§ IX. — *APPAREILS D'APPUI*

404. Les ponts transmettent à leurs appuis leur poids propre et le poids des surcharges qu'ils sont destinés à supporter, par l'intermédiaire d'appareils métalliques dont les détails de construction sont très variables, mais qui doivent satisfaire à certaines conditions qui dépendent: de la nature des matériaux entrant dans la composition des appuis; des propriétés physiques, des matériaux servant à la construction des ponts; enfin des dimensions et du mode de construction de ces derniers.

1° Les culées et les piles formant les appuis des ponts peuvent être en métal ou en maçonnerie; dans tous les cas, la surface inférieure des appareils, qui repose sur ces appuis, devra avoir des dimensions suffisamment grandes pour que la pression maxima par unité de surface des parties en contact, soit égale ou inférieure à la pression limite que les matériaux employés peuvent supporter en toute sécurité;

2° Les propriétés physiques du fer et de l'acier qui ont une influence sur le mode de construction des appareils d'appui, sont la flexibilité et la dilatation.

Au point de vue de la flexibilité, on sait que quand un pont supporte une surcharge, il fléchit et sa fibre moyenne change de position sur toute sa longueur; l'inclinaison de cette fibre moyenne atteint son maximum au droit des appuis. Il résulte de ce fait que pendant la flexion les appareils obéissant au mouvement qui leur est transmis par le pont chargent inégalement les appuis, la pression par unité de surface atteignant son maximum sur le bord intérieur de la plaque en contact avec ces appuis.

Dans les ponts qui reposent sur des piles et sur des culées en maçonnerie on tient compte de cette circonstance de la façon suivante:

Si le poids total du pont, charge et surcharge comprise, est assez faible, on donne à la plaque inférieure des dimensions suffisantes pour que la pression moyenne, supposée uniformément répartie sur toute la surface de la plaque, soit très sensiblement inférieure à la pression que la pierre peut supporter.

Si au contraire le poids total du pont est grand, pour éviter de donner à la plaque inférieure des dimensions exagérées, et pour être certain du mode de répartition de la pression sur la pierre, on fait usage d'appareils d'appui à articulation, lesquels sont construits de telle sorte que la résultante des actions du pont passe toujours au centre de la plaque inférieure quelle que soit l'inclinaison de sa fibre moyenne.

Au point de vue de la dilatation, il faut tenir compte de ce que le métal qui entre dans la construction d'un pont est soumis à des changements de dimensions qui résultent des variations de la température. En ce qui concerne les appuis, le seul changement qu'il y a lieu de considérer, c'est l'allongement ou le raccourcissement linéaire de l'axe du pont entre ses appuis, provenant d'une élévation ou d'un abaissement de la température. Pour que ces mouvements de dilatation et de contraction ne produisent aucune modification dans le travail moléculaire du métal, il est indispensable que les appareils d'appui leur permettent de s'effectuer librement; on peut arriver facilement à ce résultat, par l'emploi d'appareils à glissières ou à rouleaux de dilatation. Afin d'éviter un mouvement général de l'ouvrage, il est nécessaire de le fixer invariablement sur un de ses appuis; la section transversale correspondante restant fixe, sert d'origine aux déplacements produits par les variations de la température.

Pour montrer l'importance des mouvements dus aux variations de la température, nous rappellerons que le coefficient de dilatation du fer est 0,001235 pour une différence de 100 degrés entre les tempé-

ratures initiales et finales ; c'est-à-dire qu'une barre de fer de 1 mètre s'allongera ou se raccourcira de 1,235 millimètres, si la température varie de 100 degrés en plus ou en moins de celle qu'on considère. Dans nos climats, l'écart maximum qui peut exister entre la température la plus forte de l'été et la plus basse de l'hiver est de 60 degrés, en supposant + 40 degrés pour l'été et — 20 degrés pour l'hiver. La dilatation totale qui correspond à cet écart maximum est de $\frac{60 \times 1,235}{100} = 0,741$ millimètres par mètre.

3° Les appareils d'appui dont on fait usage diffèrent suivant les dimensions et le mode de construction des ponts ; cette dernière considération nous servira de base dans la classification suivante, qui nous permettra de faire une étude complète des appareils employés, savoir :

Appareils pour ponts à travées indépendantes ;

Appareils pour ponts à travées continues ;

Appareils pour ponts en arcs ;

Appareils pour ponts consoles ;

Appareils pour ponts spéciaux.

I. — Ponts a travées indépendantes

405. Dans les ponts à travées indépendantes, les appareils d'appui doivent permettre aux poutres de fléchir et de se dilater librement ; mais ces déformations étant proportionnelles à la portée des ponts, les dispositions employées, pour tenir compte de ces effets, doivent être d'autant plus parfaites que l'ouverture des ponts est plus grande ; nous partagerons les ponts, à ce point de vue, en quatre groupes distincts, savoir :

Ponts d'une portée inférieure à 6 mètres ;

Ponts d'une portée comprise entre 6 et 20 mètres ;

Ponts d'une portée comprise entre 20 et 40 mètres.

Ponts d'une portée supérieure à 40 mèt.

Les portées que nous donnons ainsi comme limites n'ont rien d'absolu, et suivant les circonstances elles peuvent varier de quelques mètres en plus ou en moins.

Ponts d'une portée inférieure à 6 mètres

406. Nous avons vu (n^os^ 112 et 113) que dans les premiers ponts à poutres sous rails et à poutres jumelles construits en fonte, les poutres reposaient sur les culées par l'intermédiaire de simples cales en bois de chêne ; cette disposition est mauvaise car le bois se pourrit rapidement, et pour le remplacer, il est nécessaire de soulever légèrement le pont, de le caler provisoirement, et de le redescendre ensuite ; ces opérations sont longues et par conséquent coûteuses ; aussi a-t-on bientôt abandonné les cales en bois pour les remplacer par des plaques métalliques.

La disposition la plus simple qu'on puisse employer est de river à l'extrémité des poutres des platines en fer de 15 à 20 millimètres d'épaisseur qu'on fait reposer directement sur la maçonnerie

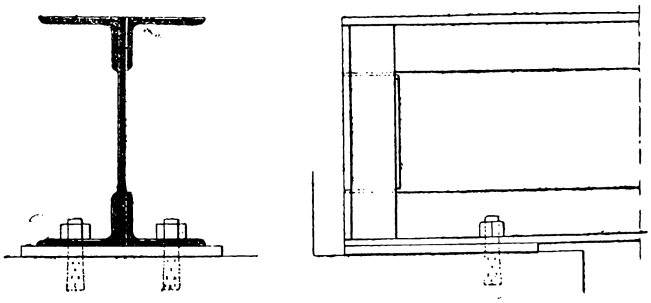


Fig. 903.

en ayant soin de fraiser, sur leur face inférieure, les rivets qui les fixent aux poutres.

Les plaques doivent être placées à quelques centimètres en arrière du bord extérieur des coussinets pour éviter que la pierre se fende. Sur un des appuis, les plaques sont fixées à l'aide de boulons de scellement, tandis que sur l'autre elles sont simplement posées et peuvent glisser sur la maçonnerie ; or les ponts

dont nous nous occupons étant légers, ce mouvement peut s'effectuer sans donner naissance, dans les poutres, à des efforts qu'il faille considérer.

La figure 903 donne, en élévation et en coupe transversale, la disposition des plaques d'appui d'un petit pont de 4 mètres à poutres sous rails, et la figure 904 les mêmes vues pour un pont de même ouverture à poutres jumelles.

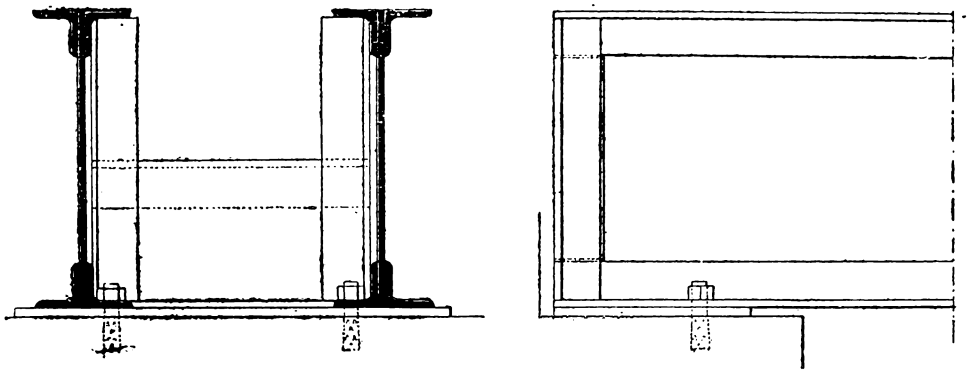


Fig. 904.

Ponts d'une portée comprise entre 6 et 20 mètres

407. Quand on emploie des platines en fer, il ne faut pas les faire dépasser d'une trop grande quantité les bords extérieurs des poutres, car les parties de ces plaques en dehors des poutres travailleraient alors à la flexion, et on ne pourrait plus compter sur une répartition uniforme de la pression sur toute la surface de contact des plaques et de la maçonnerie.

Dans les ponts au-dessus de 6 mètres les plaques sont plus épaisses, ce qui permet de leur donner une plus grande largeur et, par conséquent, d'obtenir une surface de contact plus importante avec les coussinets en pierre; mais alors on les

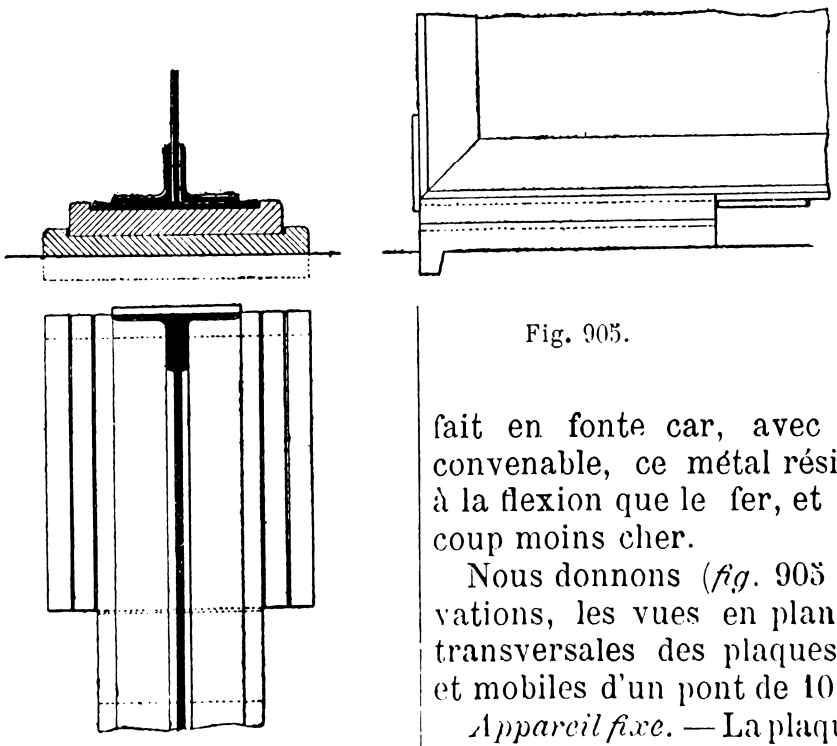


Fig. 905.

fait en fonte car, avec une épaisseur convenable, ce métal résiste aussi bien à la flexion que le fer, et il coûte beaucoup moins cher.

Nous donnons (*fig.* 905 et 906) les élévations, les vues en plan et les coupes transversales des plaques d'appui fixes et mobiles d'un pont de 10 mètres.

Appareil fixe. — La plaque fixe présente sur sa face supérieure deux rebords entre lesquels se place la plate-bande inférieure de la poutre, et qui sont destinés à empêcher tout mouvement transversal du tablier; des rainures longitudinales venues de fonte avec la plaque servent à loger les

têtes des rivets qui assemblent les plates-bandes aux cornières courantes. La face inférieure de la plaque est plane et brute de fonte, mais pour la fixer à la maçonnerie elle porte sur toute sa largeur, et sur le côté opposé à celui qui longe le bord de la culée, un talon qui pénètre dans une entaille de même forme faite dans la pierre; ce talon scellé au plomb ou au soufre, donne à la plaque une position invariable. La plaque étant ainsi fixée sur la maçonnerie, pour relier le pont à la plaque, on rive horizontalement et verticalement, à ses extrémités, deux petites platines de butée, en tôle, qui l'empêchent de se mouvoir dans un sens ou dans l'autre.

Appareil mobile. — Il se compose de deux plaques superposées, en fonte, dont les surfaces en contact sont soigneusement dressées et qui glissent l'une sur l'autre; la plaque supérieure est reliée au tablier à l'aide de deux platines de butée, tandis que la plaque inférieure est fixée à la maçonnerie par l'intermédiaire d'un talon scellé. De cette manière quand le pont se dilate ou se contracte, il entraine avec lui la plaque supérieure qui glisse sur la plaque inférieure fixe et il n'a à vaincre, pour effectuer ce mouvement, que le frottement de glissement entre deux surfaces rabotées, soit un effort égal à environ les 3/10 de la charge qui agit sur la plaque.

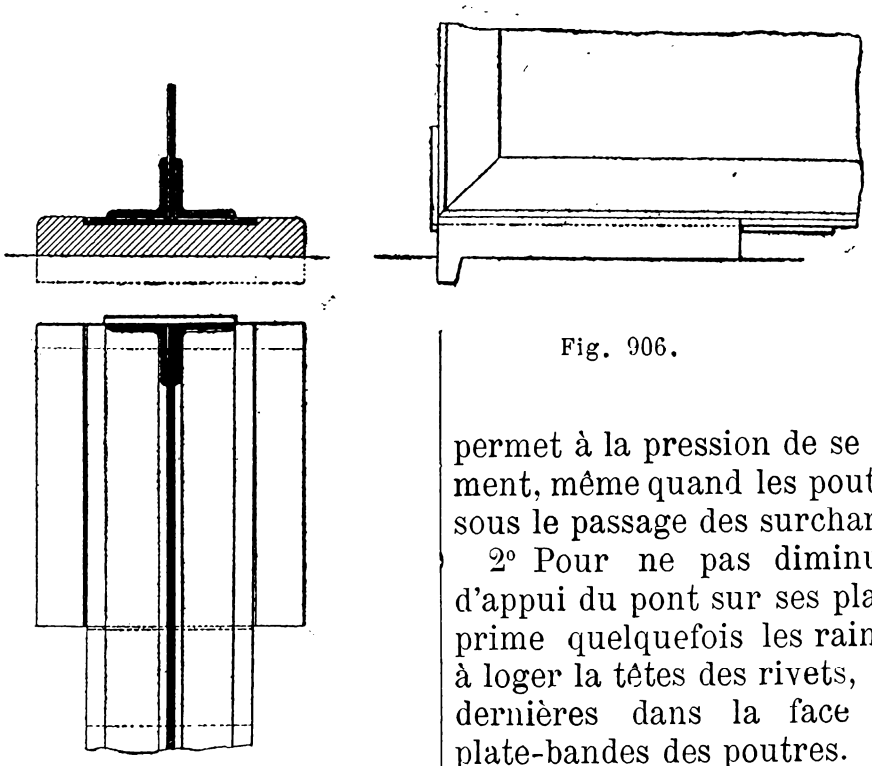


Fig. 906.

Les dispositions que nous venons de décrire suffisent dans la plupart des cas, mais on peut y apporter les modifications suivantes dont certaines sont exigées par plusieurs Compagnies de chemin de fer :

1° Pour éviter le danger qui peut résulter de l'appui d'une pièce brute de fonte sur une pierre qui peut être mal dressée, on interpose souvent entre les plaques inférieures et le coussinet, une feuille de plomb de 3 à 5 millimètres qui par sa malléabilité se prête à toutes les inégalités que présentent les surfaces en contact, et permet à la pression de se répartir également, même quand les poutres fléchissent sous le passage des surcharges;

2° Pour ne pas diminuer la surface d'appui du pont sur ses plaques, on supprime quelquefois les rainures destinées à loger la têtes des rivets, en fraisant ces dernières dans la face inférieure des plate-bandes des poutres.

3° Le mode de fixation du pont sur les plaques est très variable et au lieu des platines de butée, on peut employer des boulons à tête noyée dans la plaque, ou des prisonniers, etc.

Ponts d'une portée comprise entre 20 et 40 mètres

408. Dans les appareils d'appui à glissières, les plaques inférieures transmettent aux maçonneries un effort horizontal égal à la charge verticale multipliée par le coefficient de frottement de glissement lequel a pour valeur environ

0,3 ; les poutres du pont doivent d'ailleurs résister également à cet effort supplémentaire. Or ces effets, qui sont à peu près négligeables dans les petits ponts, peuvent acquérir une valeur notable dans les ponts d'une certaine ouverture.

Nous pensons qu'au-delà d'une portée de 20 mètres, il est nécessaire de substituer aux appareils à glissières, des appareils à rouleaux à l'aide desquels l'effort horizontal qui prend naissance sous l'effet de la dilatation est égal à la charge verticale multipliée par le coefficient de frottement du roulement, dont la valeur varie suivant le diamètre des rouleaux de 0,01 à 0,0065.

Appareil mobile. — Il se compose de deux plaques entre lesquelles sont interposés un certain nombre de rouleaux ; la plaque supérieure peut être fixée à la poutre, soit par des plaques de butée, soit

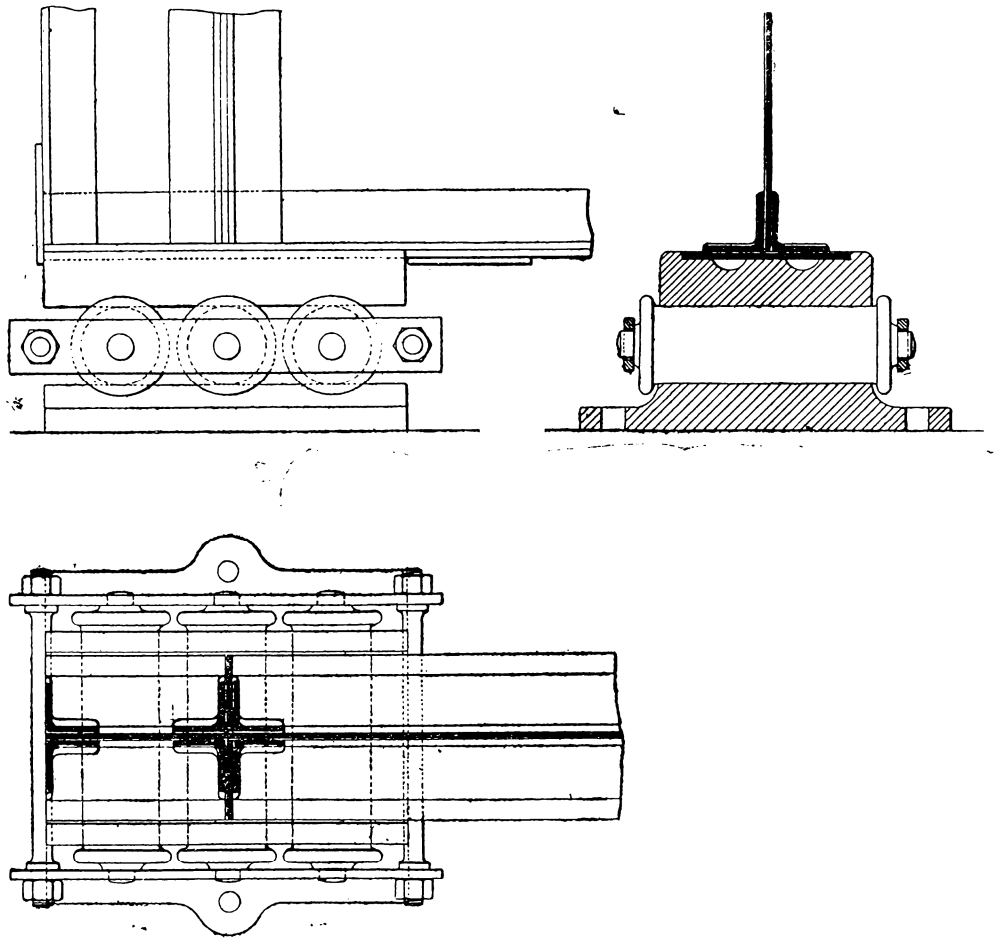


Fig. 907.

par des boulons, et la plaque inférieure fixée à la maçonnerie par un talon ou par des boulons de scellement.

Nous donnons (*fig.* 907) l'exemple d'un appareil dans lequel les rouleaux sont en fonte et de forme cylindrique ; pour que tous les rouleaux se meuvent ensemble pendant la dilatation ou la contraction du pont, leurs extrémités sont munies d'axes saillants permettant de les relier de chaque côté par une entretoise ou longeron. Ces entretoises sont réunies à leurs extrémités par des boulons d'écartement ; on forme de cette manière un système de rouleaux solidaires qui obéit facilement aux mouvements qui lui sont communiqués par le pont. Pour être certain que le pont ne se déplacera pas transversalement sous l'action du vent, on fait venir de fonte, aux extrémités des rouleaux, des rebords qui permettent de transmettre à la plaque fixe inférieure les actions horizontales supportées par le tablier.

Le contact des rouleaux avec les plans qui limitent les plaques supérieures et

inférieures s'établit théoriquement suivant une génératrice de la surface cylindrique qui limite ces rouleaux ; or la pression ne peut être transmise dans de

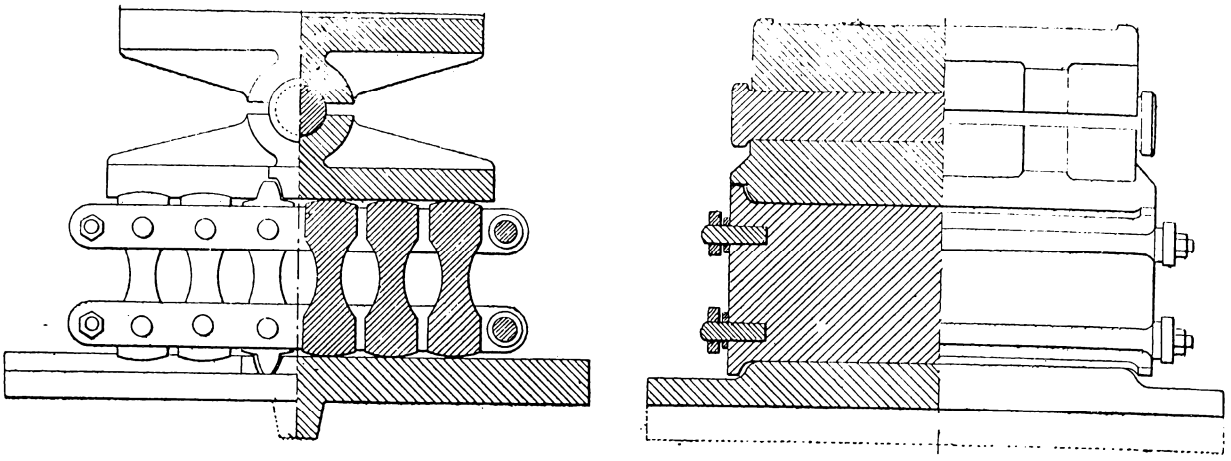


Fig. 908.

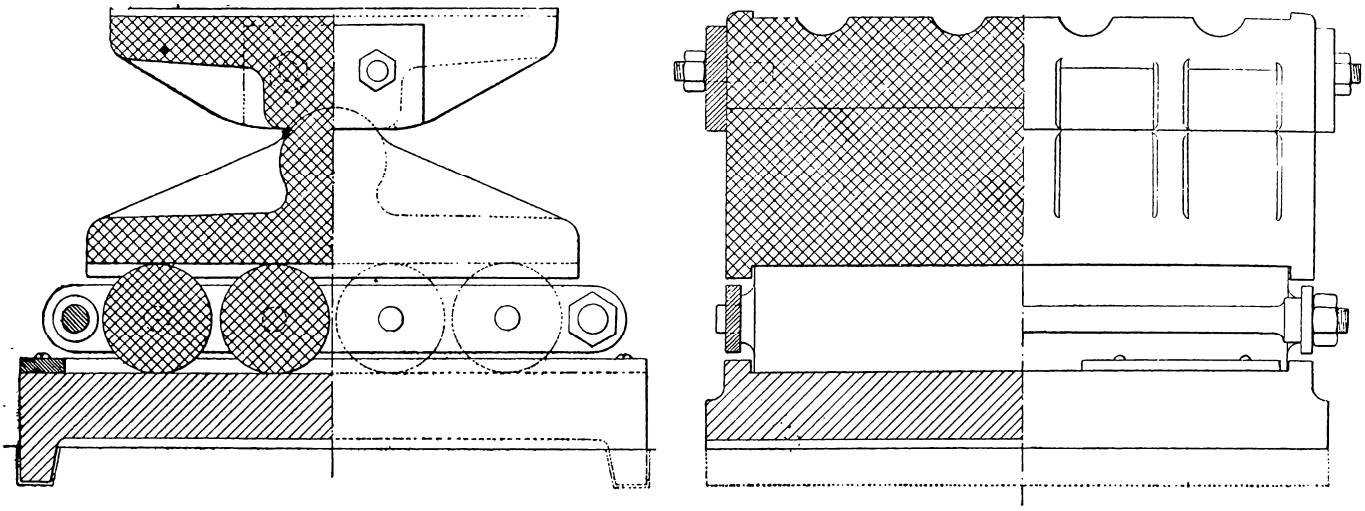


Fig. 909.

bonnes conditions, par l'intermédiaire des rouleaux, que si leur déformation permet qu'il s'établisse une surface de contact telle que la pression unitaire des métaux en présence soit inférieure à leur limite d'élasticité. Cette déformation étant un obstacle au roulement il faut la réduire autant que possible, et comme elle est, pour chaque rouleau, proportionnelle à l'effort qu'il supporte, elle sera d'autant plus faible que le nombre des rouleaux sera plus grand. En remarquant que dans les rouleaux cylindriques ordinaires il n'y a qu'une faible partie de leur surface intéressée au roulement, l'amplitude totale du mouvement étant très faible, on a pu augmenter le nombre des rouleaux sans agrandir les plaques, en donnant à ces rouleaux la forme de zones circulaires. Nous donnons sur la figure 908 deux demi-élévations et deux

demi-coupes verticales d'un appareil composé de rouleaux ayant la forme que nous venons de définir, et dans lesquels, pour diminuer la quantité de métal à employer, on a aminci la partie centrale; les rouleaux sont rendus solidaires au moyen de quatre longerons reliés deux à deux à leurs extrémités par des entretoises d'écartement.

Ponts d'une portée supérieure à 40 mètres

409. Pour les ponts de grande ouverture, il est nécessaire de faire usage de plaques à articulation, non seulement pour que le pont puisse fléchir librement sous l'action des charges permanentes et de la surcharge, mais encore pour obtenir une répartition uniforme de la pression sur toute la surface des plaques inférieures à leur contact avec les maçonneries.

Les appareils à articulation sont quelquefois employés pour des ouvertures inférieures à celle que nous avons donnée comme limite ; si on ne les emploie pas plus fréquemment, c'est à cause de leur prix qui est plus élevé que celui des plaques ordinaires.

Nous donnerons, comme exemple d'appareils d'appui pour ponts d'ouvertures moyennes, les appareils à rotule d'un

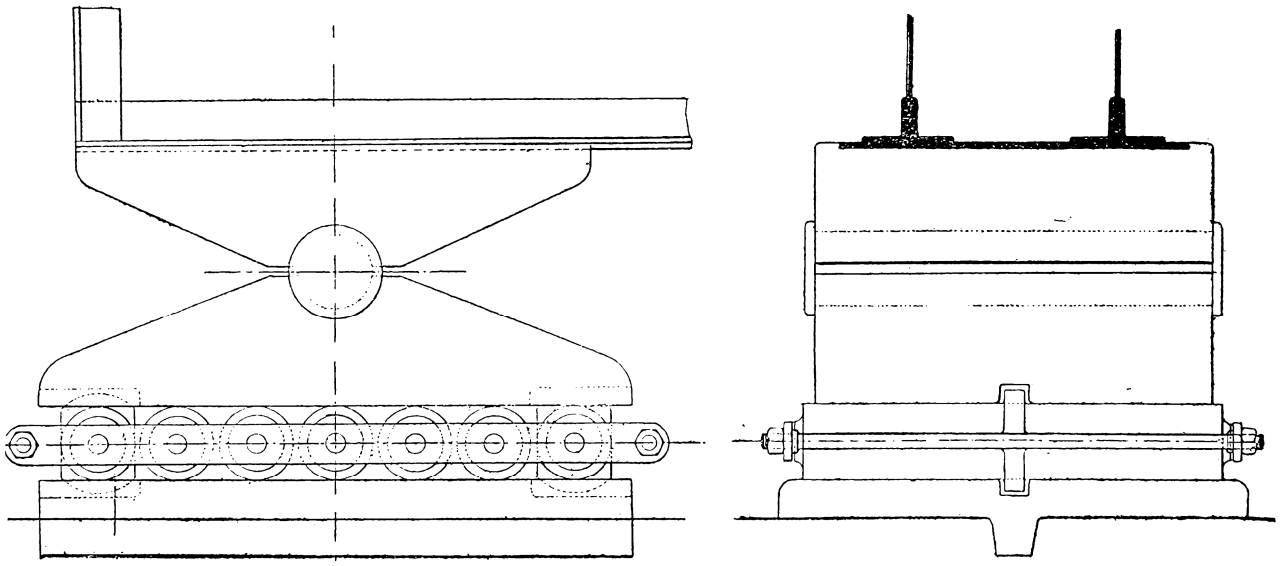


Fig. 910.

pont de 35 mètres construit sur la Vire (*fig.* 909); ils se composent de deux parties distinctes: la partie inférieure composée comme précédemment d'une plaque en fonte en contact avec la maçonnerie et d'un chariot de dilatation; la partie supérieure de l'appareil est composée de deux pièces en acier coulé, la pièce qui repose sur les rouleaux de dilatation est formée d'une plaque portant en son milieu un renflement venu de fonte et relié à cette plaque par de fortes nervures triangulaires, ce renflement est limité, à sa partie supérieure, par une surface cylindrique soigneusement rabotée qui sert d'appui à la pièce fixée au pont et sur laquelle s'opère le glissement relatif des deux pièces. Pour éviter tout déplacement transversal du tablier, la pièce supérieure porte, boulonnés sur ses faces latérales, deux taquets en fer plat entre lesquels est emprisonnée la pièce inférieure. On remarquera que pour empêcher le mouvement latéral de l'appareil sur les rouleaux de dilatation, ces derniers sont encastrés entre deux rebords venus de fonte sur les pièces entre lesquelles ils sont placés.

Les appareils les plus employés sont ceux avec axes d'articulation, ils se composent de deux pièces en forme de balancier à section longitudinale triangulaire, entre lesquels on interpose un axe de forme cylindrique. Nous donnons, sur la

figure 910, un exemple de ces appareils, dans lesquels, pour éviter tout déplacement transversal du pont, les extrémités de l'axe sont pourvues de rebords; on remarquera dans cet exemple une disposition particulière du chariot de dilatation : les rouleaux n'ont aucune saillie extérieure, et, pour prévenir tout déplacement latéral, les rouleaux extrêmes ont été pourvus, en leur milieu, de bourrelets qui pénètrent dans des rainures faites aux plaques entre lesquelles ils sont placés. Cette disposition est toute spéciale, et le plus souvent on fait usage de chariots à rebords, analogues à ceux que nous avons représentés sur la figure 907.

Les dispositions de détail des appareils d'appui sont très variables, nous donnerons, comme dernier exemple, sur la figure 911, les élévations longitudinale et transversale des appareils d'appui de la grande travée de 150 mètres du pont sur le Lek en Hollande. Les poutres de ce pont, ayant des dimensions exceptionnelles, ont été composées de deux parois à 1 mètre de distance d'axe en axe. Les parties des semelles qui transmettent effectivement les charges du pont aux plaques supérieures des appareils d'appui sont celles qui avoisinent les tôles verticales, les portions des plates-bandes comprises entre les bords des cornières courantes n'ayant pas suffisamment de raideur pour concourir efficacement à cette transmission. Pour tenir compte de cette circonstance, et pour économiser du métal on a disposé directement, au-dessous de chaque paroi de la poutre, deux plaques distinctes composées chacune, à la manière ordinaire, de deux balanciers de forme triangulaire ; ces balanciers sont reliés entre eux, à leur partie supérieure et inférieure par des plaques en acier dans lesquelles ils sont encastrés, et en leur milieu par l'axe d'articulation; ce dernier est entouré d'un manchon qui contribue à maintenir invariable la distance entre les deux systèmes de balanciers.

II. — PONTS A TRAVÉES CONTINUES

410. Dans les ponts à travées continues, on ne peut plus fixer le pont sur une de ses culées, comme nous avons vu qu'on le faisait dans les ponts à travées indépendantes ; il faut, pour diminuer l'importance totale des déplacements dus aux variations de la température, fixer le pont sur son appui du milieu si le nombre de travées qu'il contient est pair, ou sur un des appuis voisins du milieu si ce nombre de travées est impair.

La fixation du pont sur les plaques supérieures, ou des plaques inférieures sur les maçonneries se fait de la même manière que dans les ponts à travées indépendantes.

Dans les ponts dont les travées ont jusqu'à 20 mètres d'ouverture, les plaques des culées sont identiques à celles que nous avons représentées sur les figures 905 et 906; pour les plaques sur piles on peut employer : ou deux plaques semblables à celles de la figure 905, placées bout à bout avec leurs talons en contact; ou bien, ce qui est préférable, on peut faire usage d'une plaque coulée en une seule pièce et munie d'un talon en son milieu.

Peur les ponts dont les travées ont une ouverture comprise entre 20 et 40 mètres environ, on emploie sur les culées des plaques identiques à celles que nous avons représentées sur la figure 910. Sur les piles au-dessus desquelles la dilatation doit s'effectuer librement, les appareils d'appui ont une composition analogue à à celle des précédents; sur la pile où s'effectue la fixation du pont, on peut faire usage de plaques simples, semblables à celles de la figure 906; mais ces plaques ayant une hauteur beaucoup plus faible que celle des appareils placés sur les autres appuis, il en résulte que la pile qui supporte l'appui fixe est plus haute que les piles voisines et que les culées; or quand le pont doit être roulé, ce qui est presque toujours le cas pour un pont à travées continues, cette différence de

hauteur des appuis est un inconvénient; pour y remédier on donne fréquemment aux appareils d'appui fixes la même hauteur qu'aux appareils d'appui mobiles. Nous

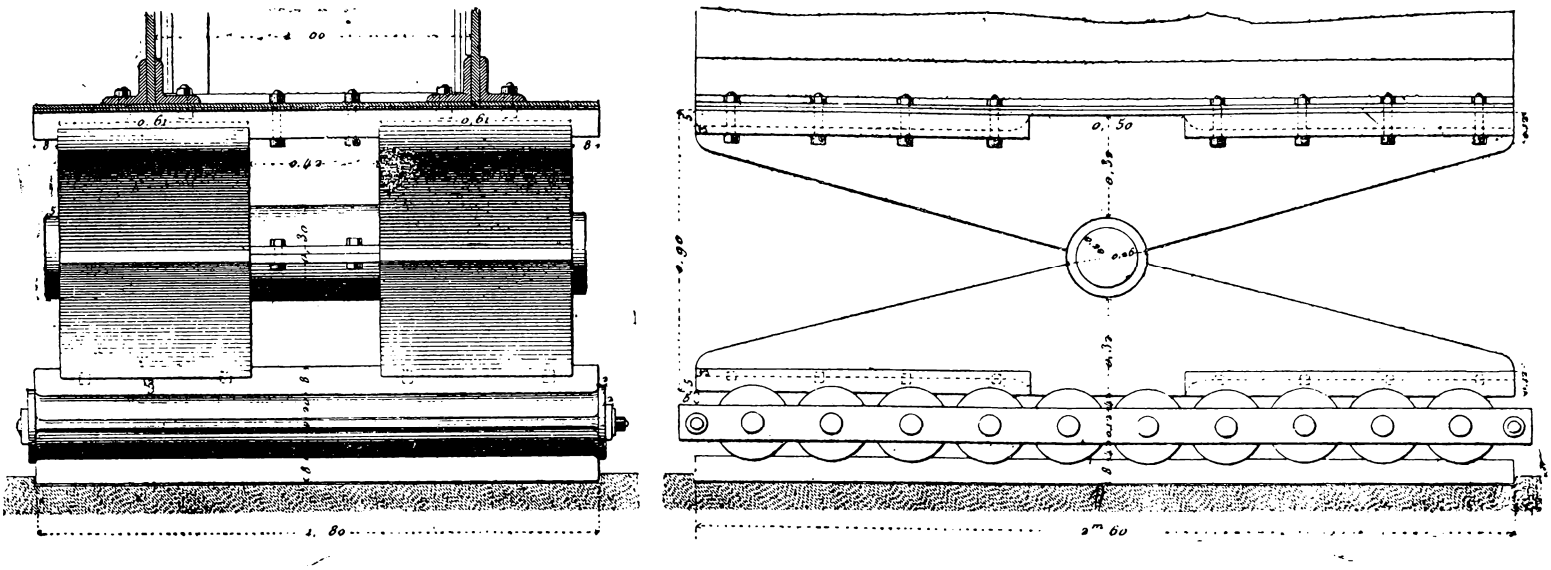


Fig. 911.

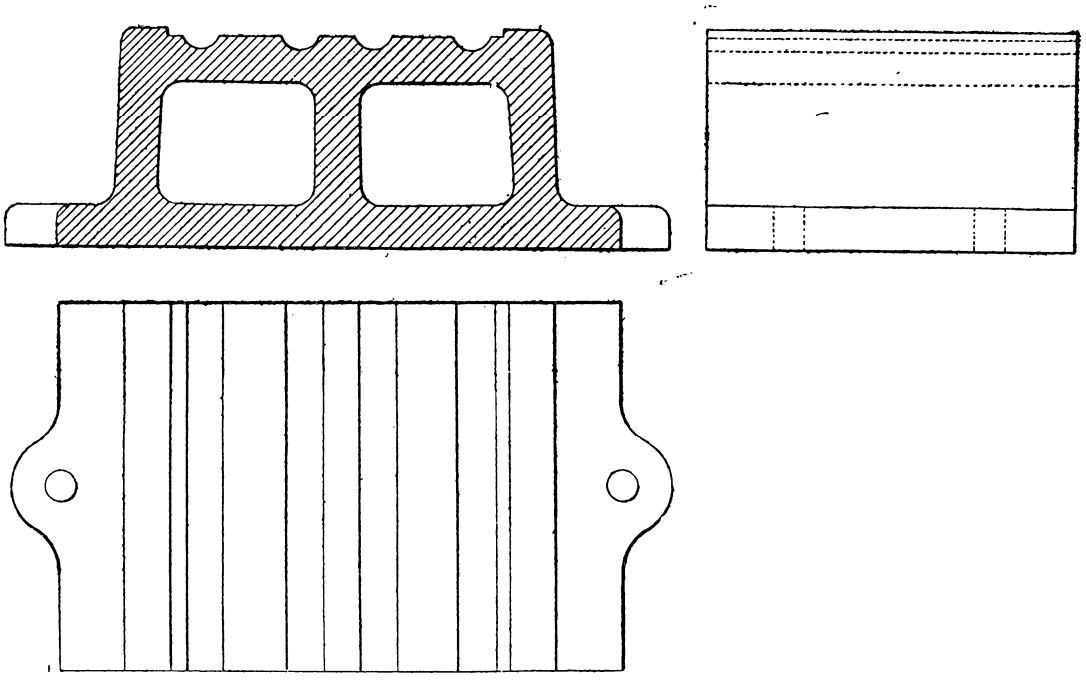


Fig. 912.

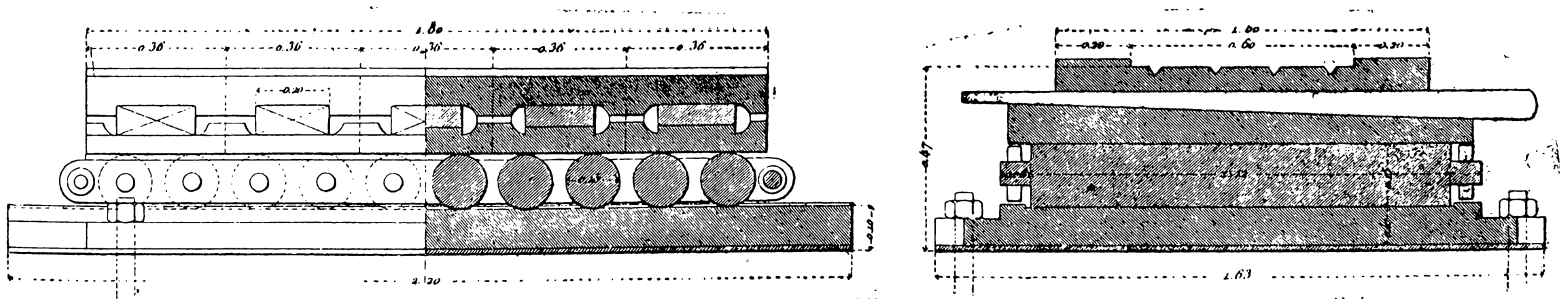


Fig. 913

donnons sur la figure 912 l'élévation, le plan et la coupe tranversale d'une demi-plaque d'appui fixe de grande hauteur, formée de deux plateaux en fonte reliés

entre eux par trois parois verticales; ces plaques obvient à l'inconvénient dont nous avons parlé plus haut; tout en ne coûtant pas plus cher que des plaques basses, car il faut remarquer que si la quantité de métal employée est sensiblement plus grande que dans une plaque de petite hauteur, en revanche on économise un cube de maçonnerie qui a pour valeur le produit de la section supérieure de la pile par la différence de hauteur entre les deux espèces de plaques.

Dans les ponts à travées continues il est indispensable, pour réaliser les conditions du calcul, que les appuis soient bien exactement de niveau ; or, pour arriver à ce résultat, il faut avoir sur les piles des appareils d'appui qui permettent de racheter une différence de quelques centimètres, en plus ou en moins, dans la position du pont par rapport aux maçonneries. Cette condition peut être facilement obtenue par l'emploi de plaques à coins, et nous donnons sur la figure 913 en élévation, coupe longitudinale, et coupe transversale, un exemple de cette disposition; la plaque supérieure de l'appareil d'appui comprise entre le pont et le châssis à dilatation, est composée de deux plaques indépendantes munies d'échancrures dans lesquelles on interpose des coins qui s'appuient sur les plaques, par l'intermédiaire de portées d'ajustement soigneusement rabotées.

III. — Ponts en arcs

411. Nous avons dit déjà, dans notre étude générale des ponts en arcs, quelles sont les conditions auxquelles doivent satisfaire les appareils d'appui; nous ajouterons seulement que la corde des arcs devant avoir une longueur invariable, ces appareils ne peuvent pas comporter de rouleaux à dilatation, et que le seul mouvement qui peut y prendre naissance, c'est celui de rotation.

412. Nous avons donné dans le chapitre II des *Ponts en fonte* quelques exemples d'appareils d'appui pour ponts encastrés aux naissances; nous les compléterons ici en citant les appareils du pont sur le Danube à Pesth ; ils se composent, ainsi que le montre la figure 914, de deux plaques en fonte entre lesquelles sont interposés des coins permettant le réglage du pont. On remarquera dans cette figure les quelques particularités suivantes : dans le but de permettre aux plates-bandes de trasmettre à la plaque supérieure les efforts qui les sollicitent, on a rivé sur elles de longues équerres en fer forgé dont les petites ailes appuient sur la plaque ; afin d'éviter le glissement des naissances de l'arc sur la plaque supérieure, les plates-bandes inférieures reposent sur des coins de réglage appuyés eux-mêmes sur une saillie venue de fonte à la partie inférieure des plaques sur maçonnerie.

Arcs demi-encastrés. — Nous avons dit déjà (n° 286) en quoi consiste le demi-encastrement des arcs, et nous avons donné,

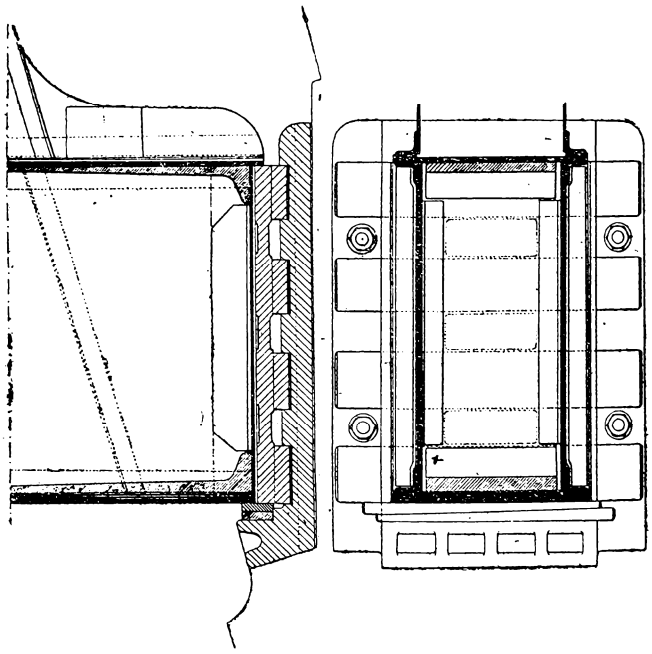


Fig. 914.

sur la figure 484, les dispositions qui ont été employées au pont de l'Erdre. Enfin, sur la figure 833 qui représente les retombées du pont sur le Rhin à Coblentz, nous avons indiqué les appareils d'appui ; on

peut voir que le mouvement de rotation s'effectue par l'intermédiaire d'une pièce en acier présentant sur sa face supérieure une surface cylindrique; cette pièce est soutenue par une épaisse plaque de fonte avec nervures qui pénètre assez profondément dans la maçonnerie; des plaques d'appui plus minces sont placées de part et d'autre de la plaque centrale et permettent au pont de s'appuyer, par l'intermédiaire de clavettes, soit sur la plaque supérieure, soit sur la plaque inférieure.

Ponts à deux et à trois articulations

413. Les appareils d'appui des ponts en arc articulés aux naissances différant assez peu des appareils à articulation employés pour les ponts droits, nous nous bornerons à en citer seulement quelques

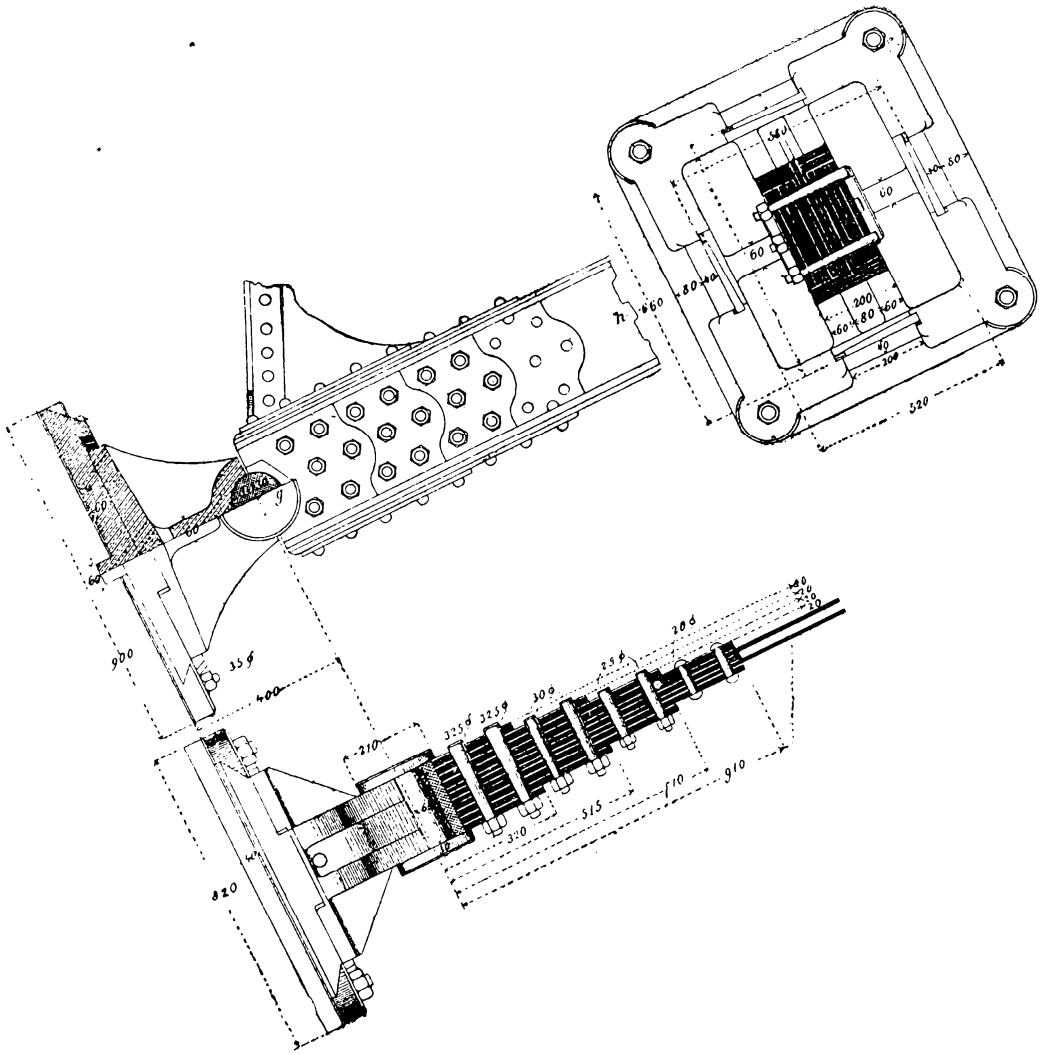


Fig. 915.

exemples présentant certaines particularités.

Au pont sur le Rhin à Horchheim, dont nous avons donné, sur la figure 834, le détail des naissances, on a employé des plaques à rotule; sur l'extrémité de l'arc on a boulonné une forte pièce en acier coulé terminée par une surface cylindrique de $0^m,500$ de rayon. Cette pièce tourillonne sur un coussinet également en acier fondu qui repose sur une plaque de fonte fixée à la maçonnerie. Des clavettes ont permis de régler le serrage au moment de la pose.

Dans quelques ponts on a fait appuyer directement l'arc sur l'axe d'articulation; nous donnons, sur la figure 915, un exemple de cette disposition; le pont dans lequel elle a été appliquée a ses arcs composés de fers en U placés dos à dos, ainsi que nous l'avons représenté sur les figures 817 à 819.

Les extrémités des âmes des fers à U sont munies de renforts échelonnés permettant d'obtenir une surface d'appui suffisante à leur contact avec la surface cylindrique du rouleau d'articulation ; ces renforts sont réunis entre eux et aux âmes par un certain nombre de boulons coniques qui présentent l'avantage de serrer mieux sur les tranches des tôles et de permettre une meilleure transmission des efforts de compression que les boulons cylindriques.

Nous donnons, sur la figure 916, un exemple d'appareil d'appui à articulation permettant un réglage facile des arcs; à cet effet, la plaque supérieure en contact avec les naissances est composée de deux parties entre lesquelles ont été placés des coins qui permettent de racheter une petite différence dans la position prévue pour les maçonneries; l'arc est fixé à cette plaque supérieure au moyen de quatre boulons qui traversent les deux parties dont elle est formée.

414. Dans les ponts à trois articulations, les appareils d'appui des naissances sont analogues aux précédents; à la clef on dispose à chacune des extrémités des

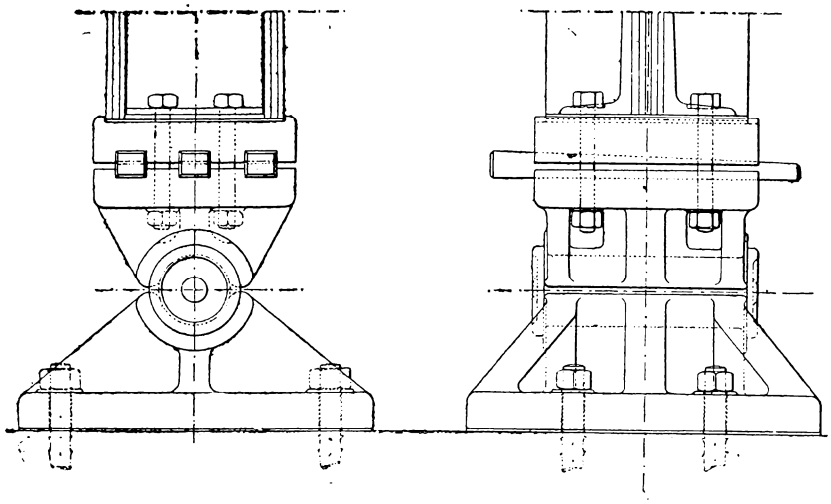


Fig. 916.

deux portions de l'arc, des pièces de fonte entre lesquelles on place un axe d'articulation cylindrique. Pour des ponts de grande ouverture il est nécessaire de ménager dans ces plaques des moyens de réglage servant après le montage; enfin, ainsi que nous l'avons dit (n° 292), on peut, quand on craint que la clef s'ouvre sous l'action des efforts horizontaux dus au vent, munir cette clef de bielles qui relient entre elles les deux portions de l'arc, sans apporter aucune gêne aux mouvements de l'articulation.

IV. — Ponts consoles

415. Dans les ponts consoles non encastrés les poutres n'exercent que des pressions de haut en bas sur leurs appuis, les appareils chargés de transmettre ces pressions aux maçonneries ont la même composition que ceux que nous avons précédemment étudiés ; dans les ponts consoles encastrés les appuis devant, pour certaines positions de la surcharge, exercer des tractions sur les poutres, ces dernières doivent être ancrées dans les maçonneries.

Ancrages

416. Les maçonneries étant incapables de résister à de grands efforts de traction, on est obligé, quand on veut ancrer un pont dans une pile ou dans une culée, d'utiliser le poids propre de ces appuis pour pouvoir produire, sur des tiges d'ancrage fixées aux maçonneries, une traction égale à celle déterminée par les conditions d'équilibre du pont; cette condition n'est cependant pas suffisante

car si le poids des maçonneries était strictement égal à la traction à exercer sur le pont, l'équilibre du système serait instable. Pour qu'on ait toute sécurité, il est nécessaire de donner au poids de la maçonnerie une certaine prépondérance sur la traction à exercer ; le rapport généralement adopté entre le poids de la maçonnerie et la traction maxima est de 1,5.

Nous prendrons comme exemple d'ancrage sur des culées, le pont sur le Niagara, dont nous avons donné une partie de l'élévation sur la figure 438. Chaque

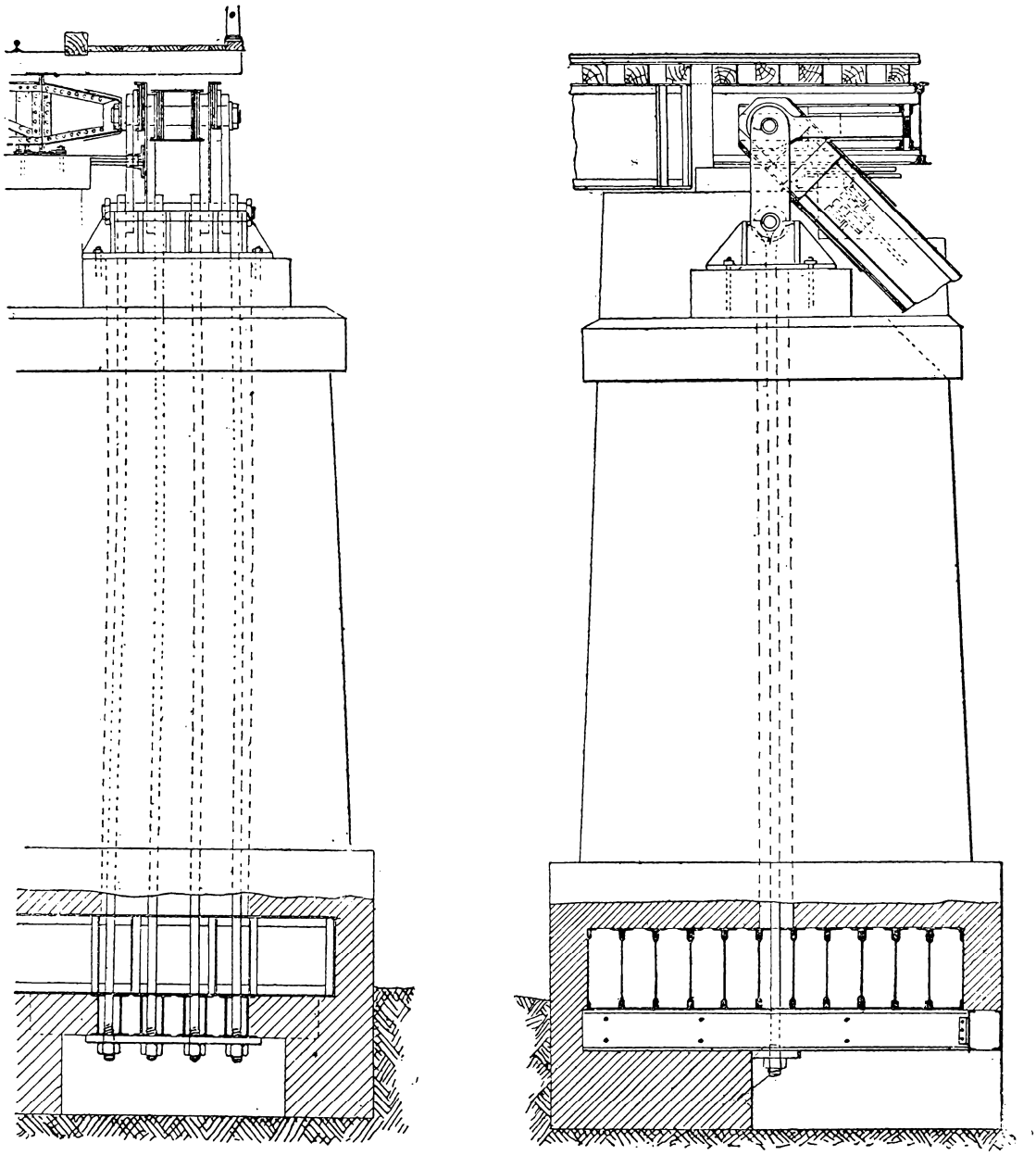


Fig. 917.

console formant une des travées de rive est terminée par deux barres composant un triangle dont un des sommets repose sur l'appareil d'appui ; ce triangle doit transmettre à l'appui soit des efforts de compression, soit des efforts de traction et il doit, de plus, pouvoir se déplacer longitudinalement sous l'influence des variations de la température. Ce triple problème a été résolu de la manière suivante : la broche reliant entre elles les deux barres extrêmes et sur laquelle se concentre la totalité de la réaction, a un diamètre de 0,170, elle est reliée à une broche de même diamètre reposant sur une plaque de fonte fixée sur la culée, par l'intermédiaire de quatre bielles à œil. Cette disposition permet au pont de

se dilater librement, et de transmettre à la culée les charges verticales dirigées de bas en haut car les bielles à œil ont une section capable de résister en toute sécurité à cet effort de compression. Pour transmettre aux maçonneries les efforts de traction, on a emmanché sur la broche inférieure quatre tiges d'ancrage formées de barres à œil à section carrée qui traversent toute la hauteur de la pile dans un puits ménagé à cet effet pendant la construction. Les tiges d'ancrage sont terminées par des parties cylindriques filetées sur lesquelles sont vissés des écrous permettant de mettre les tiges en tension et de reporter les efforts de traction sur une charpente métallique dont le but est de répartir la pression uniformément sur toute la section de la culée; à cet effet, les tiges sont reliées par une forte plaque en fer transmettant l'effort qui les sollicite à des poitrails longitudinaux en fer à I qui eux-mêmes reportent ces efforts à douze fortes poutres transversales en tôle et cornières régnant sur toute la surface de la culée et reliant entre eux les appuis des deux poutres du pont. La figure 917 indique clairement, en élévation et en vue latérale, les dispositions précédentes.

417. Au pont du Forth les appareils d'appui présentent des particularités intéressantes, et nous allons examiner comment on a pu faire reposer sur les piles le

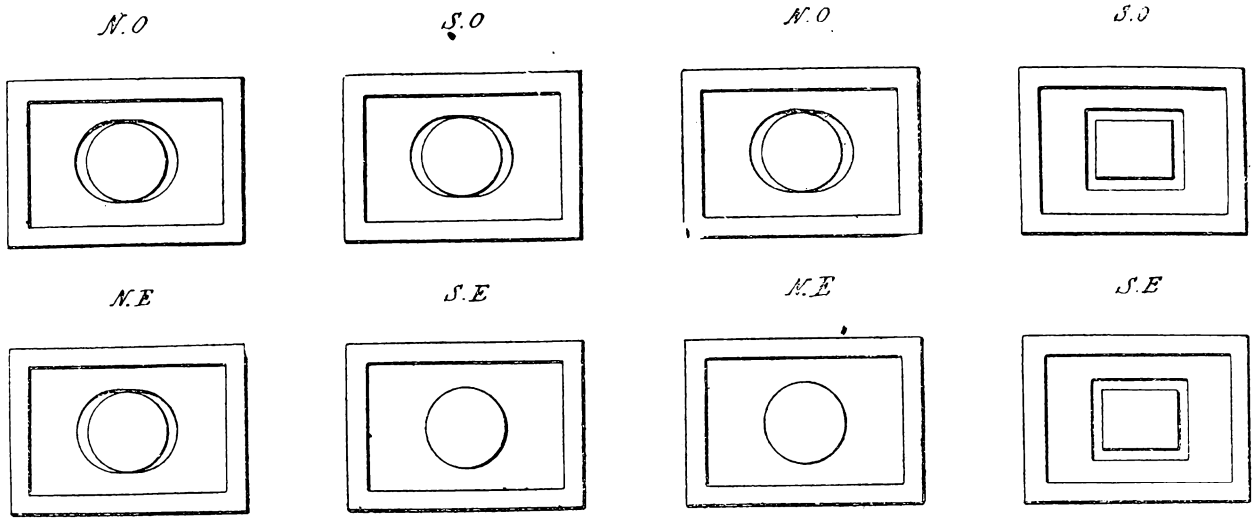


Fig. 918.

poids formidable transmis par les consoles, et comment on a pu satisfaire aux exigences des mouvements produits par les variations de la température dans des travées dont la longueur est supérieure à 500 mètres.

En nous reportant à la figure 440, représentant l'ensemble du pont, et en ajoutant que chaque console repose sur quatre piles distinctes, on voit que, le pont étant symétrique par rapport à son milieu, il suffit d'étudier le mode de fixation d'une moitié seulement. Nous représentons, sur la figure 918, le plan des plaques placées sur les piles du milieu et sur celles d'une des rives; les quatre rectangles de gauche représentant les plaques de la pile du milieu; et ceux de droite, les plaques des piles de la rive droite; dans cette figure les lettres E, O, N et S représentent les quatre points cardinaux.

Chacune des plaques en contact avec les coussinets en granit formant les assises supérieures de la pile est composée de quatre épaisseurs de tôles superposées formant un parallélipipède de 11 mètres de longueur, $5^{m},1$ de largeur et $0^{m},100$ d'épaisseur et pesant environ 44 tonnes; ces tôles sont réunies entre elles par des rivets fraisés sur les faces supérieures et inférieures de la plaque, et sont percées de 80 trous pour le passage des boulons de scellement dont nous parlerons plus loin; cette plaque est bordée sur son pourtour par un plat rivé et forme de la sorte

une cuvette à l'intérieur de laquelle on place une huile de nature spéciale, destinée à lubréfier les parties en contact. Les deux tôles supérieures sont découpées, ainsi que l'indique la figure 919, et présentent des cavités de forme variable dans lesquelles pénètrent des saillies de forme correspondante rivées sur les tôles inférieures des consoles.

Les dimensions relatives des cavités de la plaque inférieure et des saillies de la plaque supérieure sont déterminées en vue de guider et de limiter les mouvements que le pont pourrait prendre sous l'influence des variations de la température, de la pression du vent, ou des rayons solaires agissant d'un seul côté du pont; on a pu satisfaire à ces multiples conditions de la manière suivante :

Pour la console du milieu, sur l'appui SE, la saillie de la plaque supérieure pénètre sans aucun jeu dans l'échancrure correspondante de la plaque inférieure; cette disposition permet un mouvement circulaire du pont par rapport à la pile, mais aucun mouvement transversal ni longitudinal; sur les trois autres appuis les échancrures ont la forme elliptique et permettent, par conséquent, au pont de prendre soit un mouvement circulaire, soit un mouvement longitudinal.

Pour la console de la rive droite, le mode de fixation sur les appuis NO et NE est le même que précédemment, mais sur les appuis SE et SO il est assez différent; les saillies et les échancrures ont une forme rectangulaire permettant aux mouvements longitudinaux et transversaux de se produire; il faut en effet tenir compte de ces derniers mouvements sur ces appuis, car les extrémités des consoles sont fixées sur les culées et ne doivent pas se déplacer latéralement pour que le raccordement des voies du chemin de fer puisse s'opérer sans difficultés.

Les plaques inférieures devant présenter une surface parfaitement lisse, leurs boulons de fixation ont été prolongés et passent au travers de la plaque supérieure; la figure 919 donne un exemple de la disposition employée: les deux tôles inférieures de la plaque fixe sont pressées entre une très forte rondelle appuyée sur la maçonnerie et un écrou haut qui permet de serrer le boulon lorsque la plaque supérieure est en place. Pour ne pas gêner les mouvements du pont, la plaque supérieure est percée d'échancrures analogues à celles qui servent à loger les saillies dont nous avons parlé précédemment; nous avons représenté sur la figure 918, pour chaque plaque, la forme des échancrures nécessitées par le passage des boulons. Quant au mode d'appui du pont sur ses plaques nous l'avons représenté sur les coupes transversales et longitudinales des retombées (*fig.* 831).

Articulations.

418. Les articulations des ponts consoles doivent satisfaire aux conditions suivantes:

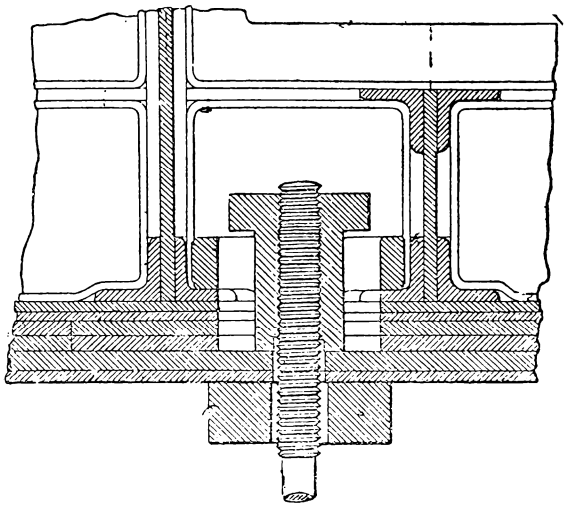


Fig. 919.

1° Permettre à la travée centrale de fléchir verticalement indépendamment des consoles qui la supportent;

2° Lui permettre de se déplacer longitudinalement ;

3° Lui permettre de fléchir horizontalement, indépendamment des consoles.

Nous donnerons, comme exemple d'articulations, celles des travées centrales du pont du Forth. Ainsi que l'indique la figure 920, la travée centrale a ses semelles supérieures terminées par une forte poutre transversale appuyée à la partie supérieure de montants obliques, qui reposent à l'extrémité des semelles inférieures des consoles et qui portent à leurs deux bouts des plaques sphériques

permettant un mouvement de genouillère; ces montants donnent à la travée centrale, la possibilité de fléchir librement et satisfont à la première condition que nous avons énoncée. Pour satisfaire à la seconde les extrémités des travées centrales qui aboutissent à la console du milieu ont leurs montants à rotule reposant sur des pla-

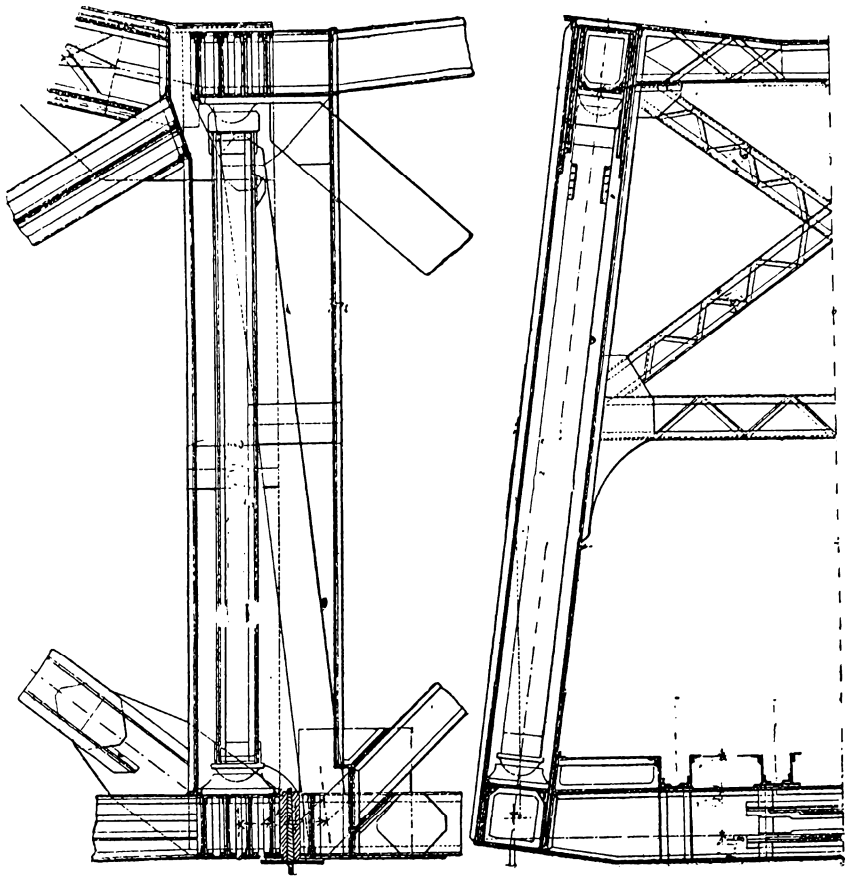


Fig. 920.

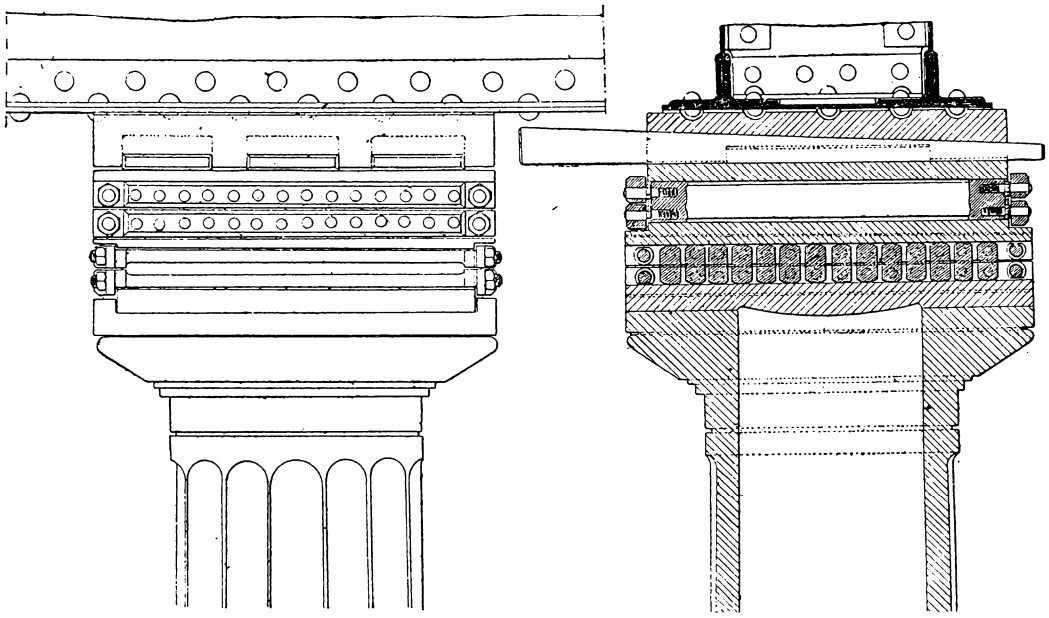


Fig. 921.

ques ordinaires à articulation avec rouleaux de dilatation ; au contraire, les extrémités qui aboutissent aux consoles de rive ont leurs montants placés dans les conditions de la figure 920, et constituent, par conséquent, des points fixes, au point de vue des déplacements horizontaux. Pour satisfaire à la troisième condition, la

dernière pièce du pont de la travée centrale porte une cheville ouvrière pénétrant dans une boîte en fonte qui peut glisser entre deux pièces de fonte fixées aux extrémités de la console du milieu ; ce mouvement de glissement est nécessaire, afin de ne pas faire obstacle à la dilatation longitudinale ; au contraire aux extrémités des consoles de rive les boîtes en fonte sont fixes.

Appareils pour ponts spéciaux.

419. Nous examinerons deux catégories de ponts qui nécessitent l'emploi d'appareils spéciaux ; les ponts pour routes de grande largeur et les ponts en pente.

Dans les ponts pour routes de grande largeur, il est nécessaire de tenir compte de la dilatation, non seulement suivant la longueur des poutres, mais encore dans le sens transversal ; à cet effet les plaques

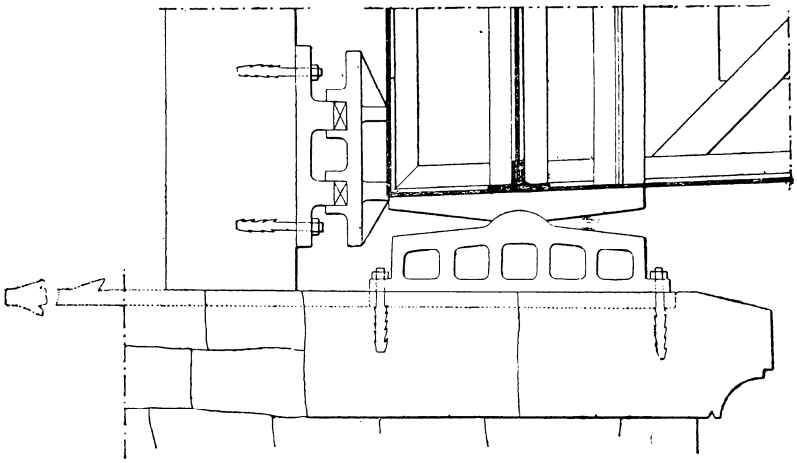


Fig. 922.

reposent sur deux chariots de dilatation placés à angle droit et permettant les

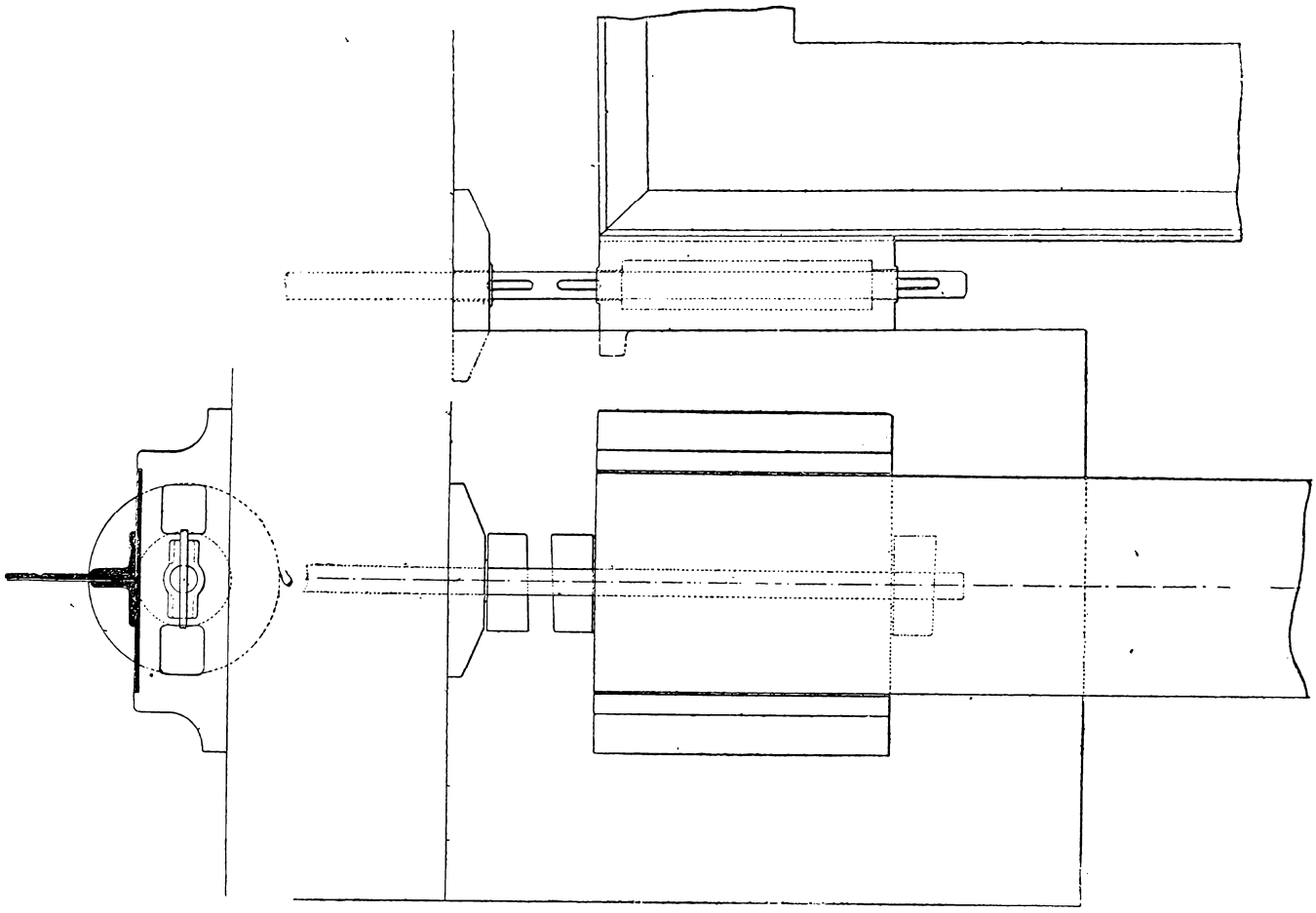


Fig. 923.

deux mouvements en question. Nous donnons sur la figure 921 l'élévation et la coupe tranversale des plaques sur colonnes du pont Brémontier, sur le chemin de fer de ceinture ; ces plaques placées sur un appui intermédiaire sont munies de clavettes de réglage.

Dans les ponts en pente, les maçonne-

ries doivent résister à un effort horizontal qui est la composante horizontale du poids du pont; et comme elles ne peuvent résister qu'à des efforts de compression, le pont doit être fixé sur la culée basse, le mouvement de dilatation se produisant sur les autres appuis. Nous donnons sur la figure 922 l'extrémité du pont Caulaincourt à Paris; le panneau plein repose sur une plaque à rotule, la plaque inférieure est fixée aux sommiers d'appui et ancrée dans la culée au moyen d'un long tirant scellé. La face verticale de l'extrémité des poutres porte une plaque qui s'emboite dans une plaque correspondante, scellée dans le retour vertical de la culée.

Quelquefois la plaque d'appui est traversée par la tige d'ancrage qui porte quatre trous allongés dans lesquels on chasse des clavettes; pour intéresser toute la largeur de la culée on se sert de grandes rondelles appliquées contre les maçonneries au moyen de clavettes. Nous donnons sur la figure 923 un exemple de la disposition qui a été appliquée au pont sur le Bou Hamdam, en Algérie.

§ X. — *PLANCHERS DES PONTS DE CHEMIN DE FER ET DES PONTS POUR ROUTES*

120. Dans les premiers ponts métalliques le plancher était formé exclusivement de pièces de bois, mais on a vite reconnu que cette matière, quoique d'un usage simple et commode, présentait bien des inconvénients à cause de sa faible durée, qu'elle nécessitait de fréquentes réparations et causait, par suite, des difficultés au trafic; aussi, depuis, le bois a été souvent remplacé par des matériaux plus durables tels que la fonte, le fer et la pierre. Comme les dispositions employées pour les planchers des ponts dépendent principalement de la nature des matériaux mis en œuvre, ces derniers nous serviront de classification.

I. — PONTS POUR ROUTES

I. — Bois

121. Le plancher en bois est admissible seulement pour les ponts pour routes de faible trafic, parce qu'il s'use vivement. Les madriers composant ce plancher doivent être disposés perpendiculairement à l'axe du pont, parce que dans cette direction les fibres de bois sont moins exposées à être arrachées. Pour les ponts routes peu fréquentés on peut se contenter d'une seule couche de madriers ayant de 8 à 15 centimètres d'épaisseur (*fig.* 924), tandis que pour les ponts ayant à supporter un grand mouvement de voitures il est préférable de composer le plancher de deux couches, dont l'inférieure, destinée à porter les charges, est composée de gros madriers disposés soit normalement, soit longitudinalement, selon la forme de l'ossature métallique, et la couche supérieure ayant à supporter l'usure, est formée de planches de 4 à 6 centimètres d'épaisseur (*fig.* 925). Cette disposition présente outre l'avantage d'être économique, puisque dans le cas d'usure on ne change qu'une couche de planches minces, celui de répartir les charges sur plusieurs madriers ; de plus, quand les planches supérieures sont disposées en biais, le plancher présente une grande résistance aux efforts transversaux, et, dans bien des cas, peut remplacer avantageusement le contreventement.

Pour faciliter l'écoulement de l'eau il est indispensable d'écarter les pièces de bois de 1 à 3 centimètres. Quand les madriers supportent une couche d'empierrement, il est bon, pour les garantir de