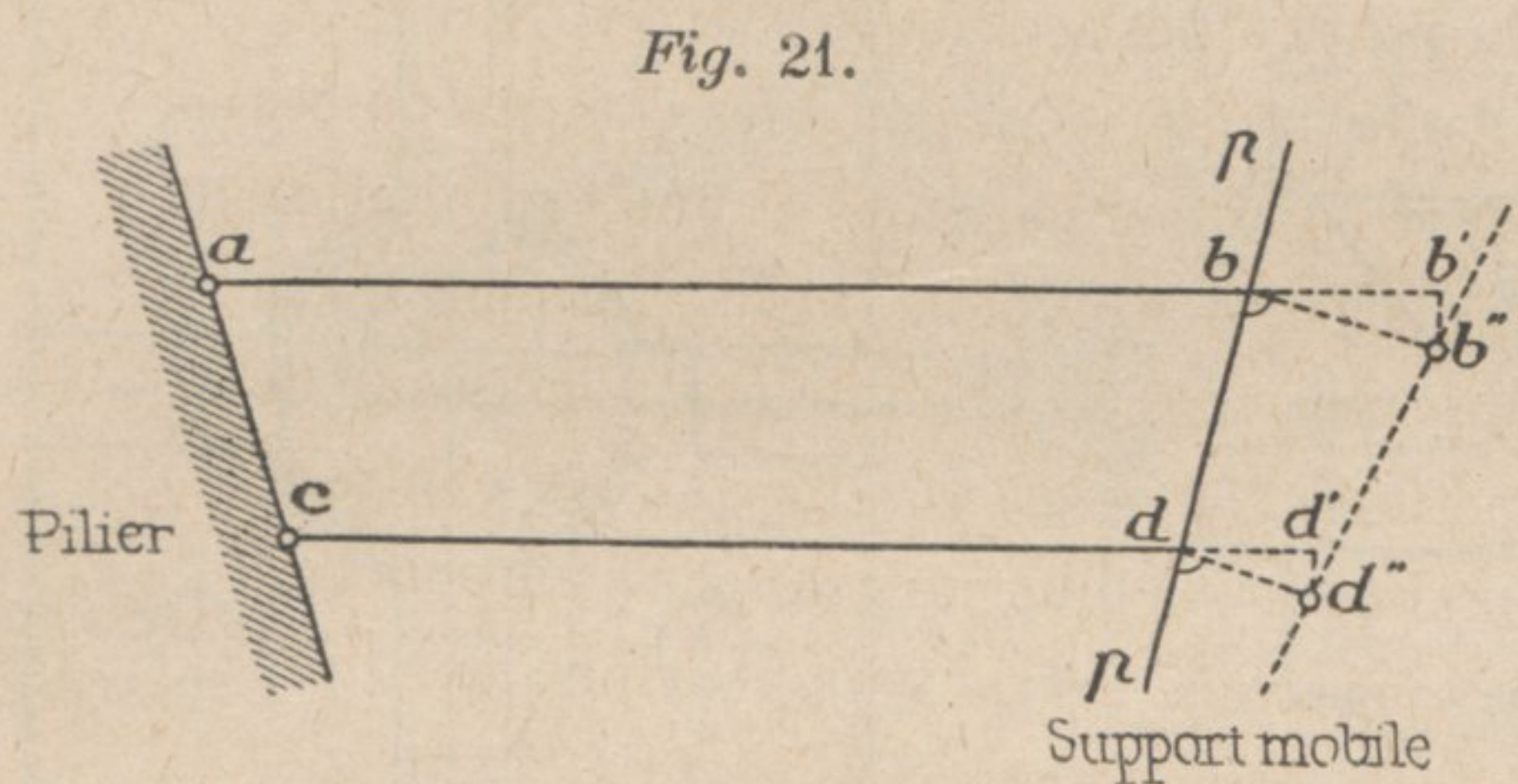
Enfin, en ce qui concerne la poutre inférieure horizontale, elle n'intervient pour des charges posées symétriquement par rapport à la poutre principale — pour des charges permanentes et une exploitation des deux voies — qu'autant que les tensions de la poutrelle inférieure provoquent des tensions de la poutre verticale ; en outre par l'exploitation d'un côté, elle subit une tension oblique opposée à celle de la poutre supérieure horizontale. Par la présence des barres superflues et à cause des efforts de la poutrelle inférieure de la poutre verticale, il y a également indétermination sous plusieurs rapports au point de vue statique. Mais il est inutile d'aller plus loin parce que les longerons servant de poutrelle par suite de leur charge directe, sont assez solides comme rigidité pour une longueur de 3 m. à 4 m. 5 entre les nœuds. Par conséquent, il suffit de calculer les forces obliques et on a trouvé pour les fers à fausse équerre de formes équilatérales 100 × 100 × 10 jusque 70 × 70 × 9.

Les calculs ne sont pas, abstraction faite de leur indétermination statique, dans la poutre horizontale supérieure, aussi compliquées que cela paraît de prime abord. Il est vrai que les grands écartements, par exemple 33 mètres, donnent lieu à une quadruple indétermination statique de la poutre horizontale supérieure, par suite de l'augmentation des barres superflues. Mais le calcul est semblable au précédent. Il se développe dans quatre équations de travail, ce qui, il est vrai, conduit à un calcul assez long, mais qui par suite de la symétrie se simplifie.

Néanmoins, le système Rieppel offre amplement les avantages précités, non seulement l'espace suffisant pour le balancement des voitures, mais encore la simplicité de forme pour les courbes, quel que soit leur rayon, de sorte que l'établissement du tablier n'offre pas de trop grandes difficultés. En effet, la poutre verticale et la poutre horizontale supérieure sont toujours faites en barres droites et la poutre horizontale inférieure a une forme telle que ses poutrelles épousent exactement la courbe prescrite pour la ligne. Il s'en suit seulement que le point d'appui A dans les courbes ne coïncide pas avec le milieu de la voie.

En outre, le système Rieppel offre cet avantage précieux de rendre facilement possible la liberté de mouvement des piliers mobiles dans les courbes, avantage qui permet d'établir le viaduc plus simple que dans le cas de la construction ordinaire qui nécessite deux ou plusieurs poutres principales. Dans les courbes, les supports mobiles tournent autour d'axes qui ne sont pas à angle droit avec l'axe du pont. Pour cette raison, dans les ponts constitués par plusieurs poutres principales le montage du tablier offre des difficultés particulières. Examinons, en effet, la figure 21, où *pp* désigne la base d'un support mobile placé dans la courbe, et qui est maintenu par deux poutres principales *ab* et *cd* au moyen d'attaches articulées, aux points *a* et *c* du pilier : si les poutres principales *ab* et *cd* se dilatent, les lieux géométriques des points extrêmes après l'achèvement de la dilatation sont, d'un côté, leurs projections, d'un autre côté, les arcs de cercle avec rayons *ab'* et *cd'* ; *b''* et *d''* sont donc les positions extrêmes. Pour l'établissement des détails du tablier nous renvoyons aux figures 16 à 20. L'assemblage des longerons avec tous les détails de la construction supérieure est figuré dans les Figures 22 à 26.

Les poutrelles de rail ont la forme I avec une hauteur de 340 m/m et en haut 180 m/m de largeur. Par suite de la suspension et de la position oblique de la voiture la partie inférieure a été arrondie en cercle dont le centre se trouve sur l'arête supérieure du rail. En coupe transversale les dimensions sont $F = 95.8 \text{ cm}^2$, $I = 17.500 \text{ cm}^4$, $W_o = 1.249 \text{ cm}^3$, $W_u = 880 \text{ cm}^3$, $G = 75,2 \text{ kg/m}$. Pour attacher



les longerons aux barres du cadre transversal, on se servait jusqu'à présent de tôtes renforcées fixées dans des fentes verticales du longeron. Maintenant on préfère, pour simplifier, l'attache figurée

dans la figure 25, qui résiste mieux à la torsion, lors du balancement des voitures ou de la pression latérale du vent ; elle est constituée par une traverse dont la partie supérieure est rattachée à celle de la poutrelle du rail par un fer plat. Le rail haut de 115 m/m repose, au moyen d'une cale de 10 m/m d'épaisseur et d'une bourre en feutre de 15 m/m à un écartement de 753 m/m , sur les poutrelles de façon à rester mobile dans sa longueur, ce qui est obtenu par une attache formée de deux crocs à vis, munis de crampons plats.

Remarquons finalement que le tablier à hauteur du rail est garni de madriers afin de rendre plus facile l'inspection de la voie. La disposition est telle, qu'en cas de nécessité lors d'une interruption dans le fonctionnement, ce chemin d'inspection puisse être atteint de la voiture.

Fig. 27.

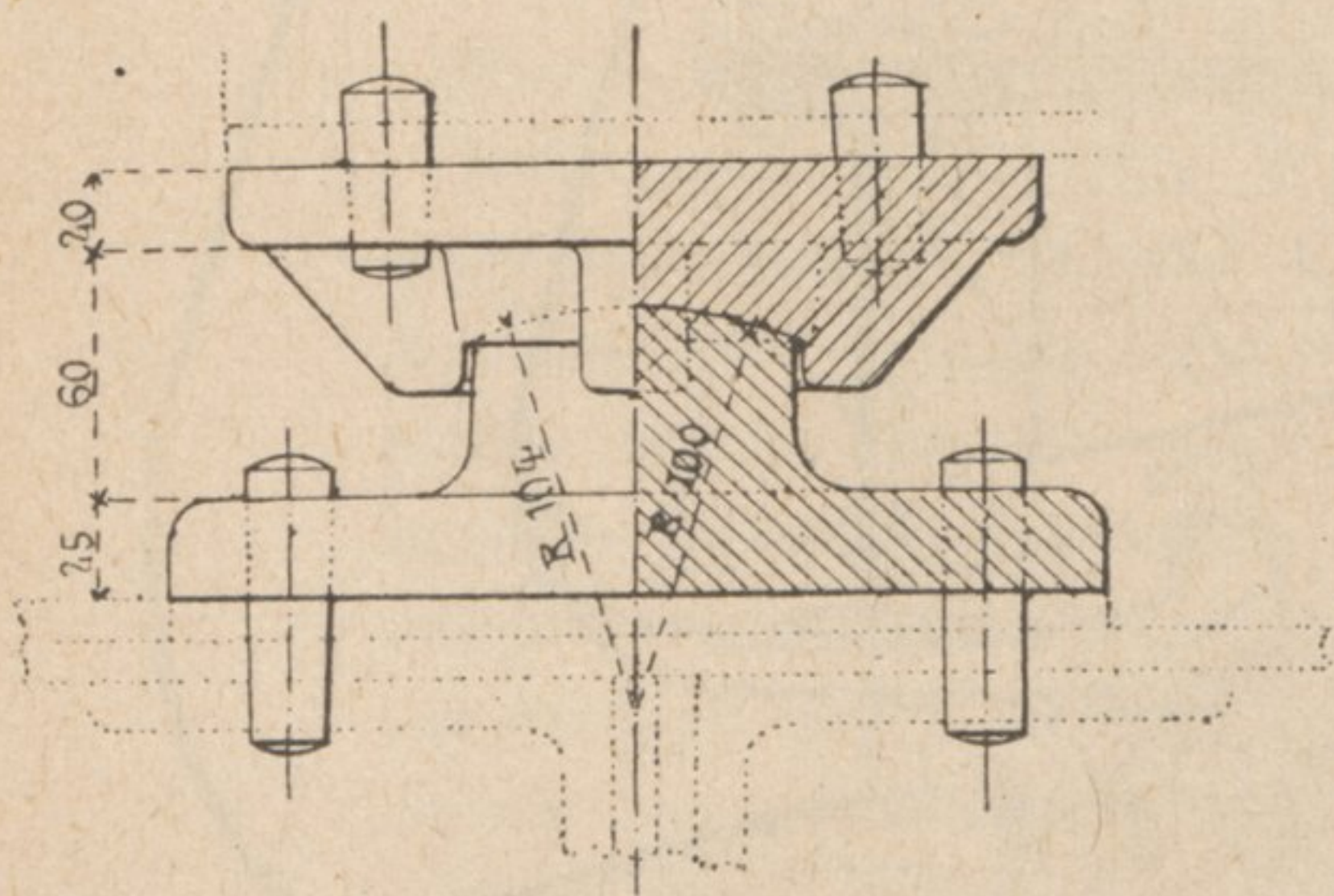


Fig. 28.

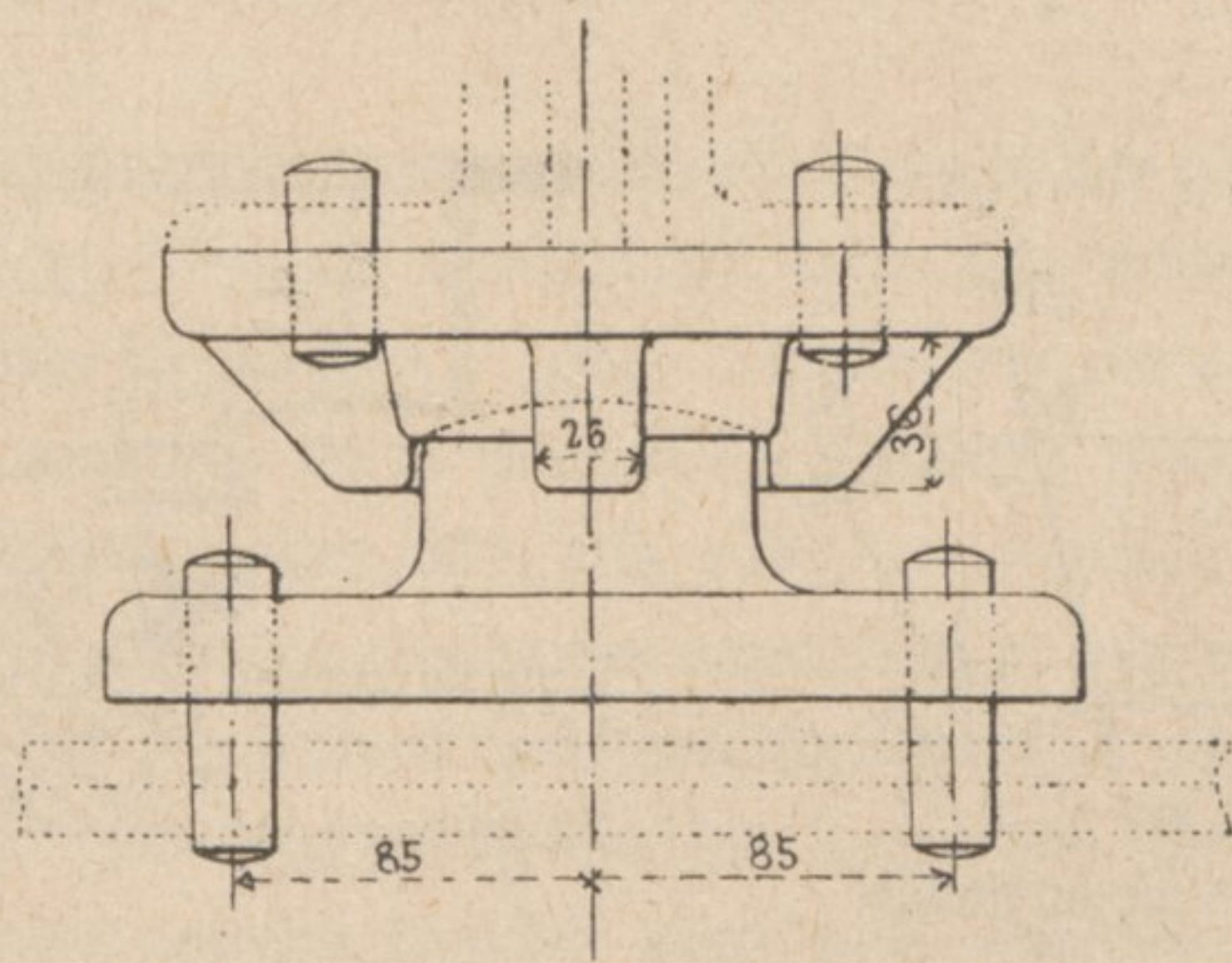
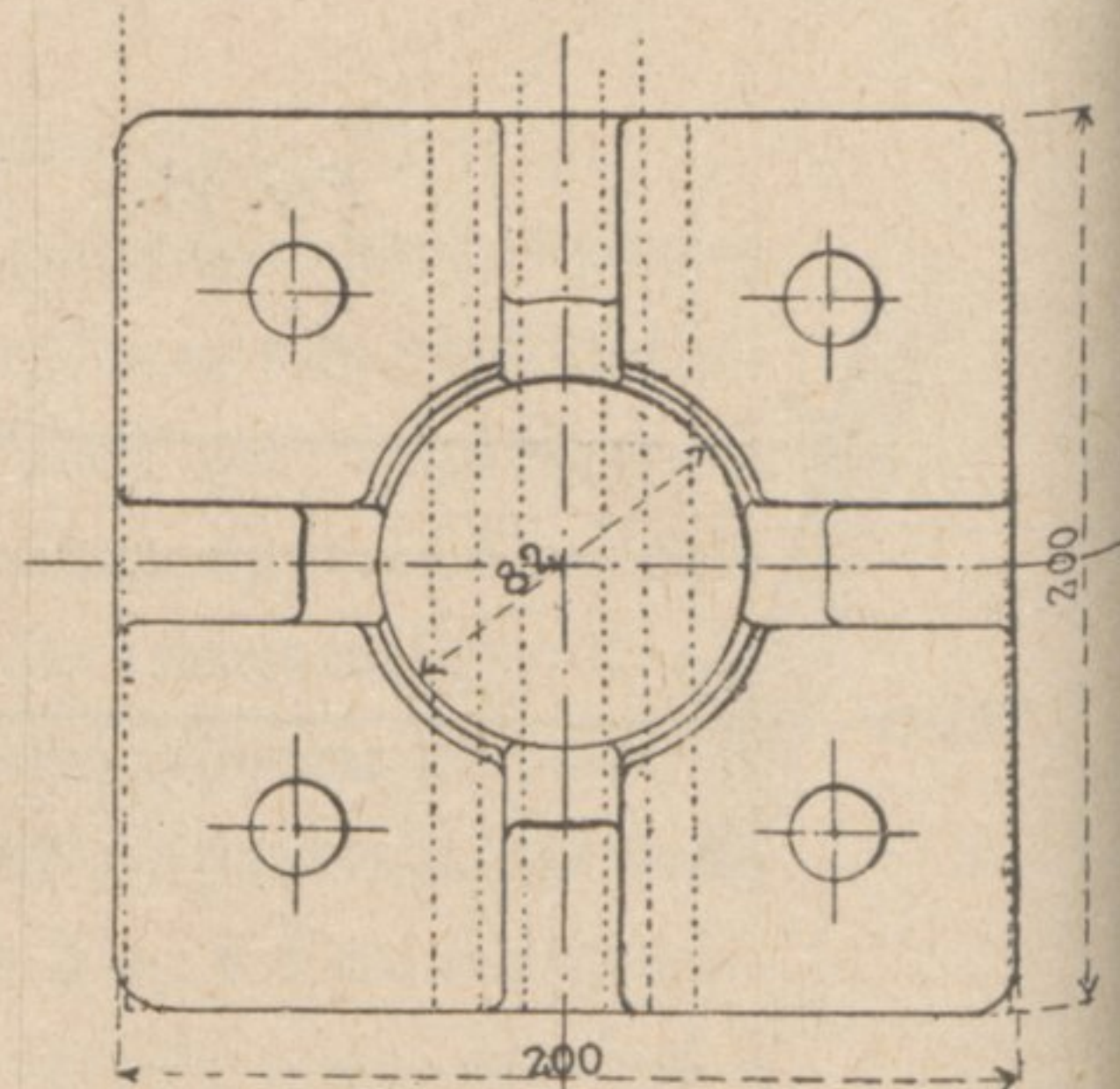


Fig. 29.



Chaque secteur du tablier repose sur la poutrelle supérieure des piliers mobiles, au moyen de coussinets en acier fondu, avec rotules (Fig. 27, 28 et 29). Dans les premières constructions de ce genre les secteurs reposaient tous au moyen de coussinets fixés sur les supports mobiles, de sorte que les forces longitudinales étaient transmises des poutres du rail, au-delà du coussinet voisin par les poutres horizontales supérieures sur les supports ancrés. Récemment, on a abandonné cette manière de faire pour établir sur chaque support mobile un coussinet fixe et un coussinet mobile dont le dernier (voir Fig. 30 et 31) est un simple coussinet de glissement. Avec cette disposition les poussées longitudinales sont transmises par la poutre horizontale inférieure au coussinet fixe de la poutre verticale du support ancré.

Fig. 30.

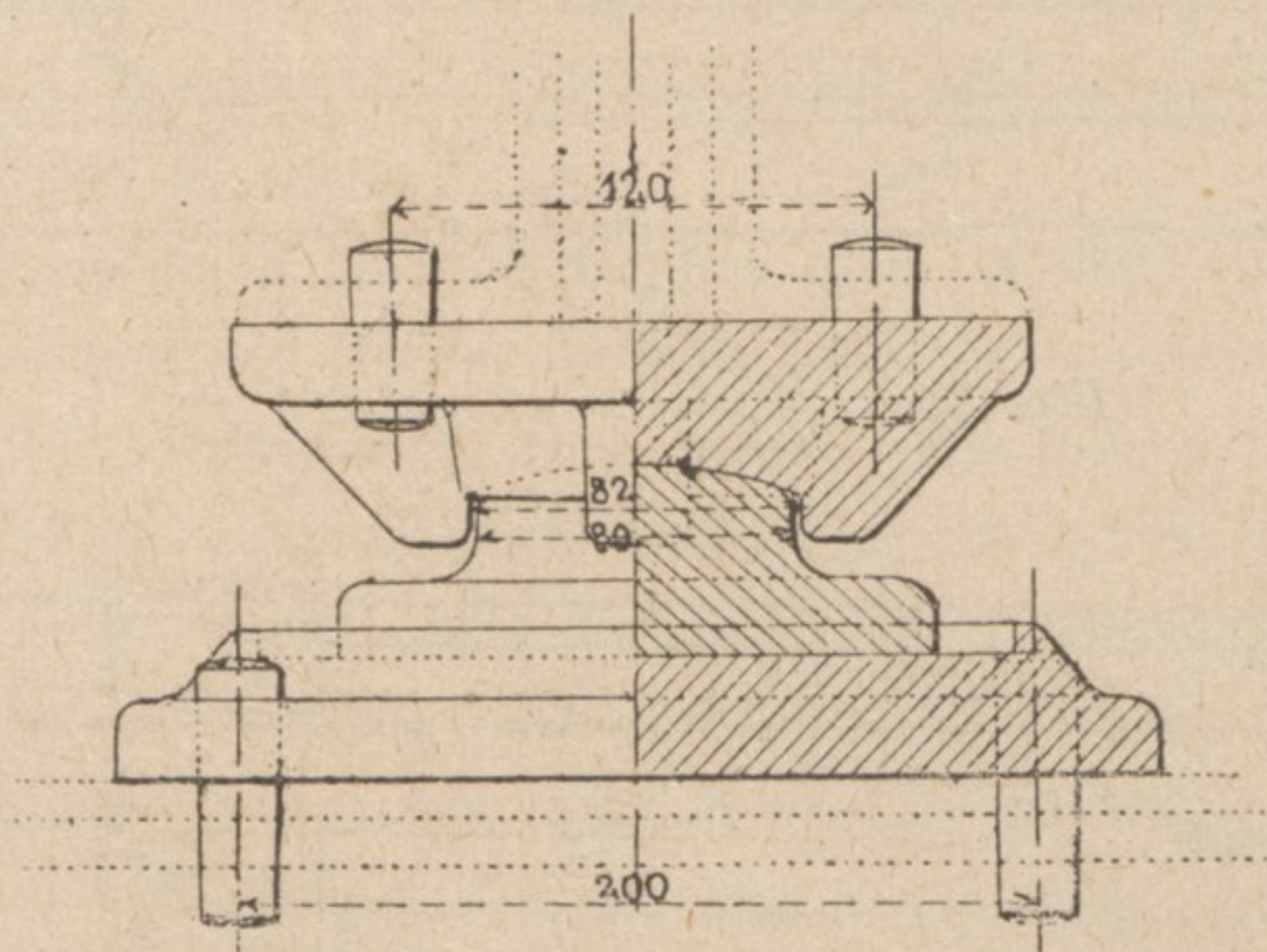
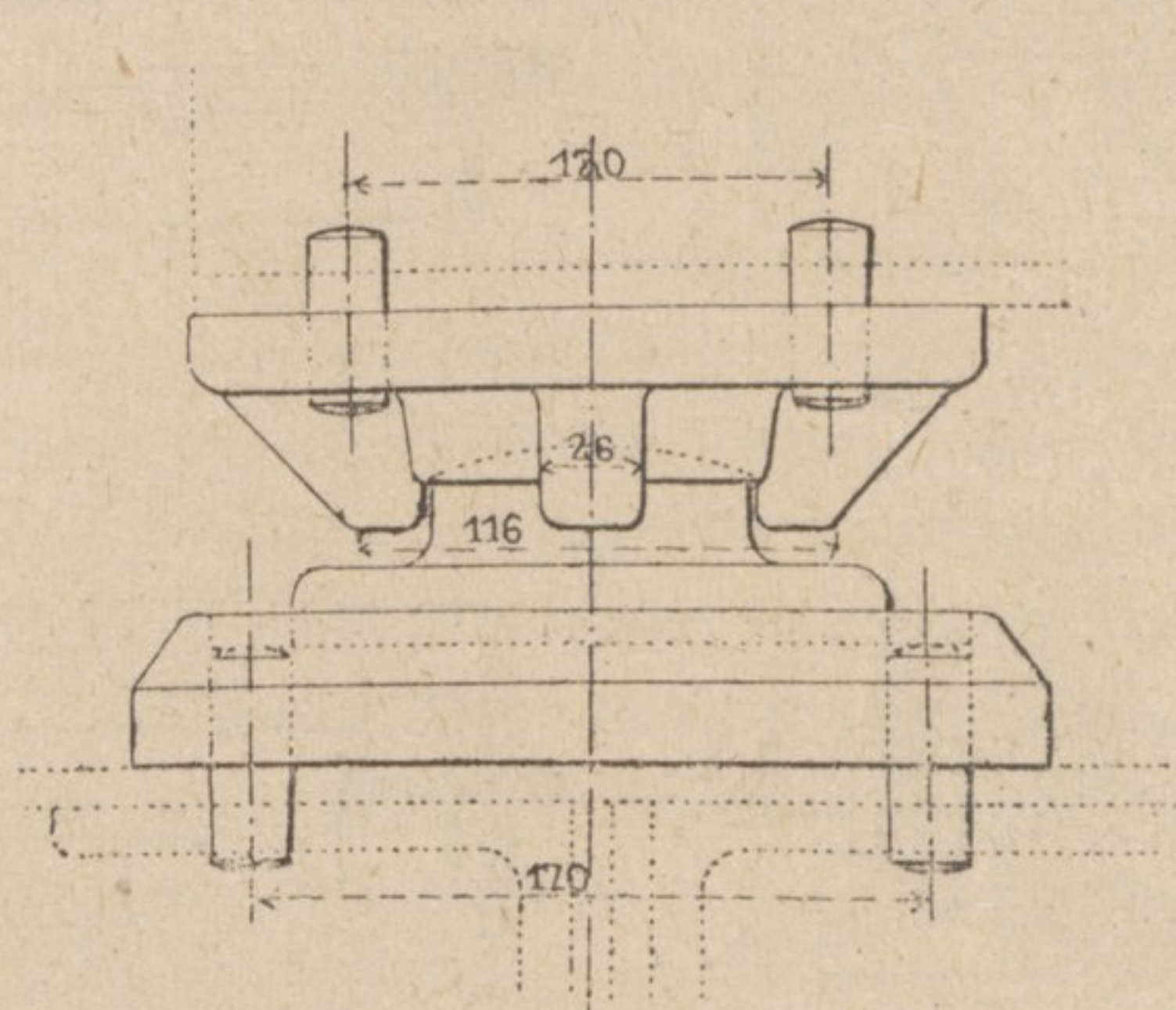
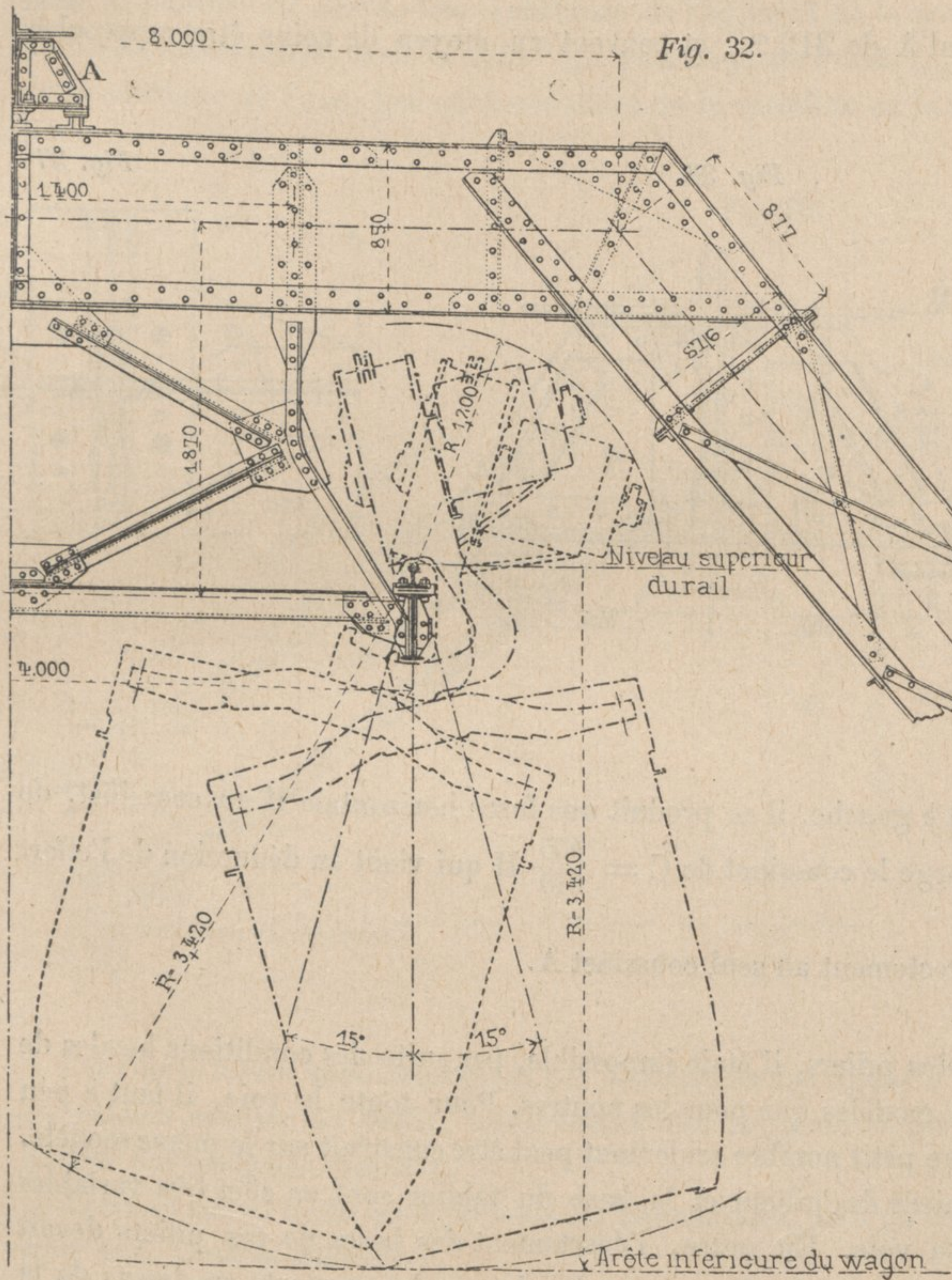


Fig. 31.



Les longerons sont à jointures compensées pour empêcher la déformation du tablier. Avec les supports mobiles en caissons, les coussinets se trouvent à hauteur égale comme le montre la Figure 32.

Mais avec les supports mobiles à paroi unique, la fixation ne pouvait s'opérer ainsi, les points communs de l'extrémité d'une poutre devaient être pris de façon qu'ils se fixent sur la poutrelle supérieure de l'autre poutre comme il est indiqué dans la Figure 17.



COUPE TRANSVERSALE DU SUPPORT.

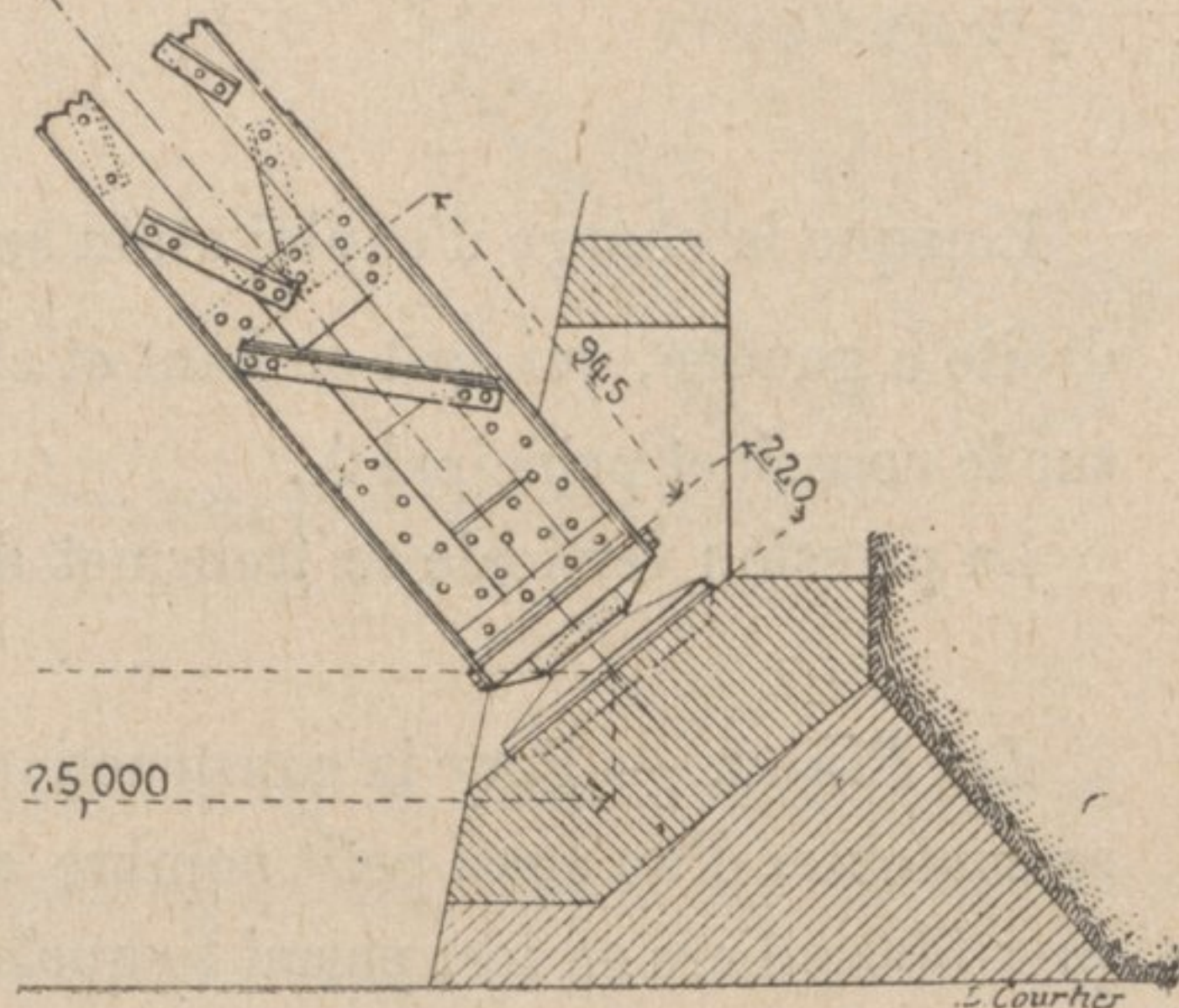
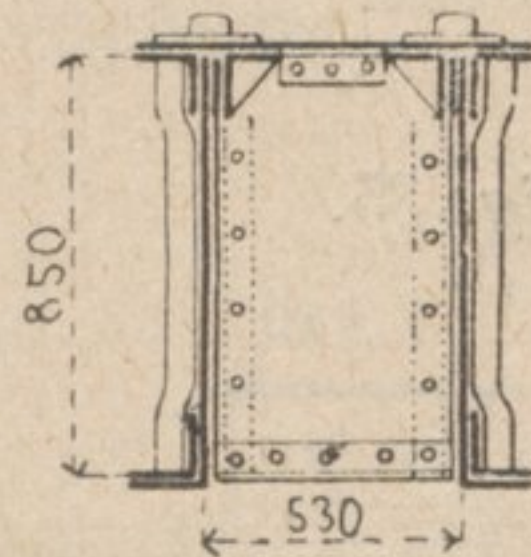


Fig. 33.

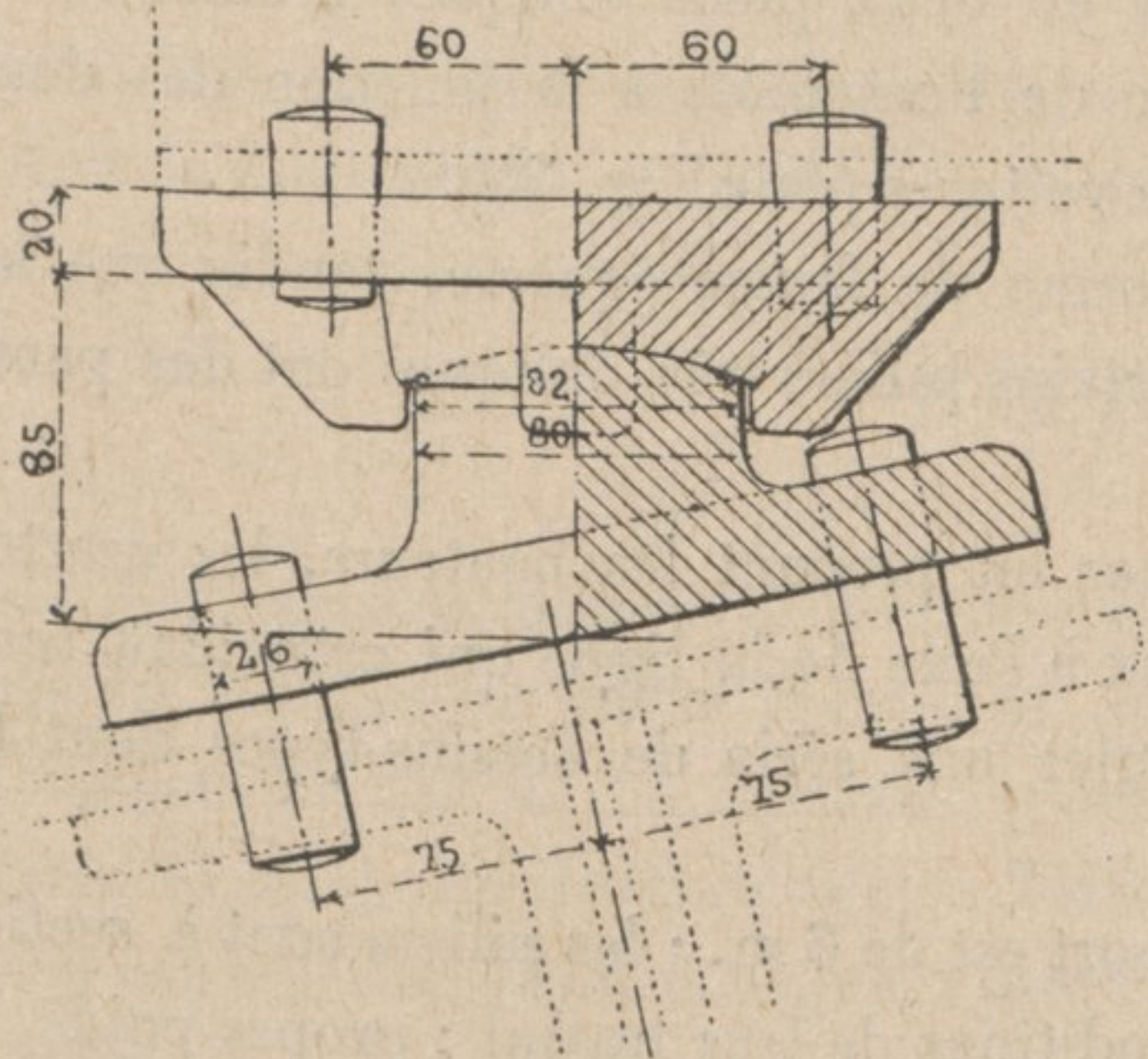
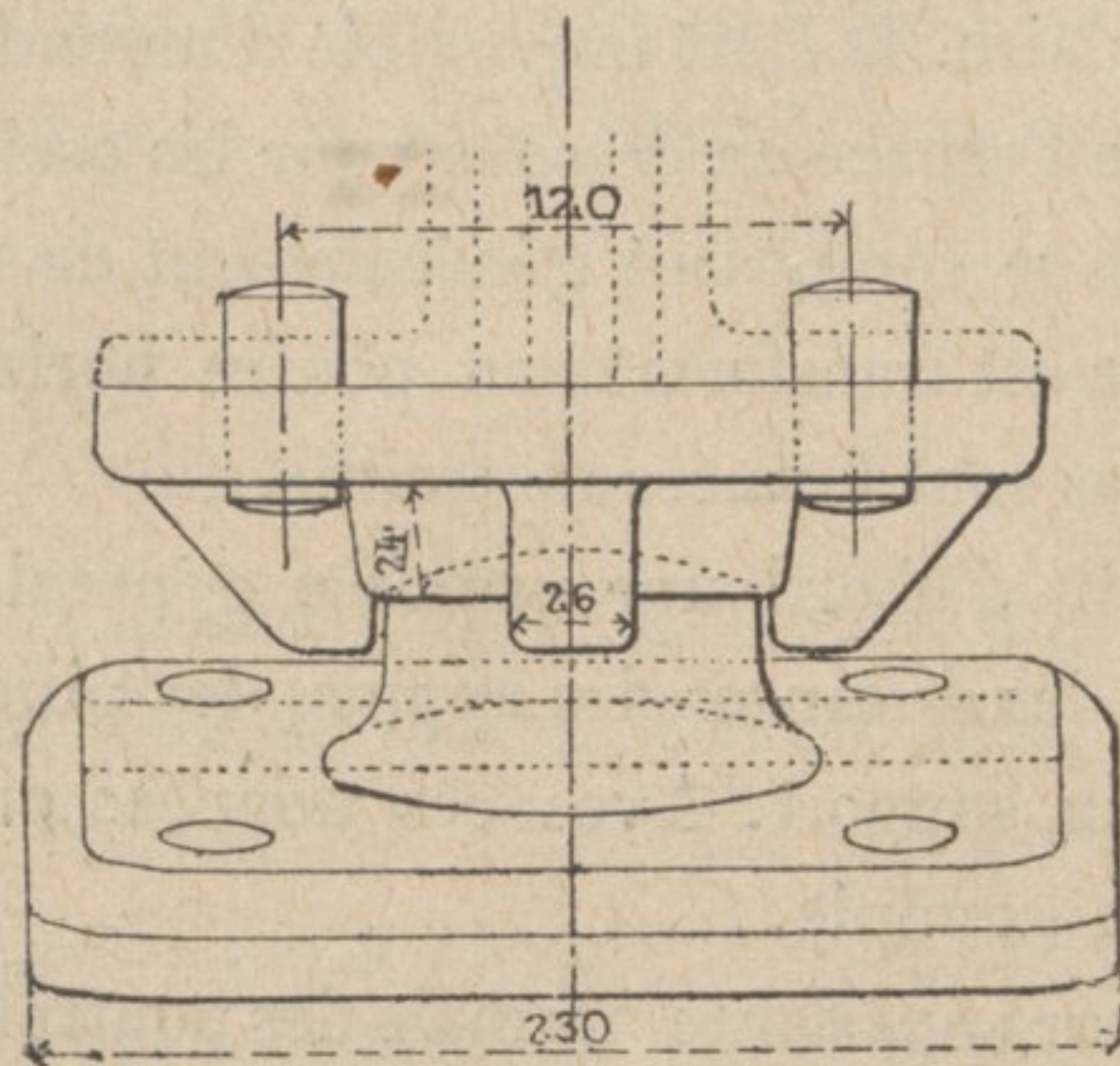


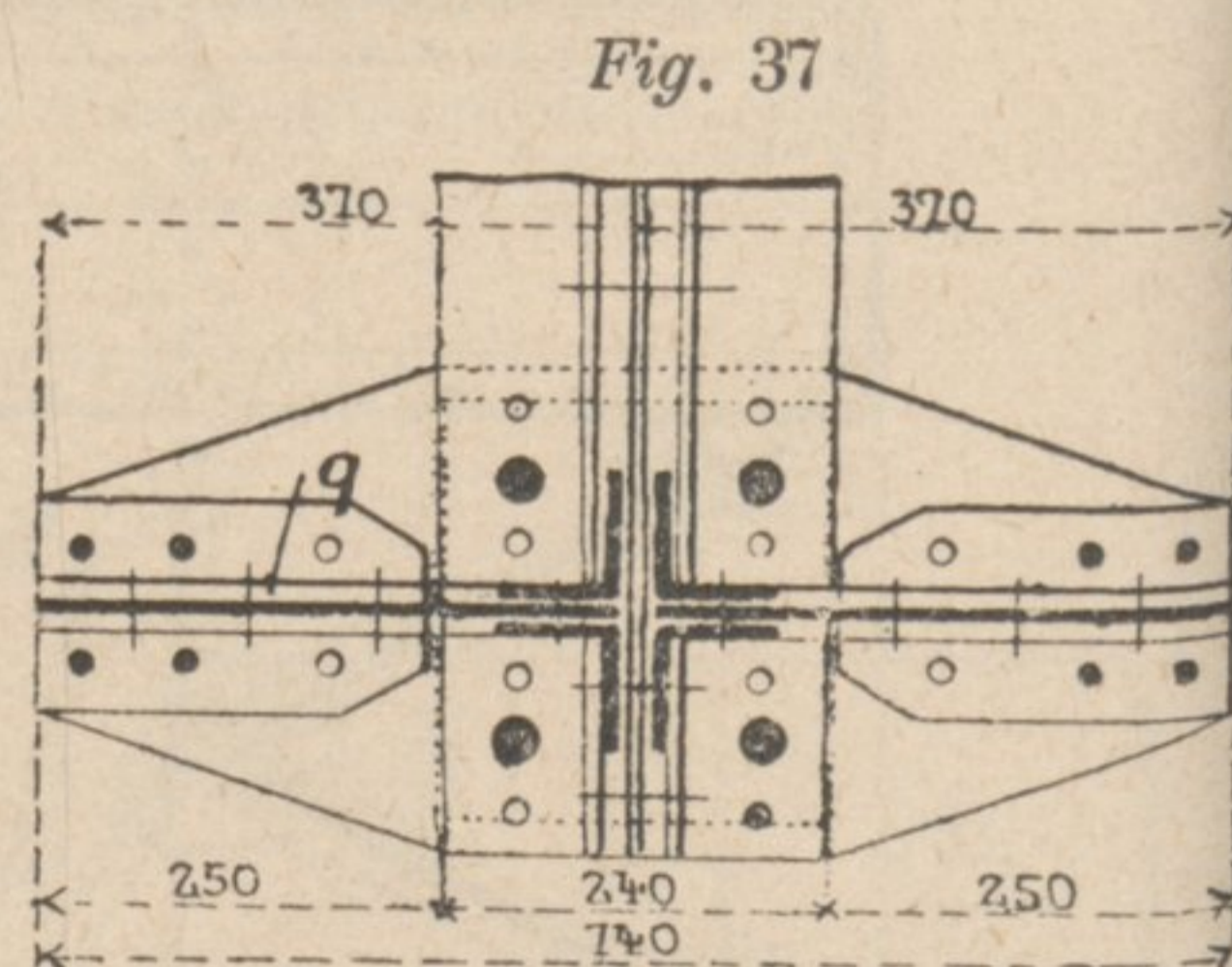
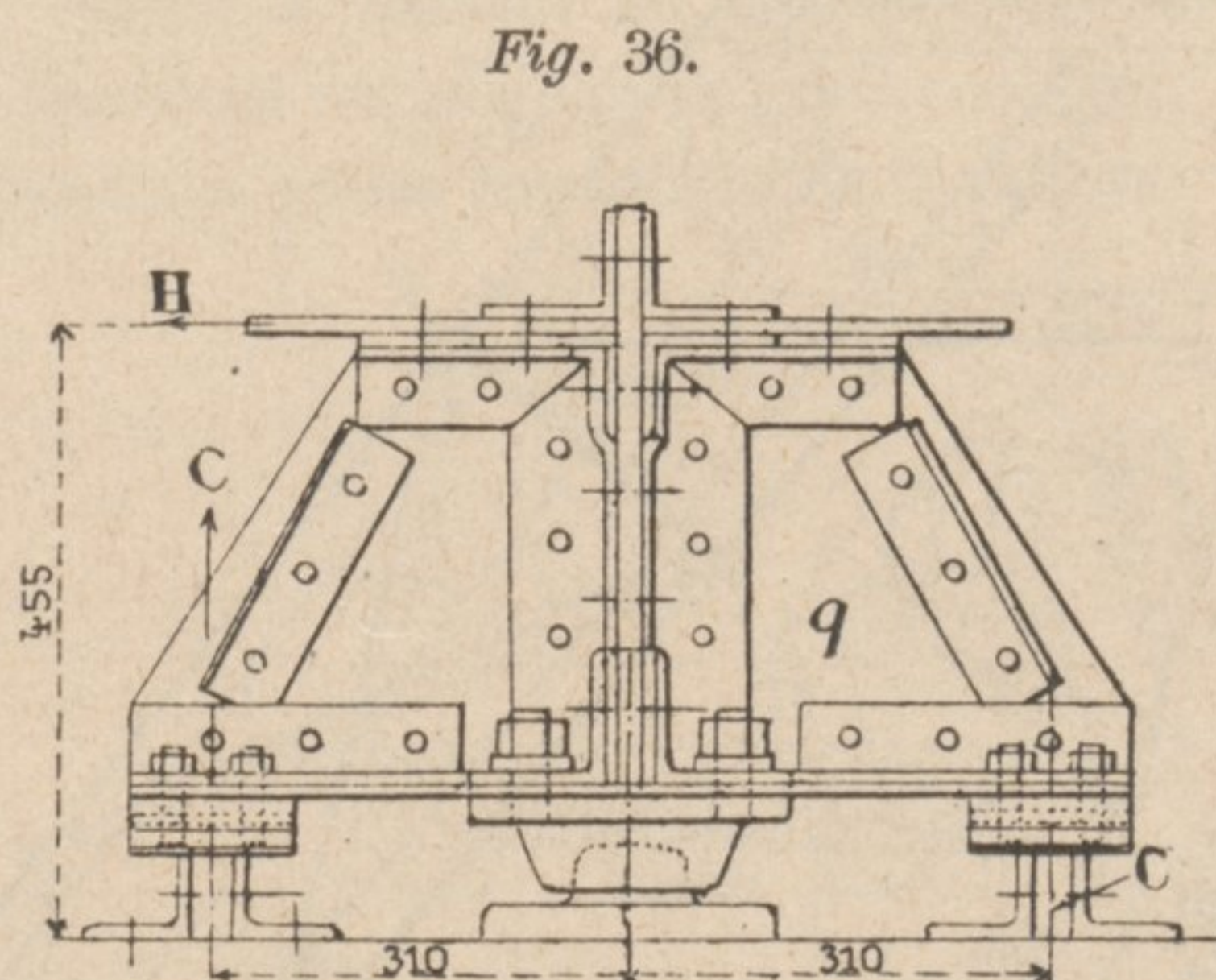
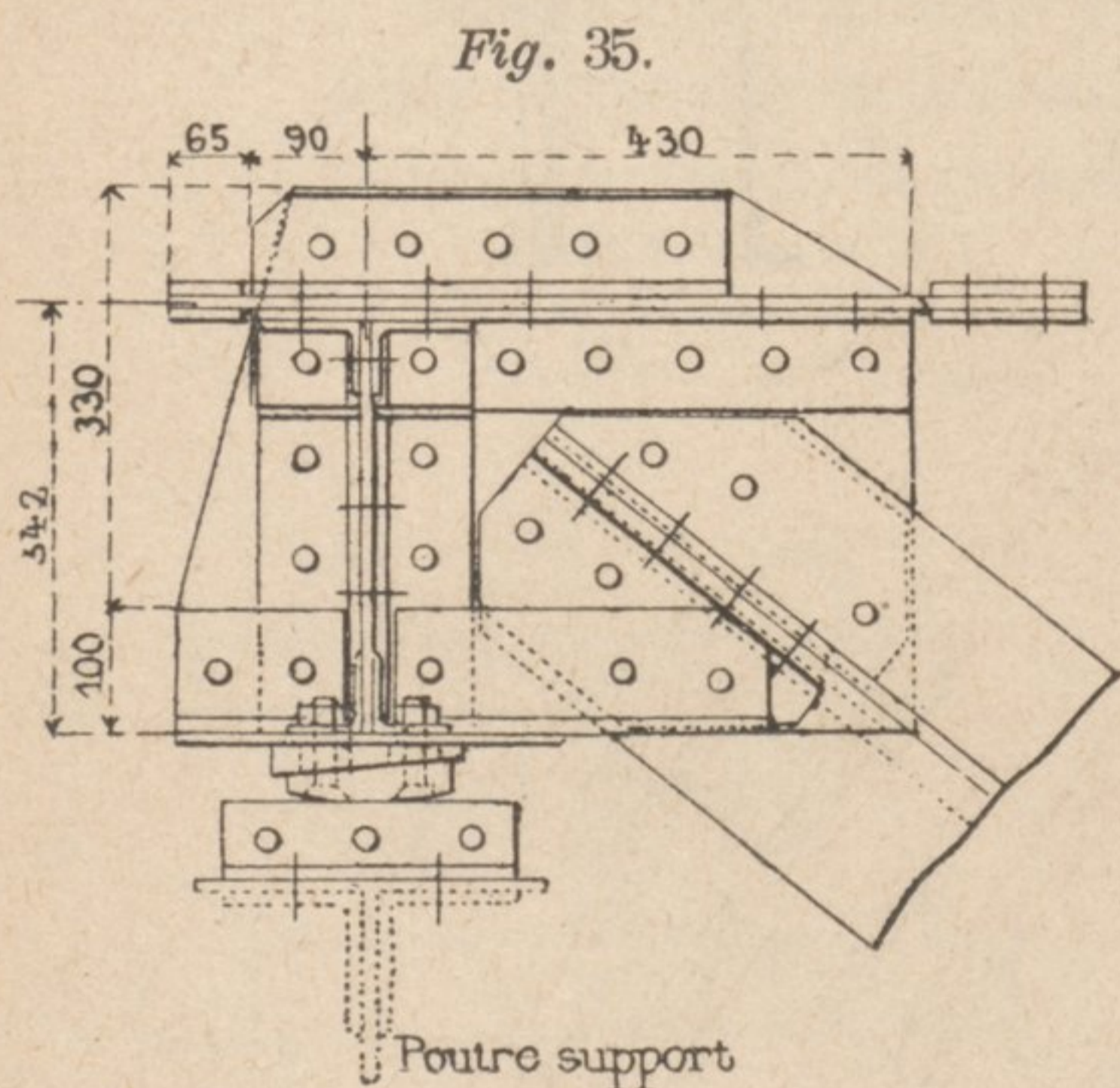
Fig. 34.



Pour les supports ancrés la fixation diffère quelque peu à cause de l'obliquité des parois du support (Fig. 33 et 34). Les parties à fixer des poutres et des supports sont réunies par l'intermédiaire de rotules conformes.

Mais, afin de permettre la transmission des forces horizontales sur la poutre horizontale supérieure qui se trouve à 455 m/m au-dessus de l'arête supérieure du support, on a adopté à l'extrémité des secteurs du tablier de petites barres diagonales (comme on le voit aux Fig. 35 à 37) qui sont supportées par les coussinets latéraux C.

Ils sont éloignés du coussinet principal A de 310 m/m et peuvent au moyen de coins être rapprochés exactement.



Lorsque la charge d'exploitation agit à gauche, il se produit une force horizontale H au coussinet, de droite à gauche, qui agit en haut et charge le coussinet de $C = \frac{455}{310} H$ qui vient en déduction de l'effort sur le coussinet principal A.

La pression verticale se transmet directement au seul coussinet A.

Les Piliers. — Pour la construction des piliers, il était impossible, par suite des conditions locales de se contenter d'un aussi petit nombre de modèles que pour les poutres. Pour toute la voie, il faut à peu près 550 piliers en fer, parmi lesquels un petit nombre seulement peut être construit sur le même modèle.

Les différences de hauteur entre les pieds des piliers et la base du tablier sont en effet très variables suivant les différences d'altitude de la voie. En outre, l'écartement des bases de ces piliers devait subir les variations de la largeur de la voie suivie. On a donc choisi pour les supports au-dessus de la Wupper la forme rectiligne.

Les supports mobiles se composent tout simplement de deux pieds obliques munis d'une poutrelle perpendiculaire. Il était impossible d'arrondir la forme de l'ensemble à la jonction des deux, afin de laisser libre l'espace en dessous pour les oscillations des voitures (voir Fig. 32).

Les pieds se composent généralement de 4 fers en forme de fausse équerre, tandis que la poutrelle transversale est transformée en poutre horizontale. Certains piliers très obliques ont des parois pleines, ailleurs elles sont formées de treillis.

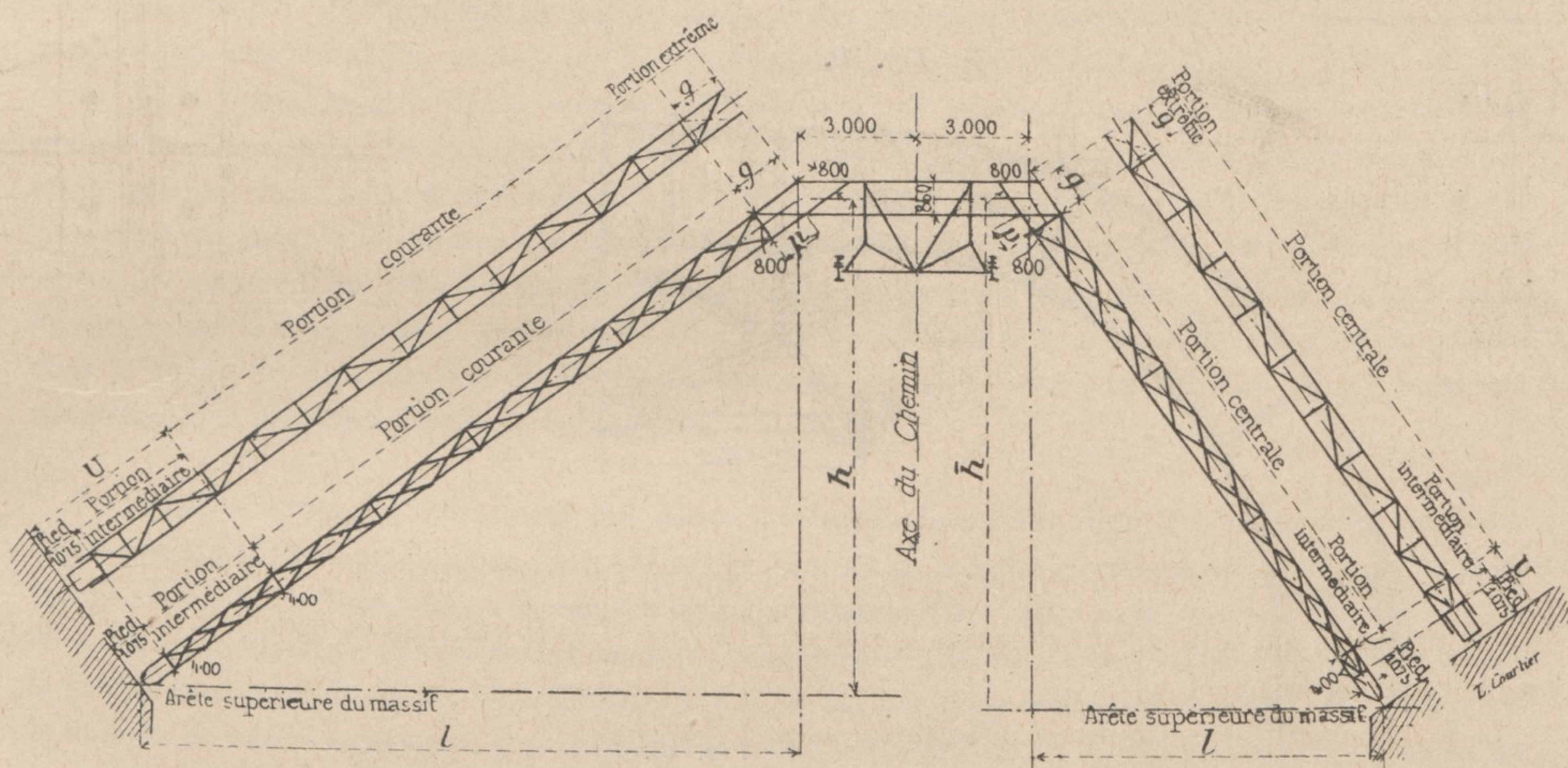
On établit d'abord une esquisse générale des formes en prenant les hauteurs, les écartements des supports et les distances des appuis, des piliers verticaux à l'axe de la ligne qui coïncidait toujours avec le milieu du support. Avec ces données on put exécuter une série de dessins-types dont la Fig. 38 présente un exemple.

La largeur supérieure normale des poutrelles de support est de 6 m. ; les piliers sont à section décroissante vers le bas et sont calculés pour les différentes conditions de leur travail : propre poids, circulation des voitures à droite, circulation à gauche, pleine circulation et vent.

En ce qui concerne la longueur des pièces de tablier s'appuyant ensemble sur le même support, on a examiné tous les cas possibles dans lesquels chaque écartement des supports depuis 21 à 33 mètres, peut

venir en contact avec un autre écartement quelconque. Pour la position des points de contact des différentes forces extérieures à la traversée du support, la forme du cadre (Fig. 20) était essentielle ; elle varie suivant la courbure de la ligne, et pour les différentes sortes d'excentricités de l'appui A du cadre final. L'excentricité c'est-à-dire la distance de l'appui A de la poutre de l'axe de la ligne (milieu de la poutrelle transversale) varie de 575 m/m à gauche jusqu'à 575 m/m à droite suivant la grandeur et le sens de la courbure de l'axe. Les effets résultant de la variation de la température sont négligés.

Fig. 38.



Les efforts furent ainsi déterminés par la méthode des lignes d'influence de la poussée horizontale et on calcula ensuite les profils transversaux des supports et les dimensions des pièces des différentes parties des pieds des supports.

Après le calcul d'une série de poussées horizontales, on a pu établir une formule permettant d'avancer plus vite. C'est la suivante :

$$H = P \frac{0,8384 a b}{(a + b) h}$$

pour un poids P à une distance horizontale a, d'un point situé à une distance b de l'autre point de pression ; h = la hauteur des supports. On reconnaît la similitude de cette formule avec celle de l'arc parabolique qui est comme on sait

$$H = P \frac{0,75 a b}{(a + b) h}$$

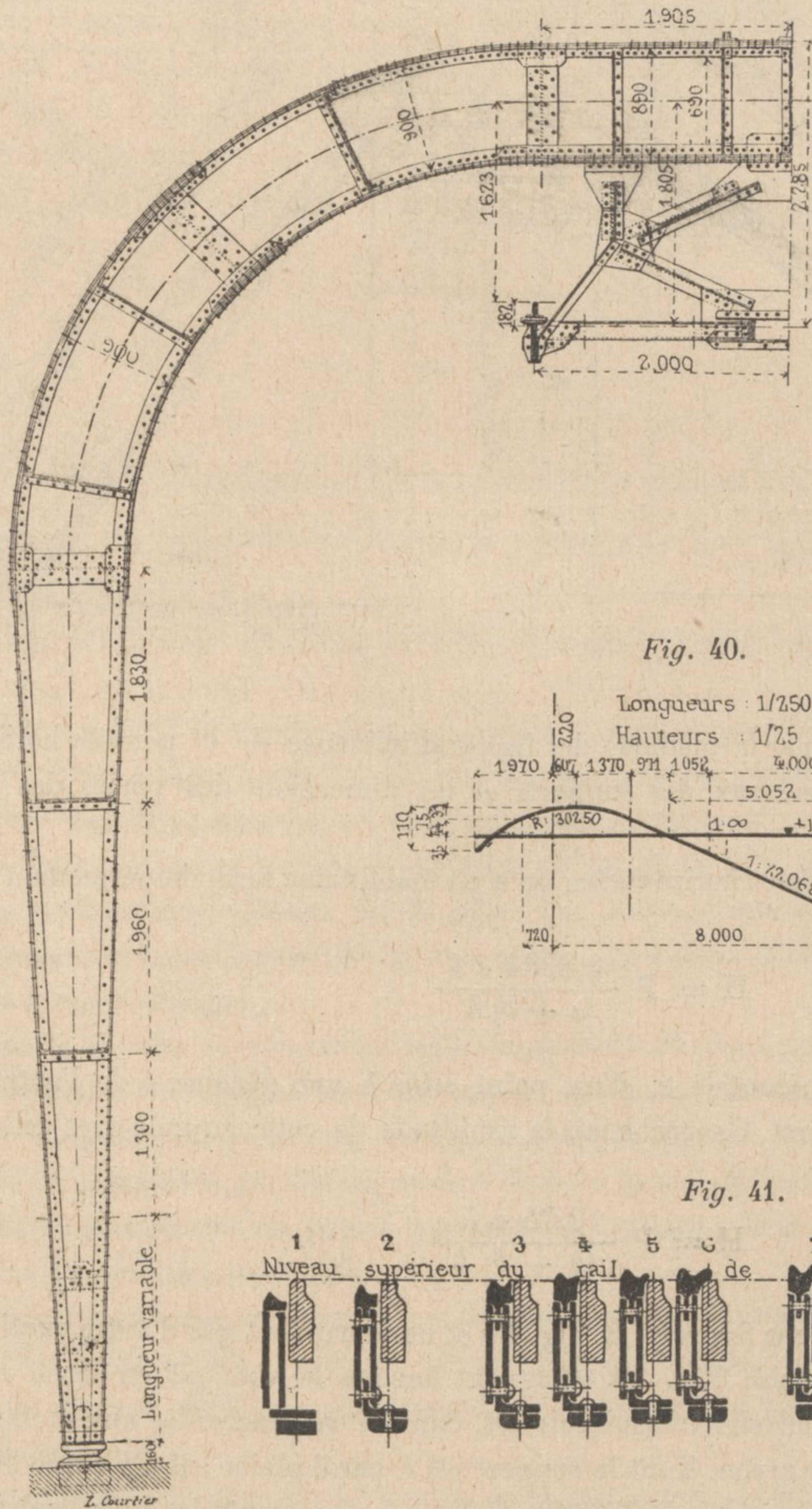
Les détails des supports mobiles sont figurés à la Fig. 35 et ne demandent pas d'autre explication.

Les supports mobiles en forme d'arc Fig. 39 atteignent lorsque la voie est en ligne droite une largeur de support de 11^m,4. La poutrelle transversale est, dans ce cas, raccordée aux montants droits par des quarts de cercle de 3^m45 de rayon. Tout le support est à paroi pleine ; il n'y a que les hauteurs des montants qui varient. Elles atteignent jusqu'à 6^m86. Comme les montants les plus hauts ont servis de patrons pour tous, ces montants sont d'autant plus larges en bas qu'ils ont moins de hauteur.

Les aiguilles. — Un des points les plus difficiles et les plus importants lors de la construction de la voie aérienne, était la construction des aiguilles. De leur bonne disposition, de leur fonctionnement

régulier dépend tout. Il fallait d'abord arriver à ce que les rails des lignes principales, qui à leur extrémité sont reliés entre eux par des demi-cercles, sur toute l'étendue de Rittershausen à Vohwinkel ne forment qu'un ensemble ininterrompu. D'un autre côté les rails secondaires avec leurs aiguilles et les constructions accessoires ainsi que l'installation du mouvement ne devaient pas entrer dans le gabarit des voitures suspendues. La distance minimum entre le rail principal et le rail secondaire est de 1^m,200 en chiffres ronds. Afin de ne pas faire la languette démesurément longue dans les liaisons on devait choisir un arc de torsion à rayon aussi petit que possible. On lui a donné 8 mètres ce qui était possible grâce à la construction particulière des voitures.

Fig. 39.



La Fig. 40 représente la disposition d'une aiguille où le rail accessoire passe sous le rail principal.

Avec le rail unique de la voie, la roue de la voiture doit être munie des deux côtés de pièces protectrices. Donc la pièce protectrice opposée au rail accessoire doit passer au-dessus du rail principal qui est sans discontinuité. C'est ce qui nécessita un rehaussement de 75^{mm} (visible sur la Fig. 37) de l'arête

supérieure de la languette de l'aiguille par rapport à l'arête supérieure du rail principal ; cela suffit pour faire passer le rail à toutes les parties du système de suspension des voitures. Comme on verra plus loin lors de la description des voitures ainsi que dans la Figure 22, le cadre tournant de la roue empoigne le longeron et le rail avec si peu de champ libre que les roues ne sauraient pas sauter du rail et qu'un déraillement est complètement impossible. En outre, lors même de la rupture des diverses parties de la voie, la voiture ne pourrait pas, même en état de balancement, se détacher du rail. Comme l'entaille cycliforme de la pièce d'accrochement qui tourne autour de la poutrelle du rail n'a qu'un champ libre de 7^{mm}, l'échappement de la voiture suivant une ligne droite perpendiculaire est tout d'abord impossible. Mais pour que la voiture ne puisse pas s'échapper latéralement, une pièce de sûreté G parallèle au rail empoigne en face de l'accrochement et un peu plus bas, la pièce protectrice des roues. Lors de la montée de la voiture au-dessus du rail principal, ces pièces fixes interviennent également. Au moment du passage sur le rail secondaire la voiture est soulevée de façon que la pièce protectrice des roues soit conduite du côté du rail secondaire dans une rainure de la languette et est ainsi soulevée jusqu'à la hauteur voulue. La Figure de profil 41 montre cette rainure se soulevant peu à peu. Au numéro 6 (de cette Figure 41) commence l'écartement de la languette. Le passage de la pièce de sûreté dont il a été question se fait au N° 10 de la Figure. C'est là le sommet de la courbe de montée dont le rayon de courbure est de 30^m,25. D'après ce qui vient d'être dit et à l'aide des figures, on comprend tous les autres détails de la languette.

Les haltes. — Pour l'établissement des haltes on s'est conformé à la règle appliquée déjà, pour des raisons résultant de la construction, lors de l'établissement de la ligne électrique aérienne à Berlin et de la voie suspendue à New-York, à savoir que les rails traversent les haltes sans subir de changement. Il fallait donc construire à l'extérieur les quais de débarquement. Cette solution a l'inconvénient de rendre le service local du train un peu plus difficile. Les quais ont une largeur libre de 3 mètres, soit 3,5 entre la voiture et l'arête extérieure. La largeur des haltes est ainsi de 12 à 13 mètres. Certaines haltes plus fréquentées et celles situées dans les courbes ont une largeur plus grande. Sur une longueur de deux voitures, soit en chiffres ronds sur 25 mètres, les quais sont recouverts d'un toit.

Le plancher des quais, fort simple, est fait généralement en madriers de 45^{mm} d'épaisseur. Là seulement où, comme par exemple à la gare de Nohwinkel, les espaces inférieurs sont aménagés en bureaux d'administration, les plafonds sont d'une construction plus solide. Tout le long du quai, du côté des voitures se trouve une bordure large de 570^{mm} et formée de poutres en bois. Sur cette bordure, en pente, du côté de la voie, viennent patiner les ressorts qui se trouvent à la partie inférieure des voitures, afin d'empêcher le balancement de celles-ci à l'entrée et à la sortie des voyageurs. Les planchers des voitures se trouvent surélevés de 20 centimètres seulement au-dessus des quais de sorte qu'il est très commode d'entrer ou de sortir. Les quais du côté de la voie sont fermés avec des grillages présentant seulement des ouvertures de 1^m,40 en face desquelles, à l'arrêt du train, se trouvent les portes des voitures. Entre les deux quais qui se trouvent vis-à-vis on a tendu un filet en fil de fer afin d'éviter les chutes. Les haltes sont presque toutes couvertes en toits plats ordinaires avec arête en zinc, excepté la gare déjà mentionnée de Döppersberg qui, pour des raisons d'esthétique, a un toit en coupole avec ornements et dont les parois sont entièrement en verre. Les haltes sont couvertes et protégées, en bas seulement, par des garde-fous.

Toute la construction d'une halte se trouve adossée à la voie, entre deux supports, comme le montrent les Figures 42 à 45 se rapportant à la halte de Schillerstrasse. Dans ce cas, les principales poutres longitudinales L sont fixées à des porteurs transversaux de forme de trapèzes, qui maintiennent des panneaux et reposent d'un côté sur des bouts-dehors aux pieds du support courant 134. De l'autre côté les poutres longitudinales sont à parois pleines et fixées aux pieds du support mobile 133, et reliées de plus par une poutre transversale à leurs extrémités. C'est sur elles que reposent à des distances de 2 en 2 mètres les petites poutrelles longitudinales qui supportent le recouvrement de madriers.

Fig. 42

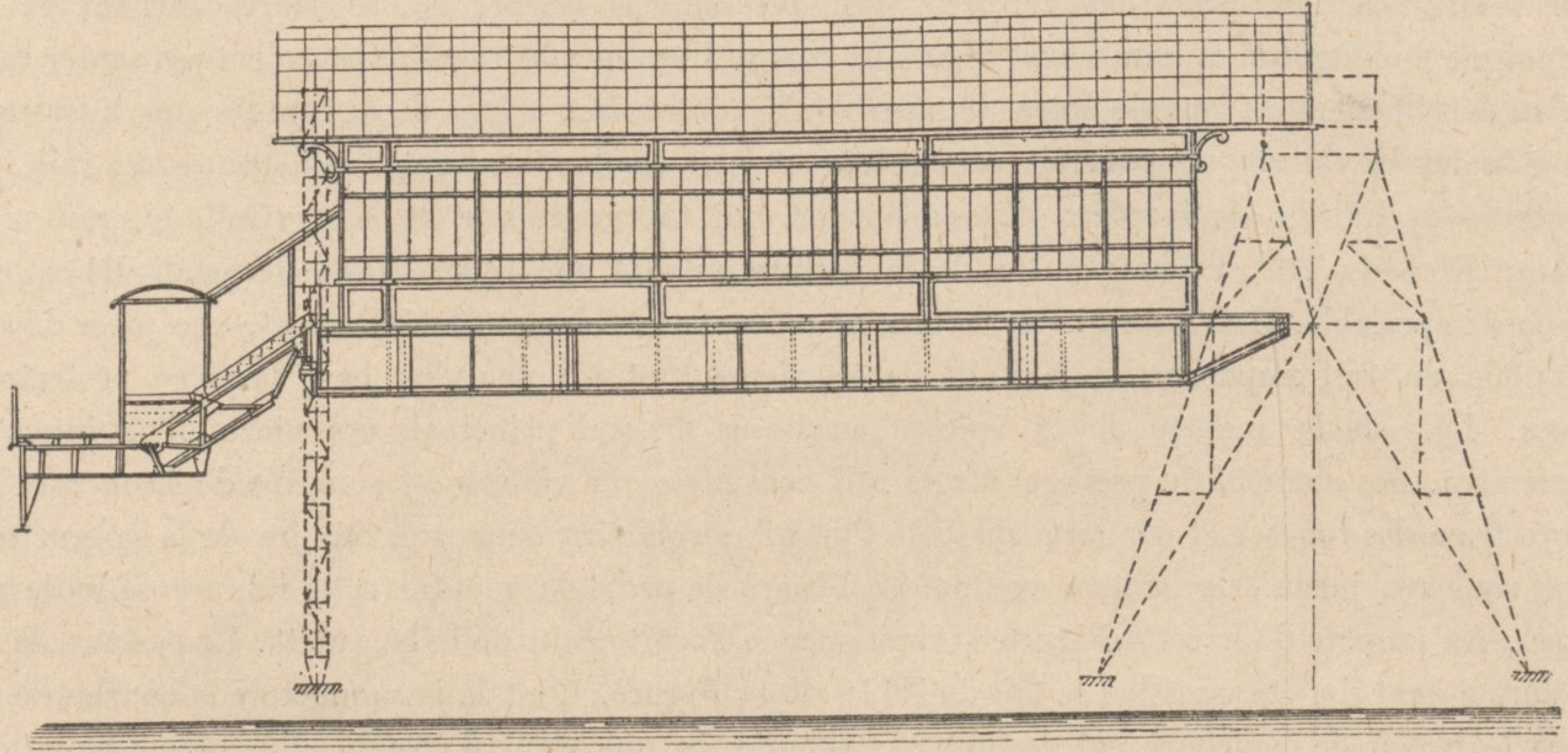


Fig. 43.

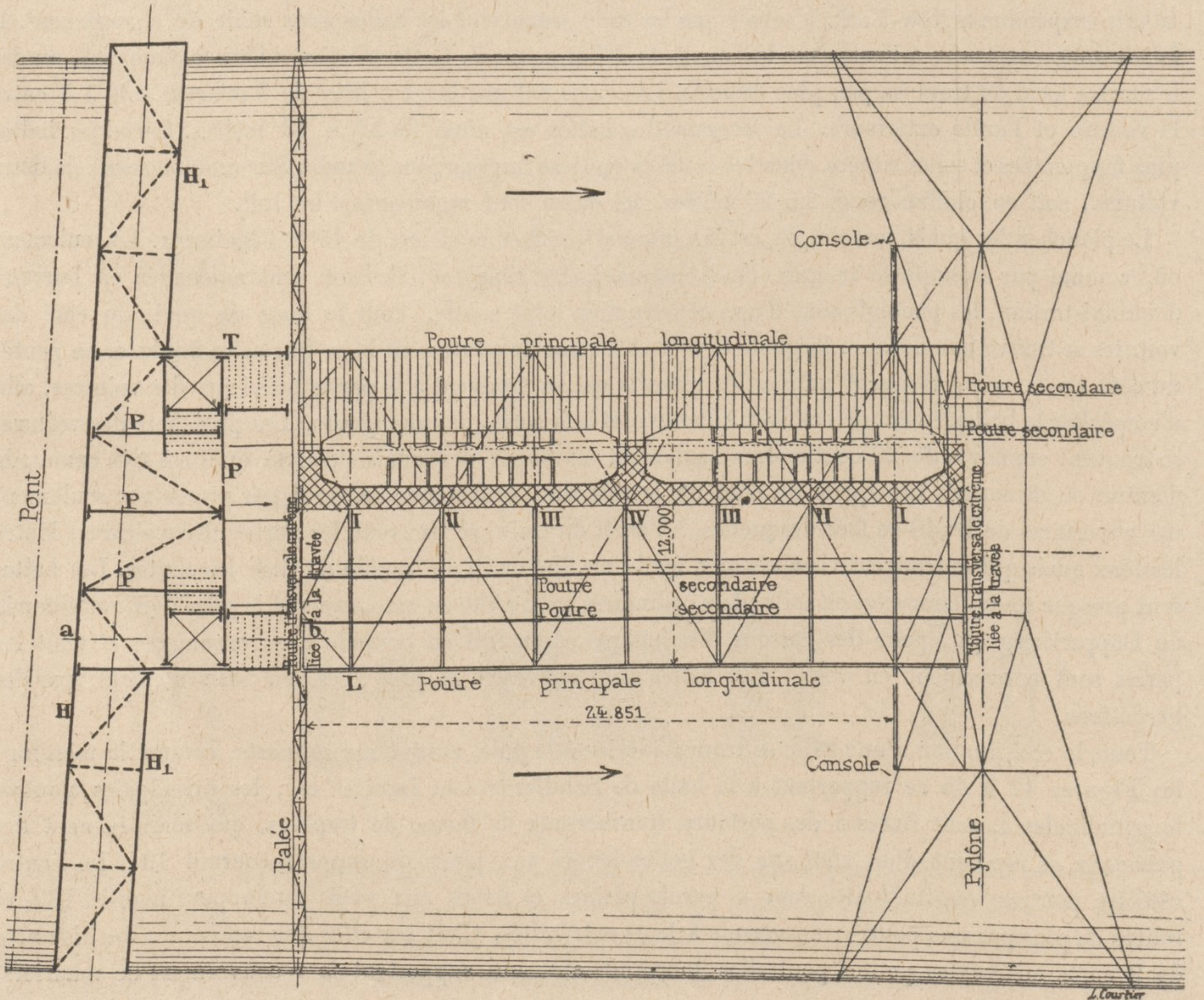


Fig. 45.

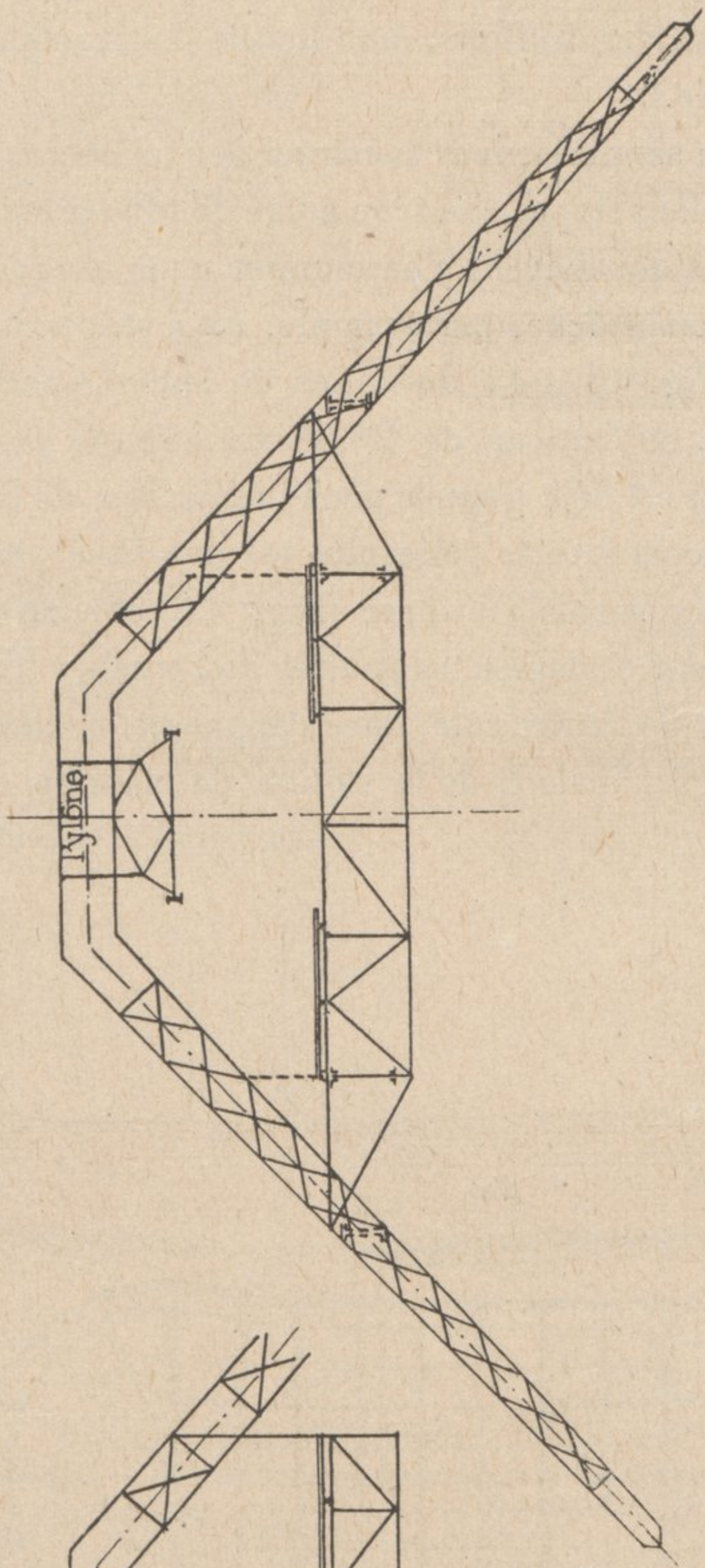


Fig. 44.

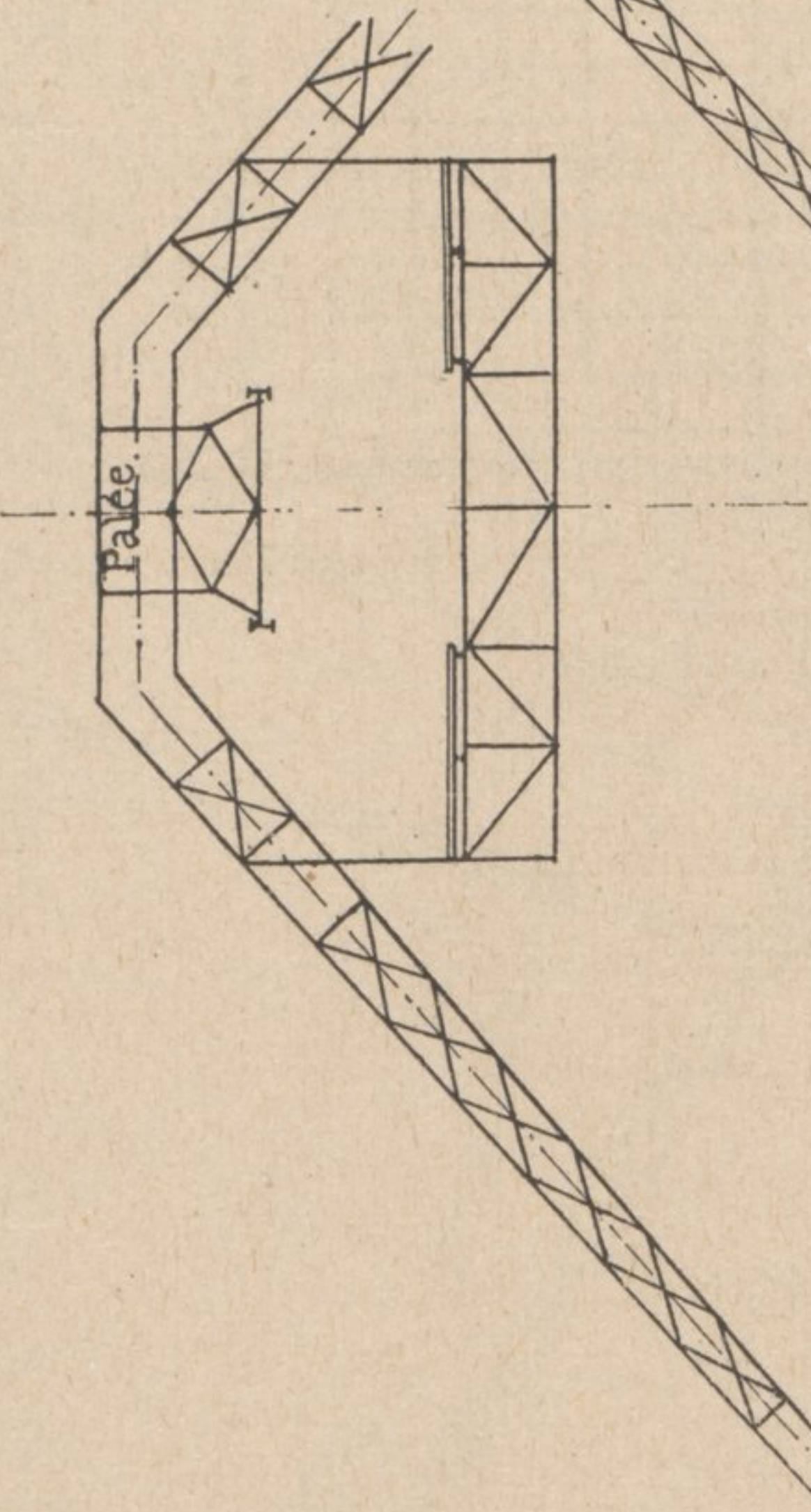


Fig. 47.

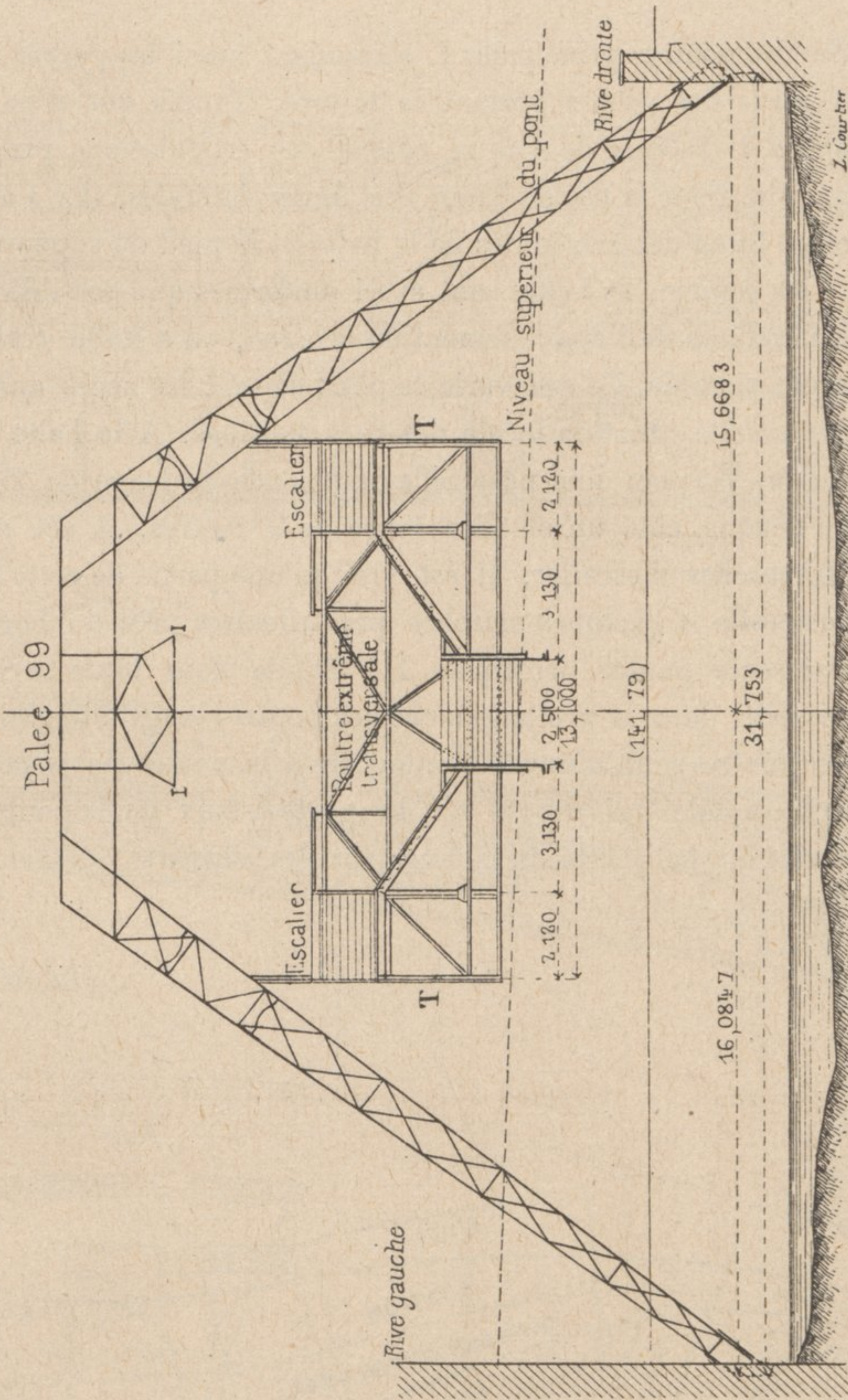
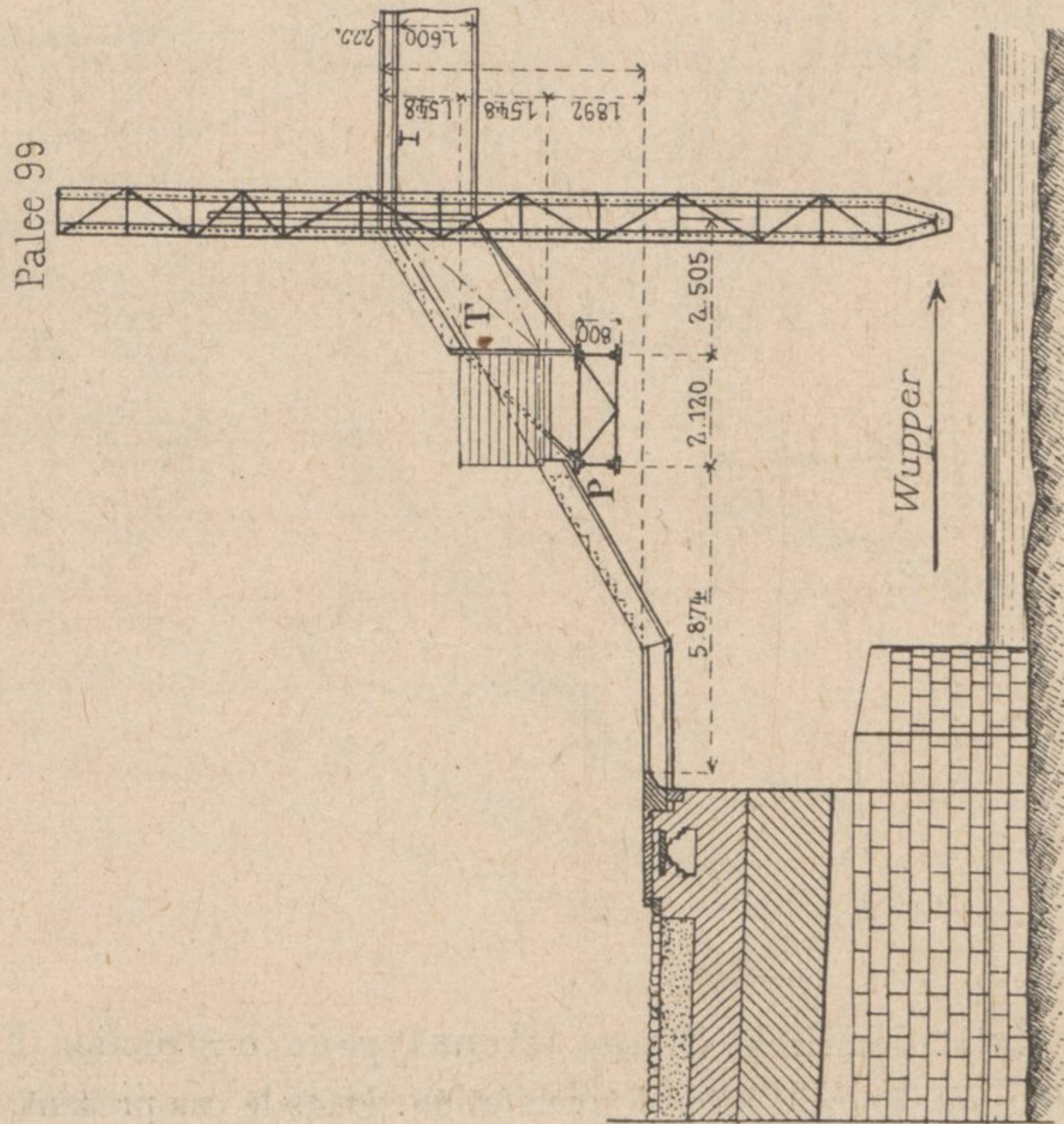
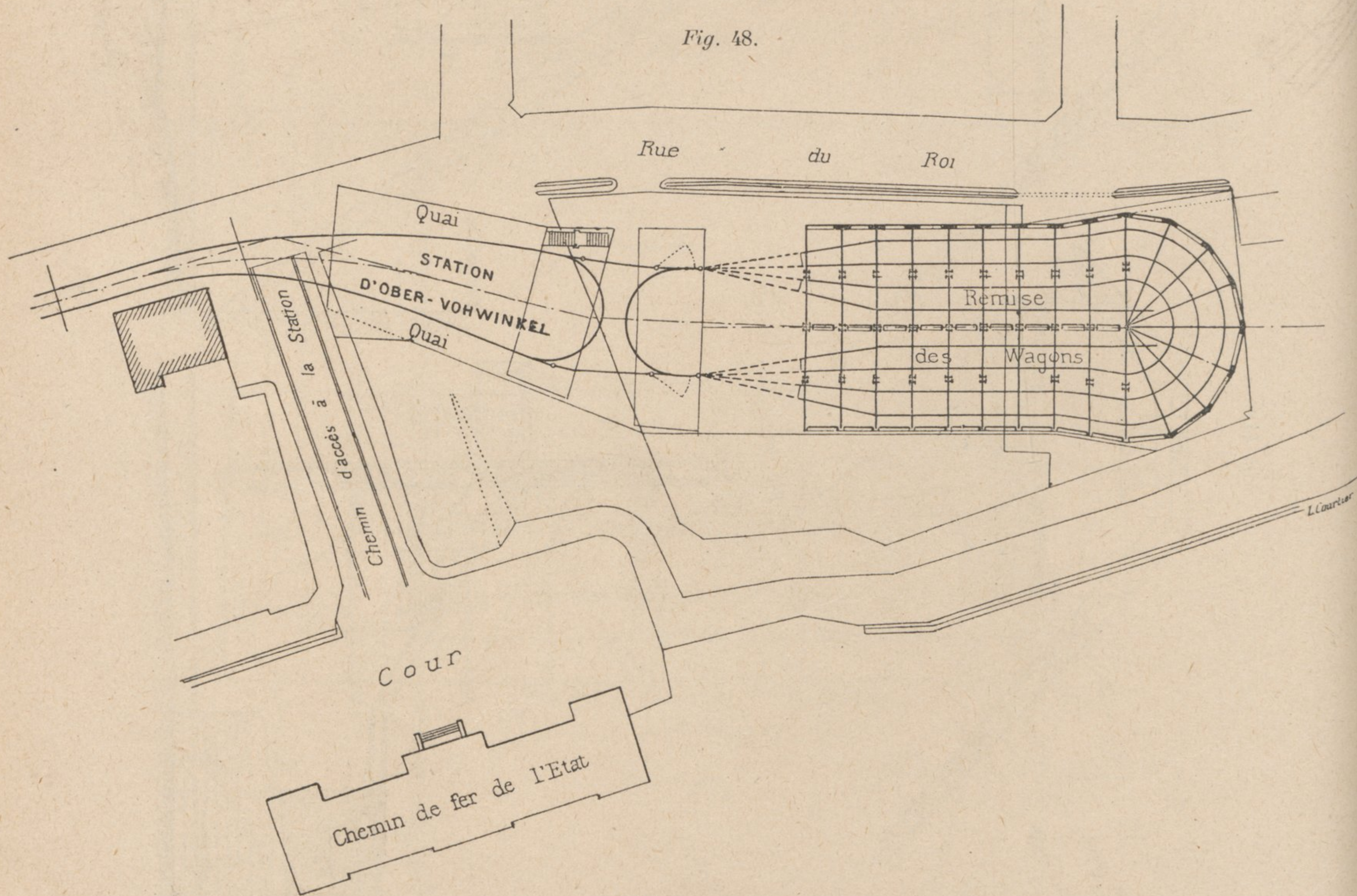


Fig. 46.



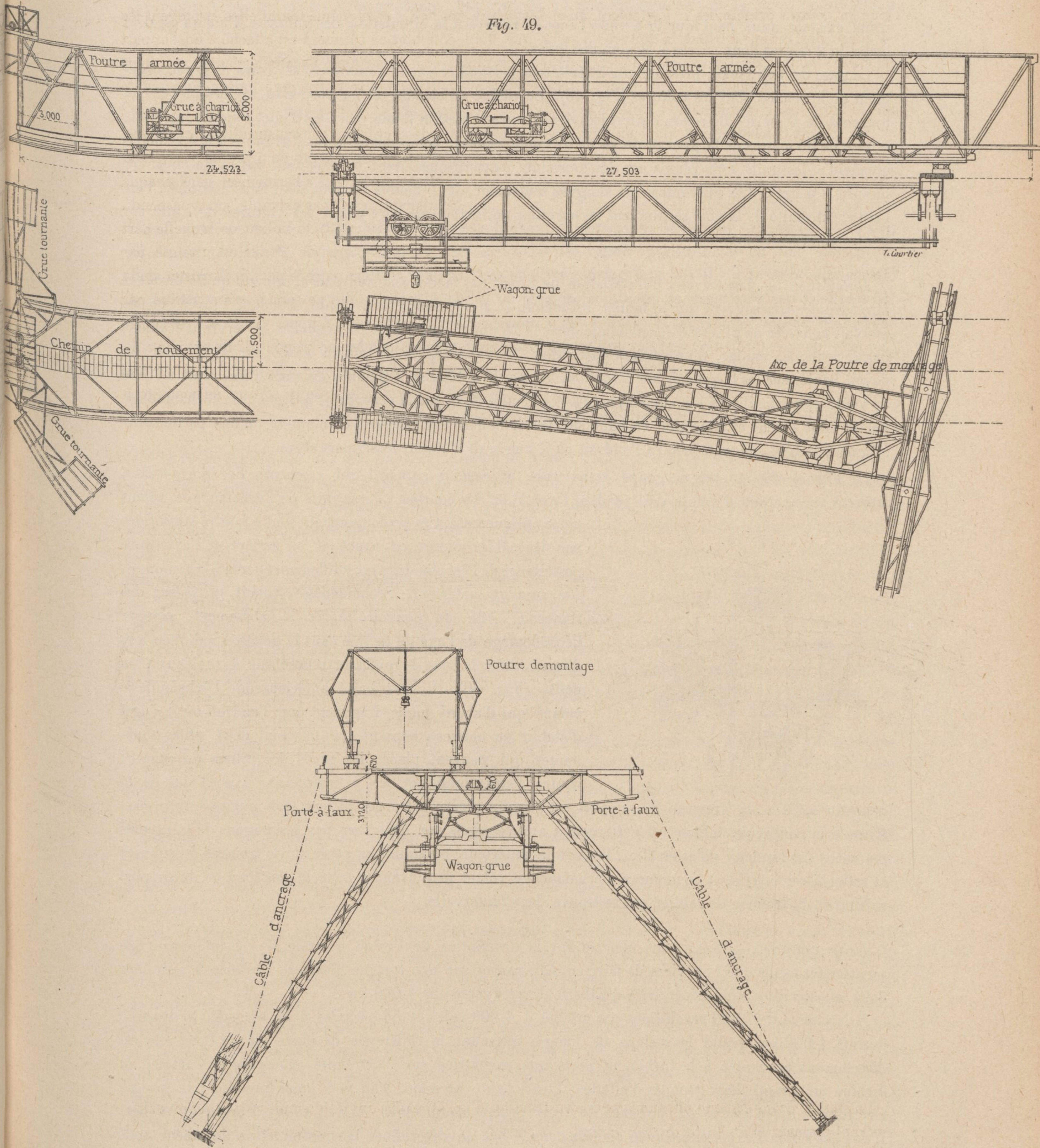
Sur les poutres principales L s'appuient aussi les parois des halles et en même temps elles protègent les 4 pieds des piliers portant la toiture. Tandis que d'un côté tout ce bâtiment est attaché à un support ancré, il balance de l'autre côté à des articulations plates qui constituent l'accrochement au support mobile. Pour la transmission des forces latérales, il y a à hauteur des trottoirs, une liaison horizontale entre l'une des extrémités de la halle et le pied du support mobile.

En somme, les halles sont aussi uniformes que possible afin de simplifier leur construction. Ici encore, comme lors de l'établissement du viaduc, on a établi certains plans types dont on a tiré le plus grand profit possible. Ce qui varie le plus, ce sont les accès aux haltes qui doivent s'harmoniser dans chaque cas avec la situation locale des rues voisines. A la halte Schillersbrücke, par exemple, on a suspendu sur la Wupper une passerelle indépendante large de 2^m,50 (Fig. 42 et 43) du milieu de laquelle part de chaque côté un escalier large de 2 mètres. A cet endroit, la hauteur de 2^m,58 est atteinte par 15 marches d'escalier. Il est vrai qu'une partie de cette hauteur est déjà gagnée par l'inclinaison de la passerelle et quelques marches préliminaires près du bord. L'accès à cette passerelle est constitué par une seule poutre principale H, établie dans toute sa longueur sur la Wupper (Fig. 43) et contre laquelle dans le prolongement des poutres longitudinales viennent s'adapter les poutres de l'escalier T. Ces poutres sont, d'un côté, rattachées à la poutre du passage H ; de l'autre côté, elles s'appuient sur une base mobile qui repose sur les porte-à-faux de la poutre longitudinale L de la station de manière à conserver la liberté de mouvement des supports mobiles.



La station Breite-Strasse offre un type de construction (Fig. 46 et 47) qui a été employé partout où existe un pont donnant accès à une station. Dans le cas présent, un escalier d'une largeur de 2,50 part du pont

Fig. 19.



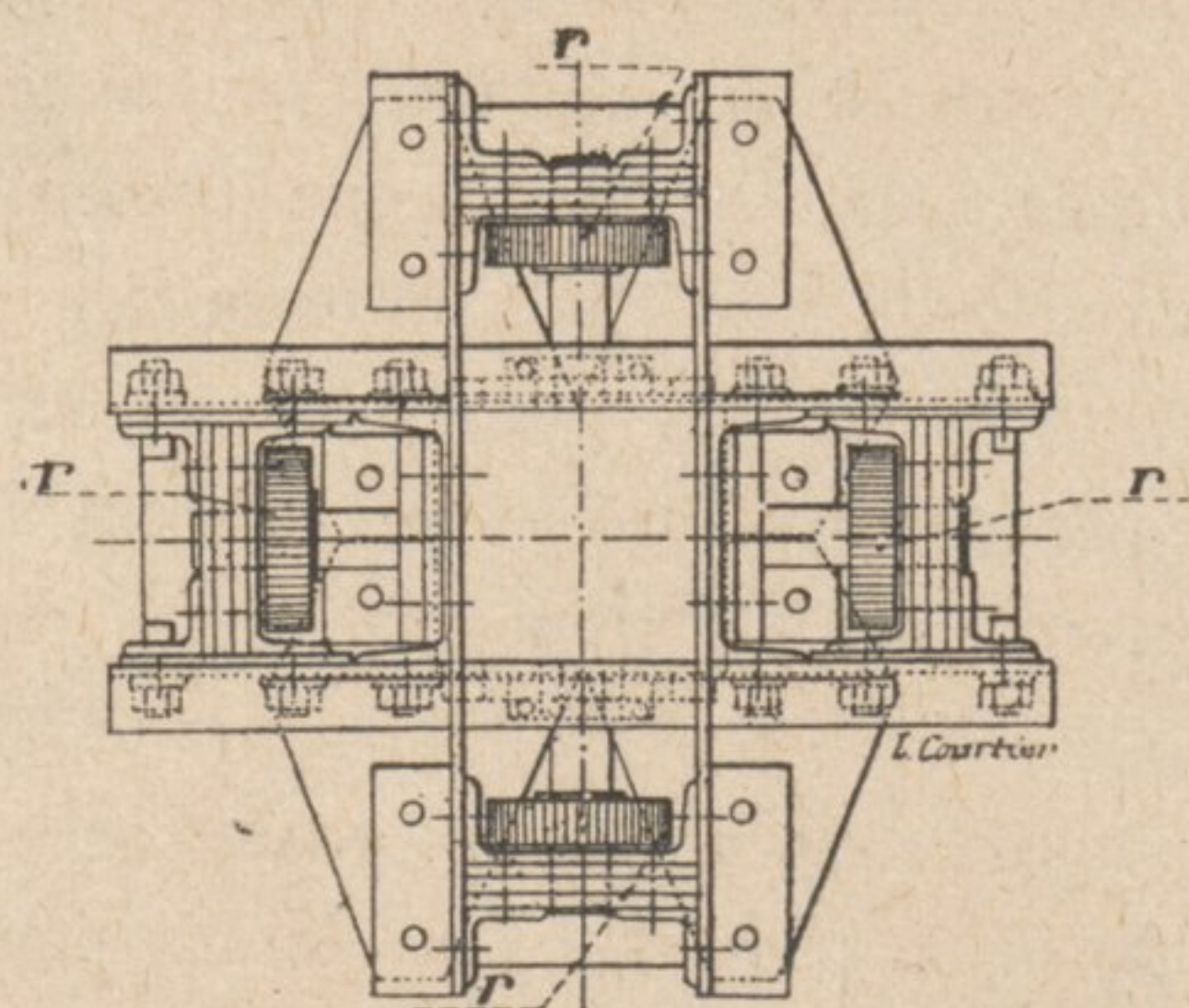
voûté existant aussi haut que le permet l'espace réservé à la circulation des voitures. Puis un escalier large de 2 mètres donne accès à chacun des quais.

La gare de Vohwinkel présente un intérêt tout particulier par le nombre de ses voies et le raccordement de la remise pour les voitures (Fig. 48). Le viaduc du chemin de fer suspendu se termine en un tournant de 9 mètres de rayon devant lequel se trouve la station finale. En face d'elle, s'ajoute la grande remise de 35 mètres de largeur et de 74 mètres de longueur, comprenant 8 rails groupés 4 à 4 symétriquement : les rails sont réunis par des tournants concentriques dont le plus petit rayon de courbure mesure 8 mètres. Les rails intérieurs éloignés seulement de 6 mètres ne pouvaient être raccordés. Vers l'autre extrémité de la voie se trouvent les aiguilles permettant de faire passer les voitures de l'une sur l'autre voie.

Installation. — Les travaux d'installation ne furent pas faciles à entreprendre, attendu qu'ils devaient être exécutés très souvent sur le tablier lui-même, et que le temps était limité. Pendant l'hiver, on ne pouvait enfoncer de piliers d'échafaudage dans la Wupper ; on dut en conséquence se servir d'échafaudages roulants, en fer, d'un système particulier. Sur une espèce de tribune élevée sur la Wupper, on devait boulonner les 3 poutres sur lesquelles repose le tablier de l'étendue de voie libre ; puis à l'aide de voitures particulières les amener jusqu'à l'extrémité de la partie achevée de la ligne. Là l'échafaudage volant était arrêté et consolidé en haut sur les deux derniers supports de manière qu'une partie suffisamment longue s'étendit jusqu'à l'endroit où il s'agissait d'établir le support suivant.

La Figure 49 montre en coupe transversale, le dernier support qui a encore des porte-à-faux latéraux, permettant d'y appuyer, pendant l'exécution des courbes, l'extrémité de l'échafaudage volant

Fig. 50.



placé obliquement. Ces prolongements sont en outre consolidés par des câbles ancrés en avant et en arrière et l'extrémité postérieure de l'échafaudage est solidement ancrée à la prolonge. Au support antérieur, l'échafaudage volant glisse sur des rouleaux. Afin de pouvoir, après le glissement, pousser l'échafaudage de l'axe de la voie dans la position indiquée lors d'une courbe, la base de rouleaux repose sur 4 rouleaux plus petits (Fig. 50). A l'extrémité antérieure de l'échafaudage volant qui d'abord plane librement sur l'endroit où il s'agit d'établir un nouveau support, se trouvent deux grues tournantes qui peuvent placer les pieds des piliers du support contre leurs appuis et les y maintenir. Avec l'aide de la

grue du milieu, la traverse du support est ensuite placée entre les piliers et boulonnée avec eux. Ensuite la poutre du tablier est entièrement avancée dans son ouverture par les wagons de transports marchant sur les deux voies établies ; l'extrémité antérieure est soulevée, posée sur la traverse du support et rattachée avec elle. A ce moment l'échafaudage volant peut avancer pour la construction du support suivant et du tronçon de tablier qui se trouve dans l'intervalle.

Usine centrale. — Sans nous étendre sur la description de l'usine centrale, il est intéressant de signaler les essais que l'on vient de faire en Allemagne sur une turbine Pearsons destinée à entraîner dans la nouvelle station génératrice d'Elberfeld une dynamo de 1.000 kw.

A la vitesse de 1.500 révolutions par minute à 4.000 volts et 58 périodes à la seconde, la dynamo fournit 1.000 kw quand le cosinus de l'angle mesurant la différence de phase est de 0,8 ; elle est directement accouplée à la turbine et porte une excitatrice sur l'extrémité extérieure de l'arbre ; la turbine comprend deux groupes d'ailettes, l'un à haute pression, l'autre à basse pression ; le groupe électrogène a été essayé en présence de trois experts compétents : MM. Lindlay, Shroter et Weber. L'une des séries d'expériences a été réalisée dans le but de déterminer la consommation de vapeur sous

différentes charges ; quant à la pression, elle était de 11 atmosphères, soit de 11 kg par cm². On a obtenu les résultats suivants :

Charge de la dynamo en kw.	Kg. de vapeur par kw-heure.
1190,1 (surcharge).....	8,62
994,8 (pleine charge).....	9,10
745,3 (3/4 de charge).....	10,01
498,7 (6/2 charge).....	12,50
246,5 (1/4 de charge),.....	15,30

Quand elle marchait à vide, les bobines de la dynamo étant excitées, la turbine consommait 1.839 kg de vapeur par heure ; sans excitation, la consommation de vapeur est de 1.180 kg par heure. A la pression de 11 kg, la turbine pouvait facilement fournir une puissance de 1.740 à 1.870 chx. Le contrat spécifiant que sous des modifications graduelles de charge, la vitesse ne devait pas varier de plus de 4 %, on a constaté l'importance de cette variation qui a été à peine de 3,6 %. Avec des modifications dans la charge, les résultats ont été de même des plus satisfaisants.

II. — LE MATÉRIEL ROULANT.

Les voitures (Fig. 51, 52, 53, 54) sont suspendues à deux montures tournantes à 8 mètres de distance qui glissent chacune, par deux roues, sur le rail. Les voitures peuvent donc franchir facilement des courbes à petits rayons puisque, suspendues à un rail rigide, elles peuvent céder facilement aux forces latérales, surtout à la force centrifuge dans les courbes et reprennent, quand ces forces cessent d'agir par suite des lois de la pesanteur, leur position primitive. D'un autre côté, le rail est embrassé par les parties solides de la voiture avec si peu de champ libre que tout déraillement est impossible, comme l'expérience l'a d'ailleurs prouvé. Il est donc possible, même dans les courbes à faible rayon, que présente nécessairement une ligne urbaine, d'obtenir une vitesse très supérieure à celle d'une voie sur terre ferme.

L'énergie électrique est conduite aux voitures par un conducteur *e* fixé sur des isolateurs aux traverses de la poutre horizontale supérieure. Le courant est pris par des frotteurs *g* qui assurent le courant moteurs des voitures. La tension du courant, que fournit l'usine électrique aux barres des moteurs, est à peu près de 580 ± 30 volts.

Chaque monture B porte un moteur A (Fig. 53) qui donne le mouvement aux deux roues correspondantes à l'appareil contrôleur de la voiture de tête. Quand, plusieurs voitures sont réunies pour former un train elles sont reliées entre elles par des barres d'accrochage C munies de câbles électriques de communication (Fig. 51 et 52) et tous les moteurs sont réglés en cas de besoin par l'appareil contrôleur à la disposition des conducteurs dans la 1^{re} voiture. Les voitures remorquées sont munies d'un tableau indicateur plus simple et d'un récepteur, de courant ordinairement replié, mais qu'on peut relever pour les rendre automotrices ; notamment pour les manœuvres dans la remise.

La partie supérieure des montures roulantes se compose de tôles rivées avec des cornières. Entre ces tôles, se trouve une ouverture en acier pour recevoir l'arbre du moteur. Les boîtes en acier des roues directrices sont protégées par des enveloppes en bronze et sont munies en haut et en bas de petits canaux pour le graissage. Aux roues directrices sont solidement fixées des roues motrices E qui, par la roue d'engrenage D de l'arbre du moteur, sont mises ensemble en mouvement. Tout ce système est enveloppé de façon à être à l'abri de l'eau et de la poussière. Au-dessous de l'ouverture qui reçoit l'arbre du moteur, les tôles sont munies de deux fortes traverses en tôle très solide avec bourrelets d'une seule pièce. Ces traverses se prolongent en forme de crochets jusqu'en bas et sont maintenues ensemble par des fers d'écharpe, le tout rivé comme en une seule masse. Le crampon empoigne la poutrelle du rail sous forme d'un arc, de sorte que les jointures F permettent à la voiture de balancer à 15° de chaque côté.

Fig. 51.

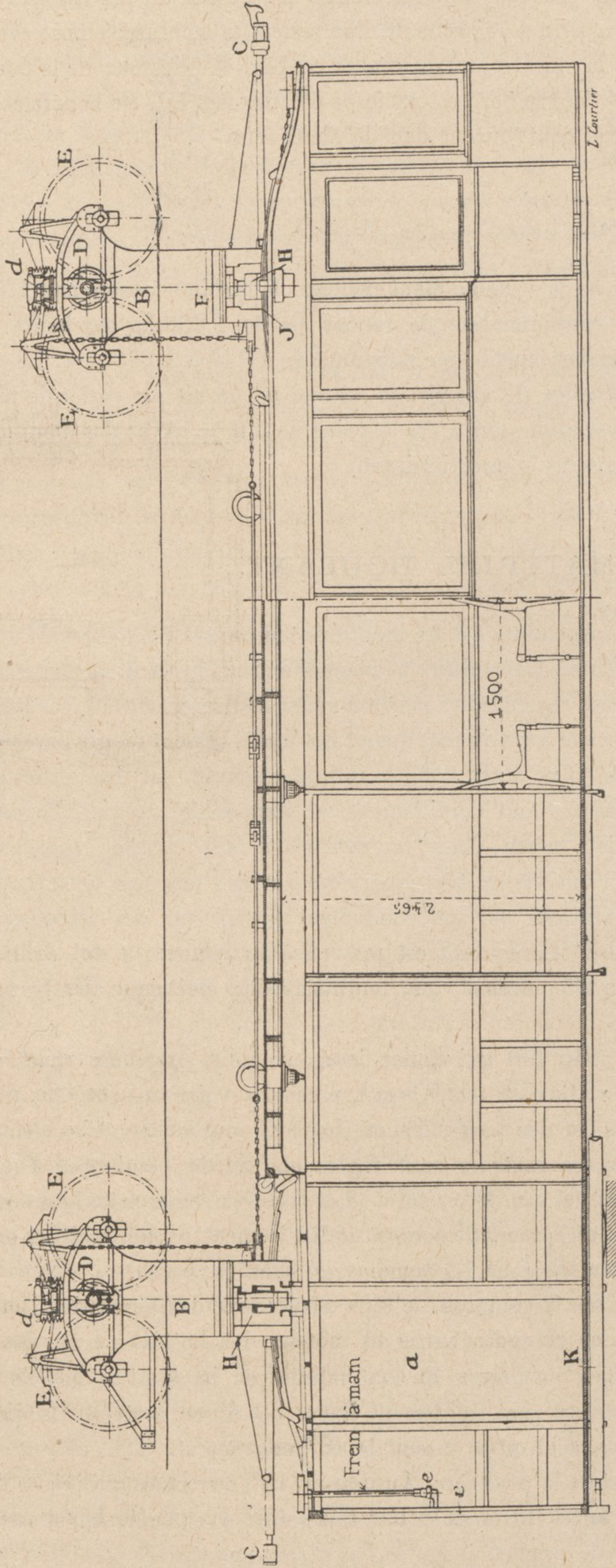
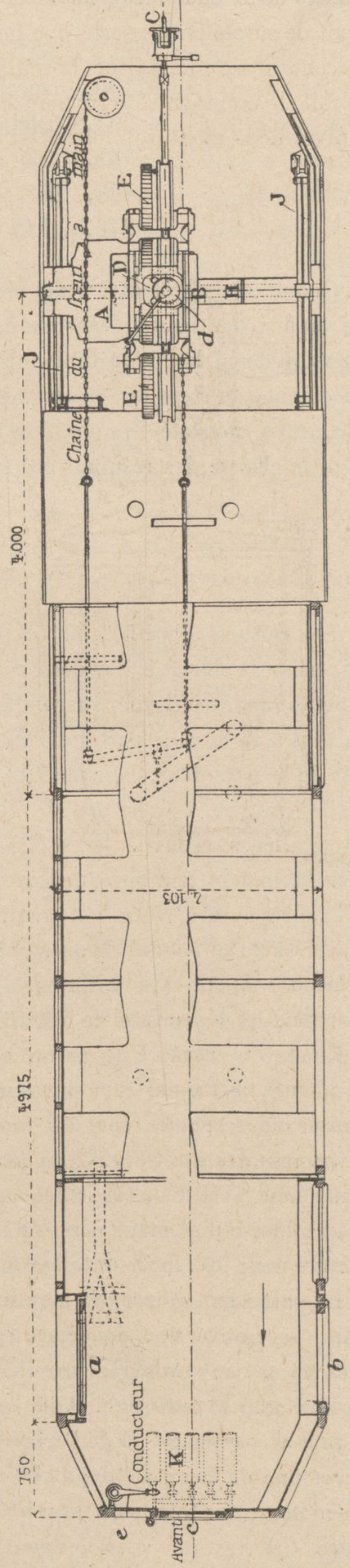


Fig. 52.



Entre le crampon et la poutrelle du rail, il y a $7^m/m$ de champ libre, de sorte que les roues directrices munies de 2 bourrelets, hauts de $30^m/m$ ne peuvent pas se détacher. Au-dessus du rail est un remplissage de sûreté G, de sorte que lors de la rupture d'une roue ou d'un essieu, la monture se pose avec une descente insignifiante sur le rail sans que la voiture puisse tomber en bas. Au-dessous de la poutrelle de rail, le crampon se trouve un bourrelet *b* dont le bord est renforcé par des fers \perp . Ce bourrelet porte le pivot de la monture, lequel est *t* en acier et peut tourner dans les deux sens.

Fig. 53.

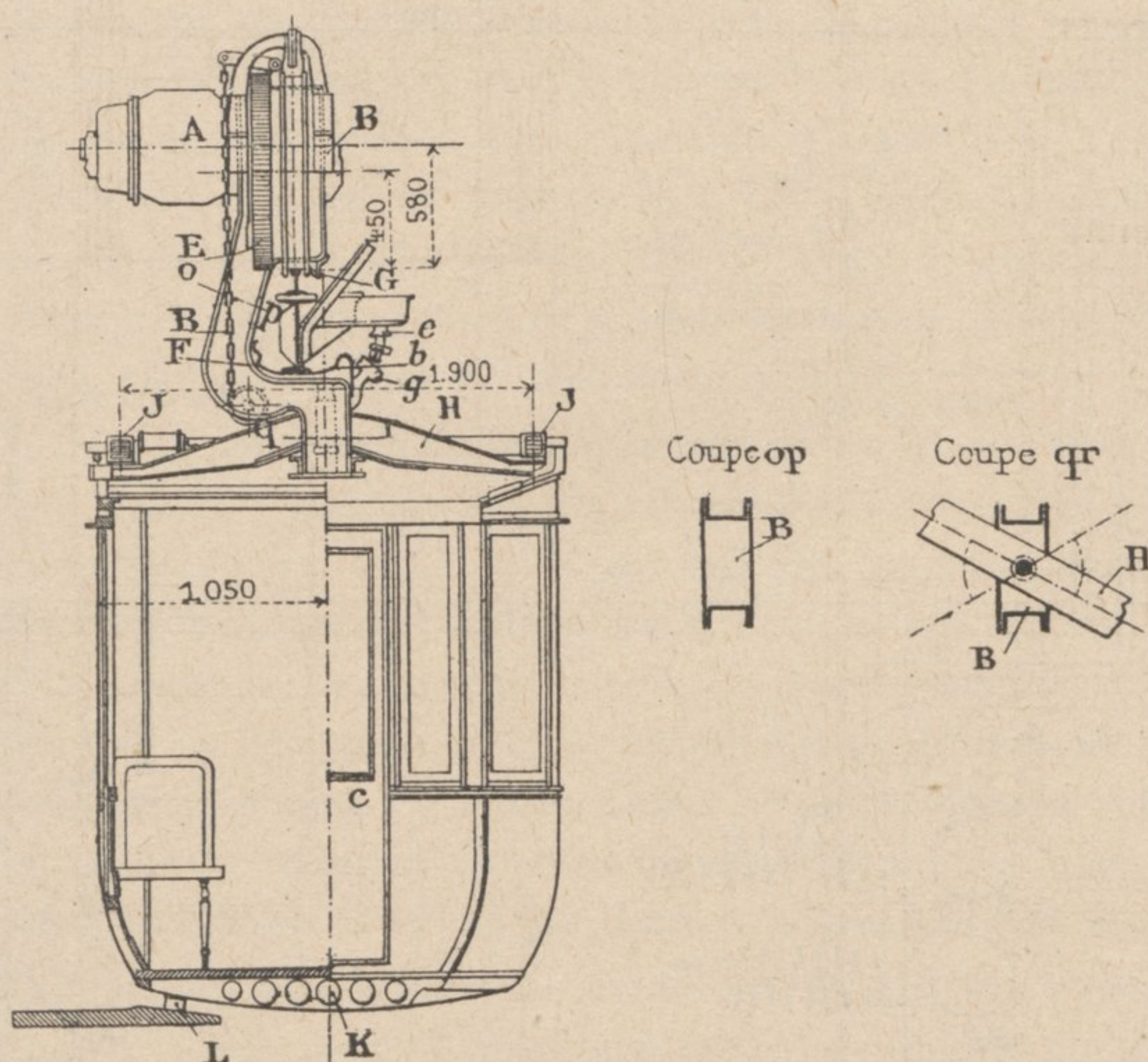
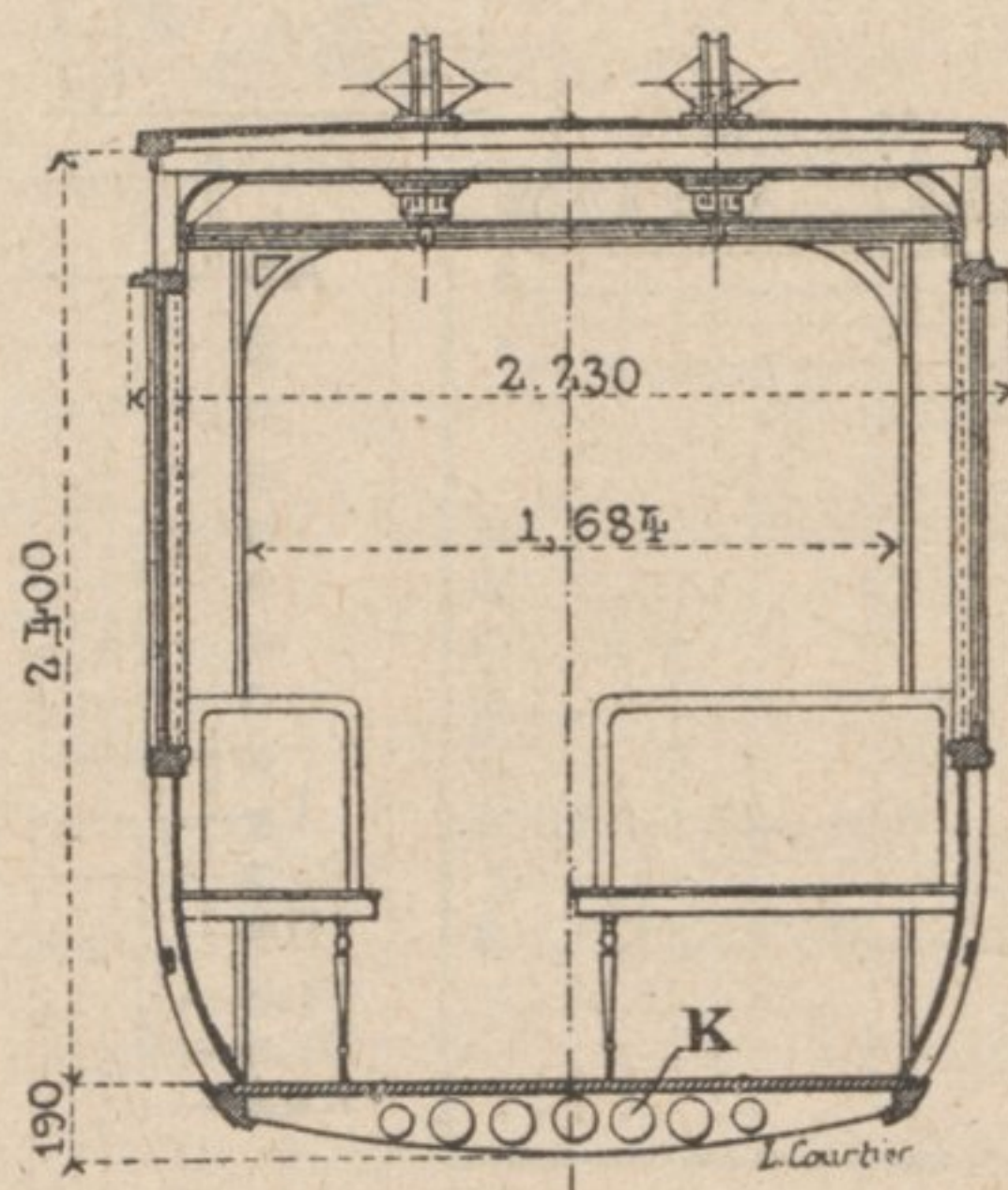


Fig. 54.



A l'arbre horizontal H sont attachées les caisses des voitures et les extrémités de cet arbre sont enfoncées dans les entailles des principales poutrelles longitudinales des voitures. Entre l'arbre horizontal et les poutrelles principales sont intercalés des ressorts I.

En cas de rupture de ces ressorts, les poutrelles principales posent sur les extrémités débordantes de l'arbre horizontal sans pouvoir échapper. Le fond de la voiture est porté par une série de poutres transversales réunies par des montants à la maîtresse-poutrelle. Ces montants sont renforcés entre les ouvertures des fenêtres et des portes ; ailleurs ce sont des simples fers en \perp . Sous les fenêtres des côtés, la voiture est revêtue de tôle rivée aux montants et formant ainsi déjà une espèce de porteur longitudinal. Pour éviter toute déformation de la voiture, on a encore intercalé deux supports très solides. Les poutres transversales du fond ont des ouvertures rondes par lesquelles on enfonce les tuyaux K du frein ; sous le plancher se trouve un ressort L qui, aux arrêts, comme on a déjà vu frotte légèrement le fond des quais pour éviter le balancement pendant l'entrée ou la sortie des voyageurs. Le toit de la voiture est dans sa partie centrale, entre les montures, plus élevé qu'aux extrémités ; il est en bois recouvert de toile goudronnée, tandis que les parties basses sont en tôle ; à l'intérieur, le toit porte un revêtement en bois et porte dans la partie centrale quelques ouvertures pour la ventilation.

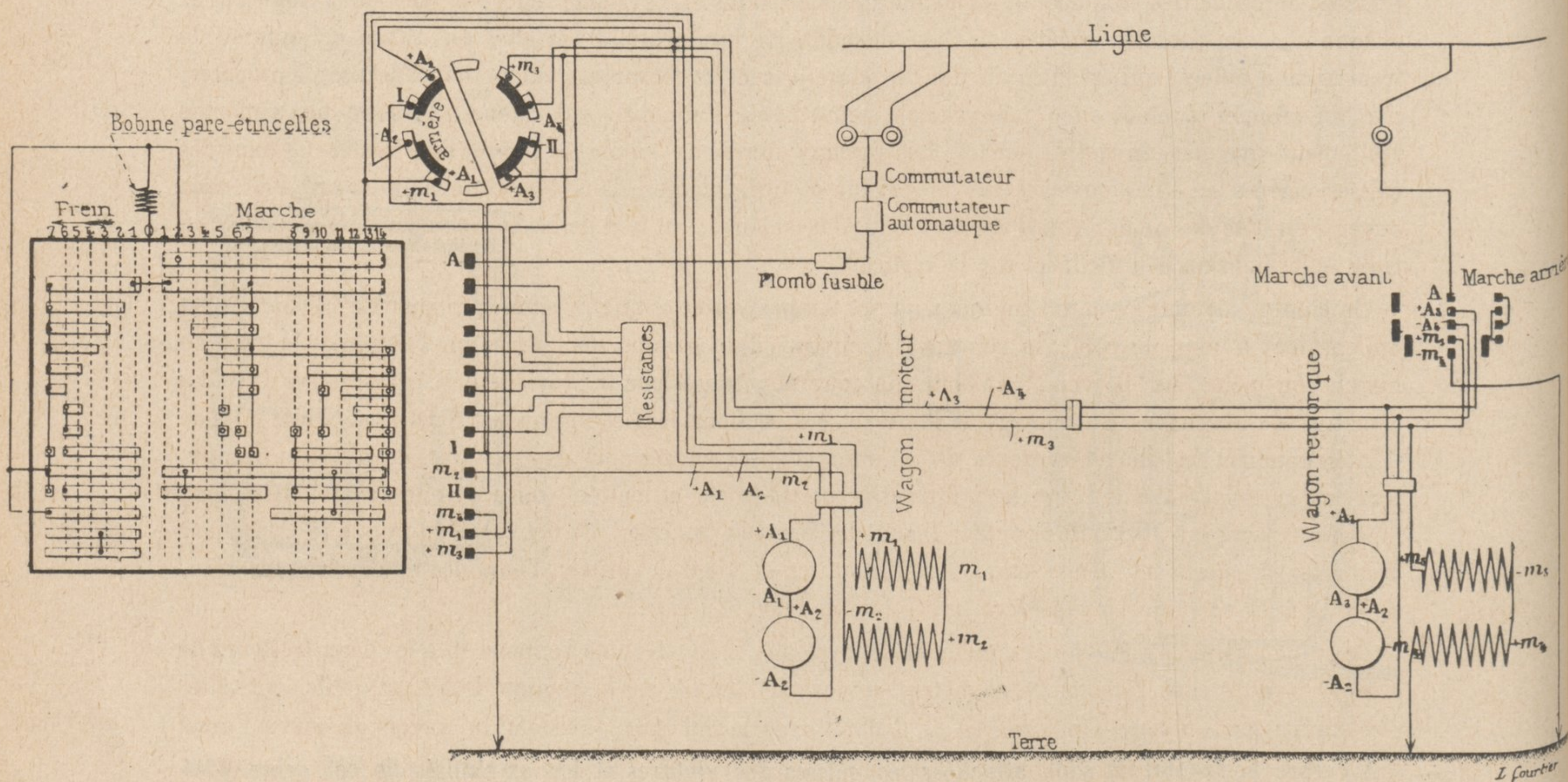
Les deux portes latérales du côté droit s'ouvrent vers l'intérieur et servent pour l'entrée et la sortie des voyageurs ; pendant le trajet elles sont verrouillées et ne peuvent être ouvertes que par le personnel du train.

En face de la porte d'entrée postérieure, sont des portes C et C qui habituellement sont fermées à clef, mais qui, en cas de nécessité, peuvent être ouvertes par le contrôleur, afin de permettre le transbordement

d'un train dans un autre. La place du conducteur est séparée du public par une cloison. Chaque voiture contient cinquante voyageurs, dont 30 assis sur banquettes transversales

Tous les moteurs d'un train sont dirigés, comme on l'a déjà dit, par un tableau indicateur commun qui se trouve sur la première voiture, du côté droit de la cabine du conducteur. On peut, avec eux, marcher en tous sens et faire fonctionner le frein dans tous les cas. Comme le montre le tableau indicateur de la Figure 55, les moteurs sont montés en tension pendant la marche au cran 7 de résistance ; puis ensuite parallèlement.

Fig. 55.



Quand il s'agit de serrer le frein, on diminue de la même manière la tension. Des résistances pour tous les moteurs sont disposées sur le toit de la première voiture. Si un moteur est endommagé, il peut par une disposition particulière être dételé.

L'éclairage est obtenu au moyen de lampes couronnes renfermant chacune plusieurs foyers électriques.

On a apporté une attention particulière dans l'installation des freins. On peut arrêter électriquement en fermant brusquement les moteurs ; en outre, il existe un frein Westinghouse et un frein à main. C'est un frein à air comprimé qu'on utilise pendant l'exploitation, tandis que le frein électrique sert surtout dans les descentes et pour ralentir à l'approche d'un arrêt. Les cylindres du frein Westinghouse *d*, Figure 52, sont logés dans la monture tournante et ses pistons, au moyen d'une transmission par levier, agissent également sur toutes les pattes à frein des roues directrices. L'air comprimé se trouve logé dans des tuyaux d'emmagasinage K, adaptés sous le plancher des voitures. Ces tuyaux sont remplis à l'une des stations terminus. Les tuyaux d'emmagasinage sont calculés pour pouvoir prendre pour chaque arrêt et pour chaque tonne de traction 0,48 litres d'air comprimé à 4 atmosphères (1). La pression initiale est 9 à 10 atmosphères.

(1) Ce sont à peu près les proportions et mesures en usage aux autres voies analogues ; par exemple la voie à traction électrique de Bruxelles à 0,66 à 0,73 litres d'air comprimé à 4 atmosphères. La voie électrique souterraine Waterloo and City Railway de Londres 0,53. La voie électrique suspendue de Liverpool 0,39 litres. Le chiffre le plus élevé de la première voie (Bruxelles) est nécessité par les descentes nombreuses et des fréquents ralentissements des trains dans les rues de la capitale Belge.

Le frein à main est manœuvré par le levier et agit sur les mêmes pattes à frein que le frein à air comprimé. Les deux freins peuvent, en cas de nécessité, être manœuvrés par le contrôleur ou par des voyageurs à l'autre extrémité de la voiture.

Exploitation. — *Block-System.* — Le block-system dont on fait usage est purement automatique. On s'est préoccupé dans l'installation de ce block d'éviter que des influences extérieures comme des défauts d'isolement aux appareils de contact, des effets de l'électricité atmosphérique puissent empêcher les annonces et les déblocages des trains. Le système repose en effet sur l'emploi pour chaque cas de contacts répétés au lieu de contacts uniques : à cet effet on utilise un appareil de transmission différé, qui est intercalé dans le courant (sens de retour) et qui fonctionne de façon à préparer, par un premier contact avec interruption immédiate, l'annonce en retour, laquelle ne s'effectue réellement que par un autre contact. Les signaux lumineux employés le jour sont renfermés dans des caisses carrées en tôle, ouvertes sur le devant et qui, placées dans les stations, tournent leur face ouverte du côté des quais. Afin d'arrêter les rayons solaires, au lieu de les réfléchir dans la direction du train, elles sont un peu inclinées sur la verticale.

On emploie comme signaux lumineux quatre lampes vertes et quatre lampes rouges de 32 bougies et qui brûlent à tour de rôle ; le courant est envoyé d'un groupe de lampes sur l'autre par le train en marche lui-même sur la voie, par l'effet de courants, causés par la présence de parties isolées J de 3 à 4 mètres de longueur. Au passage à l'une de ces sections isolées intercalées dans la conduite à l'aide d'interrupteurs, les deux récepteurs du courant adaptés au support des voitures, et reliés entre eux, forment un pont entre la ligne électrique et la partie isolée et mettent cette dernière à bref délai deux fois sous le courant. Ce double contact change les signaux lumineux de l'étendue de voie que l'on vient de quitter et opère en même temps à la station qu'on vient de quitter, l'annonce de l'arrivée du train, ainsi qu'à la suivante, où les lumières sont également changées.

Pour bien faire saisir le fonctionnement du système, il convient de rappeler que les deux frotteurs de chaque voiture sont distants de 8 mètres environ, le double de la section isolée, et qu'ils sont reliés électriquement. Lorsque le premier est en contact avec le rail isolé, le second lui envoie du courant ainsi qu'au rail et, par ce dernier, au circuit comprenant le fanal rouge et le signal « arrêt ». Le circuit s'ouvre quand le premier frotteur a quitté la section isolée et se referme quand le deuxième vient en contact avec elle. C'est pendant cette deuxième période, très rapprochée de la première que le courant est lancé dans la ligne aboutissant à la station antérieure à celle que la voiture vient de quitter et où apparaît le disque vert.

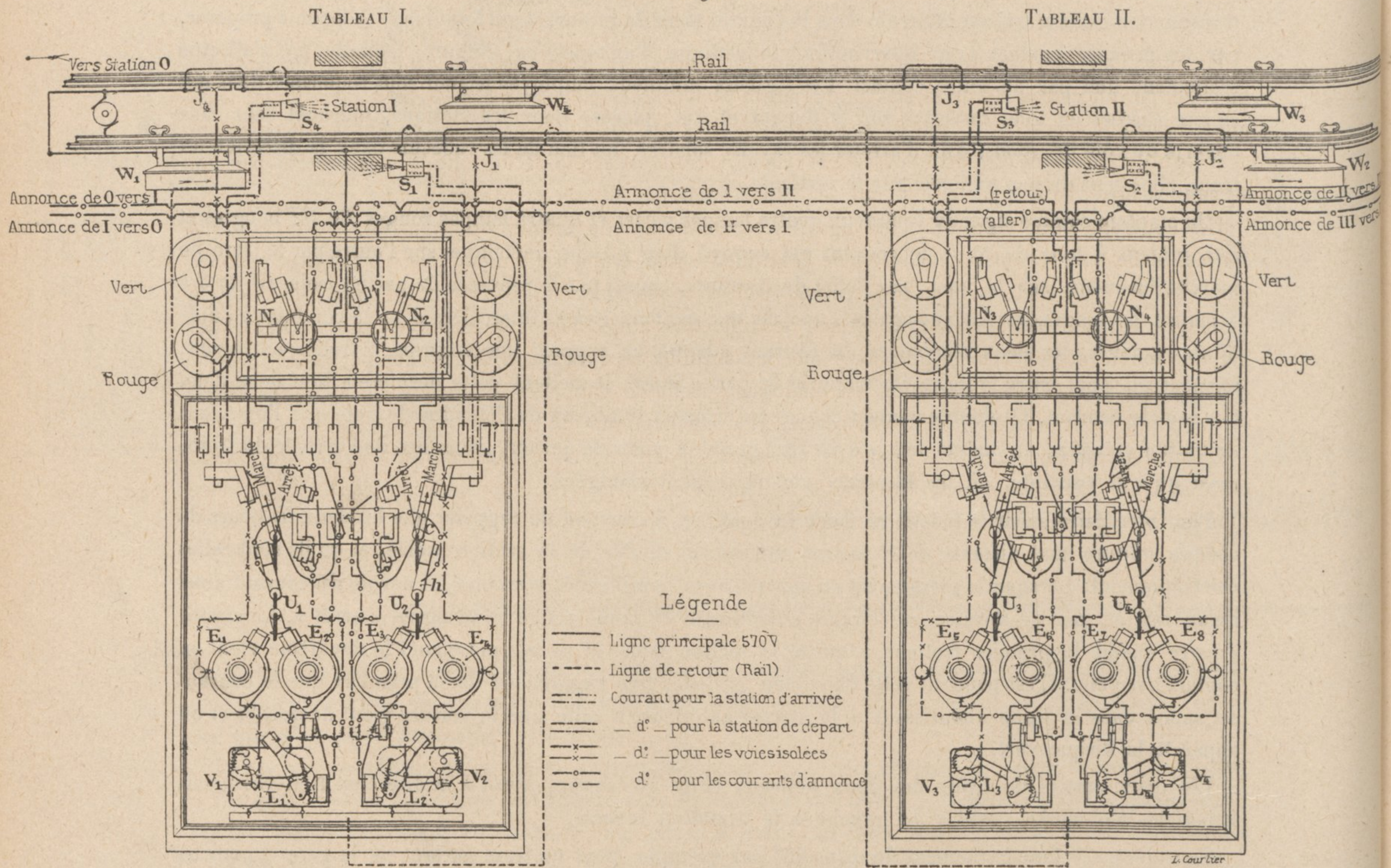
Les deux parties de droite des deux tableaux (Fig. 56) se rapportent à la direction Retterhausen-Elberfeld-Wohwinkel ; celles de gauche à la direction inverse.

Considérons le fonctionnement du dispositif par exemple, pour un train partant de la gare O pour se rendre par I et II à la gare III (Fig. 56) : quand le train W_1 arrive de la gare O à la gare I et si l'étendue de voie comprise entre I et II est libre, le signal S_1 projette un feu vert. Le train peut entrer. Pendant son trajet, il passe la section isolée J_1 et établit un premier contact ; le commutateur U_2 est renversé par l'électro E_4 et le courant qui alimentait les feux verts (signaux de marche) est renvoyé aux feux rouges (signaux d'arrêt).

En même temps, le levier L^2 , de l'appareil à transmission différée est partiellement libéré et prend la position figurée en L^4 , au tableau II , à la rupture du courant, il est complètement lâché et le circuit comprenant les lampes vertes de la station précédente se trouve alors fermé en L^2 , et au moyen du levier h abaissé sur c (Tableau I). Quand le second frotteur mettra à son tour le circuit dérivé de J^1 , en charge, le courant gagnera la ligne par la dérivation en E , les leviers L^4 , h , le plot c , la ligne I vers O , où enfin l'électro E , qui amènera le commutateur U^2 , sur le signal « marche » et fera réapparaître des feux verts.

Quand le train W_1 , arrive à la gare II, il trouve par exemple (Fig. 56), l'étendue de II à III occupée par le train W_2 et le signal S_2 donnant un feu rouge. Il doit donc attendre que le train W_2 ait passé la gare III et la section isolée suivante où il met le signal S_2 de la gare III en position d'arrêt et, par l'annonce en arrière, rend libre le signal S_2 . Si, ensuite, le train W_1 passe lui-même sur la section isolée S_2 , le signal S_2 est amené à la position d'arrêt par la transmission U_4 et en même temps par l'appareil de transmission différée V_4 ; l'annonce en arrière du train est faite à la station I; où au moyen de l'électro t_3 , le transmetteur U_2 est placé sur position de marche, et les feux du signal S passent du rouge au vert.

Fig. 56.



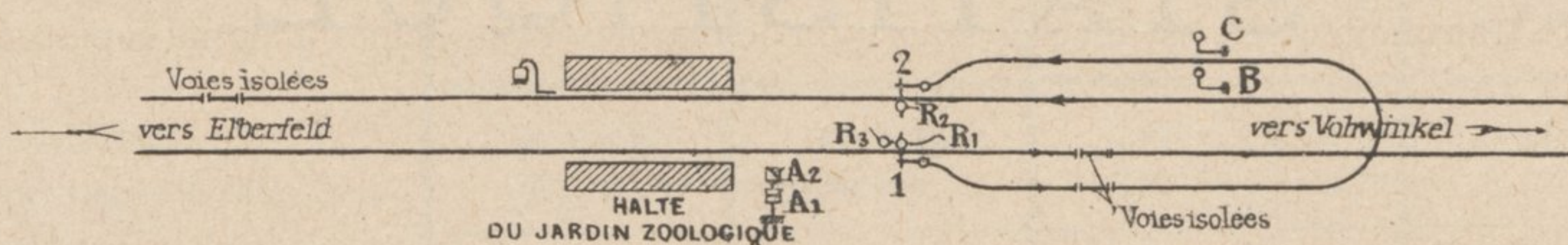
Les transmetteurs U_1 et U_3 servent pour la direction opposée de la voie parallèle.

Dans les circuits de ces courants, qui vont aux lampes-sigaux, sont intercalées des lampes de contrôle de même couleur qui font reconnaître toujours au personnel des gares quels feux donnent les signaux, à chaque instant. Les barres N peuvent être utilisées, en cas de nécessité, pour diriger le courant de façon que les feux rouges (signaux d'arrêt) existent en permanence; N_3 et N_4 sont alors tournées de droite à gauche, et N_1 et N_2 de gauche à droite.

Ce block-system n'est applicable qu'à la condition que les deux voies ne soient utilisées que pour le même sens. Si, par suite d'une obstruction quelconque d'une des voies, il faut se servir de l'autre dans les deux sens, alors on doit avoir recours au système ordinaire d'annonce de train par télégraphe ou téléphone. Pour le même motif un train qui a quitté une station ne peut y revenir qu'après avoir au préalable averti cette station de son retour.

Un point particulier qui exige des garanties spéciales est le tournant voisin du « Jardin zoologique. »
 Les mesures de précaution qui y sont prises sont indiquées (Fig. 57). Les aiguilles 1.2 sont manœuvrées de la cabine et ont des verrous R_1 et R_2 d'un genre spécial qui les bloquent par des points de fermeture.

Fig. 57.



En outre l'aiguille 1 est soustraite, quant au maniement, au libre usage de l'aiguilleur par suite du blocage, par un verrou R_3 de la station du jardin zoologique. Cette mesure est prise pour qu'un train qui a dépassé le signal $A_1 A_2$ placé entre la station et l'aiguille ne puisse pas être en danger de collision.

L'aiguille ne pourra être manœuvrée que quand ce train est arrêté. L'aiguille 2 est couverte par des signaux à bras visibles de loin et qui se manœuvrent par fils de la cabine.

Les appareils pour verrouiller les aiguilles se composent de targettes pouvant être dégagées par le courant. Elles empêchent la manœuvre de l'aiguille jusqu'à ce que la fermeture électrique soit supprimée par l'effet du passage du train sur des sections isolées convenablement disposées. Afin d'éviter que cette fermeture soit prématurée ou supprimée par des influences atmosphériques, ces targettes sont maintenues par un double enclenchement, de sorte que les aiguilles ne deviennent libres que par l'effet de deux contacts successifs. Cette disposition est analogue à celle de l'annonce, en arrière du train, au moyen des appareils à transmission différée, comme il a été expliqué plus haut.

Chaque station est munie des appareils nécessaires pour commander le courant, de sorte qu'entre deux stations chaque voie peut être traitée isolément et les interruptions peuvent ainsi toujours être limitées au petit tronçon situé entre deux stations.