Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 77 (1951)

Heft: 3

Artikel: Le nouveau pont portique de manutention des houilles de l'usine à gaz de Genève

Autor: Chevalley, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-58143

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

77e année 10 février 1951 N° 3

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Abonnements:
Suisse: 1 an, 24 francs
Etranger: 28 francs
Pour sociétaires:
Suisse: 1 an, 20 francs
Etranger: 25 francs
Pour les abonnements s'adresser à:
Administration du « Bulletin technique de la Suisse romande », Case postale Riponne 21, Lausanne
Compte de chèques postaux II. 5775, à Lausanne
Prix du numéro: Fr. 1,40

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitaux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. P. Joye, professeur; E. Lateltin, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; A. Paris, ingénieur; Ch, Thévenaz, architecte — Genève: MM. L. Archinard, ingénieur; Cl. Grosgurin, architecte; E. Martin, architecte; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; G. Furter, ingénieur; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. J. Dubuis, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration de la Société anonyme du Bulletin Technique: A. Stucky, ingénieur, président; M. Bridel; G. Epitaux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces
Le millimètre (larg. 47 mm) 20 cts
Réclames: 60 cts le mm (largeur 95 mm)
Rabais pour annonces répétées
Annonces Suisses S.A.
5, Rue Centrale Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE: *Le nouveau pont portique de manutention des houilles de l'usine à gaz de Genève*, par A. Chevalley, ingénieur en chef de la Maison Giovanola Frères S. A., à Monthey. — *De la pratique des calculs de compensation*, par A. Ansermet, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne. — Société suisse des ingénieurs et des architectes: *Extrait du procès-verbal de la séance du 8 décembre 1950 du Comité central.* — Service de Placement. — Nouveautés, Informations diverses: *Revêtement de plafonds et de toits avec les plaques Vetroflex.*

LE NOUVEAU PONT PORTIQUE DE MANUTENTION DES HOUILLES DE L'USINE A GAZ DE GENÈVE

par A. CHEVALLEY, ingénieur en chef
de la Maison Giovanola Frères S. A., à Monthey

Nous nous proposons dans cet article, de décrire plus spécialement la charpente métallique de ce portique qui présente quelques dispositions de nature à intéresser les lecteurs du *Bulletin technique de la Suisse romande.*

Depuis sa création en 1914[1] jusque dans le courant de 1949, l'usine à gaz de Genève ne disposait pas de moyen mécanique pour le déchargement des houilles; de plus les magasins étaient prévus pour stoker seulement 12 000 t.

Il a fallu donc lier la question de construction d'un nouveau parc à charbon à celle du déchargement des wagons par des moyens mécaniques. Les nouvelles constructions ne devaient en aucun cas gêner l'exploitation.

A cet effet, le nouveau parc à charbon, prévu pour stocker 30 000 t. de houille a été aménagé sur une parcelle de terrain, cédée par la Ville de Genève au Service du Gaz, longeant le parc à charbon existant, et desservie par l'embranchement industriel. Pour des raisons d'économie, le parc n'est pas couvert.

La figure 1 donne à petite échelle la nouvelle disposition du parc à charbon qui peut être facilement agrandi du côté ouest.

Le parc à houille est desservi par un pont portique qui l'enjambe.

[1] Les quelques renseignements généraux donnés en tête de cet article ont été puisés dans l'article de M. J. Kern, ing., directeur du Service du Gaz de Genève, paru dans le *Bulletin mensuel de la Société suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux*, N° 2 de 1949. Nous remercions ici M. *J. Kern*, d'avoir bien voulu nous permettre d'utiliser son travail.

La portée entre axes des voies de roulement est de 63 m.

Le pont présente en outre un porte-à-faux de 22,50 m côté usine, au-dessus des voies de chemin de fer et un porte-à-faux de 5 m du côté opposé. Le pont est surmonté d'une grue pivotante avec benne preneuse d'une capacité de 3,20 m³.

La figure 2 donne la disposition générale du pont portique.

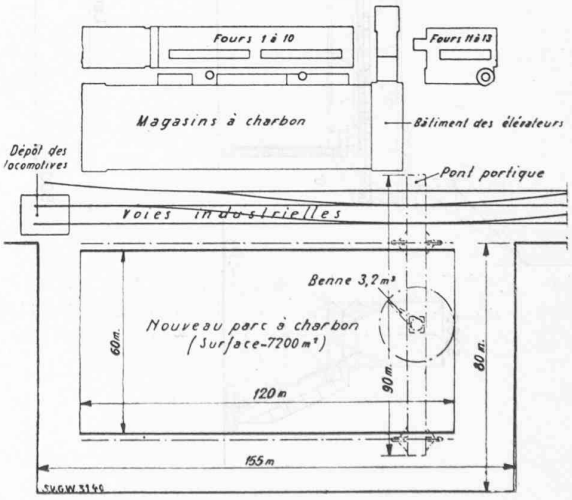


Fig. 1. — Disposition du nouveau parc à charbon de l'usine à gaz de Genève.

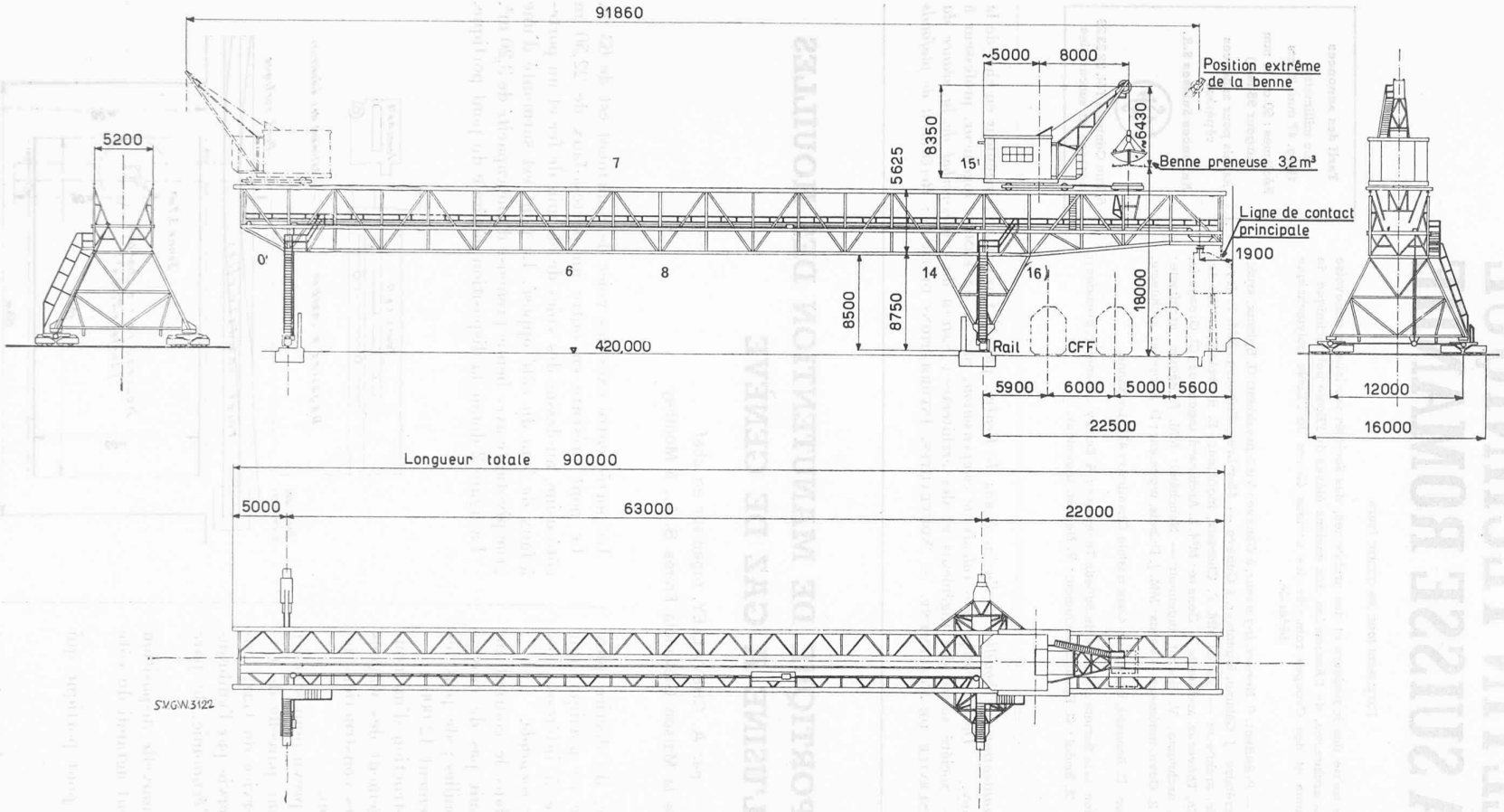


Fig. 2.
Disposition générale du nouveau pont portique.

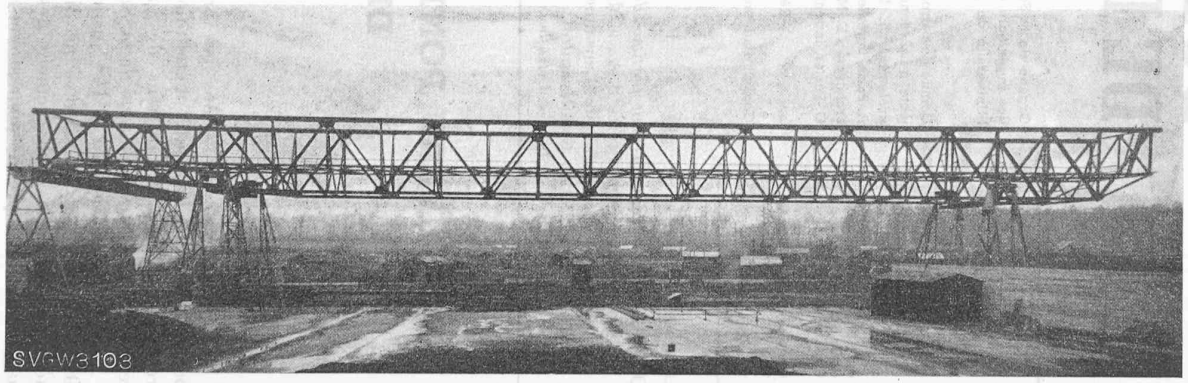


Fig. 9.
Levage du tablier sur pylônes provisoires

L'ensemble du pont portique permet les opérations indiquées ci-dessous :

1° Prendre le charbon sur les wagons de chemin de fer et le décharger en un point quelconque du parc à charbon.

2° Reprendre le charbon du parc et l'amener à un transporteur longitudinal permettant d'amener le charbon aux installations de l'usine proprement dite.

Pour ces opérations le portique est muni, outre la grue pivotante, des appareils suivants :

a) une trémie de 20 m³ de contenance environ accouplée au chariot de la grue pivotante et roulant sur la même voie, y compris un distributeur,

b) un tapis roulant qui règne sur toute la longueur du pont,

c) un chariot déverseur du tapis roulant,

d) une trémie fixe à l'extrémité côté usine du portique pour la remise du charbon au transporteur longitudinal de l'usine.

Le tapis roulant sur le portique roule dans le sens sud-nord pour le déchargement sur le parc et dans le sens nord-sud pour le transport parc usine.

On remarque tout de suite que les déplacements de la grue pivotantes sont peu importants ; pendant le déchargement d'un wagon, par exemple, la benne ne fait que prendre le charbon du wagon pour le vider dans la trémie principale. De ce fait le débit est de 100 t et plus par heure, alors que si l'on utilise seulement la grue, sans le tapis roulant, le débit tombe à 30 t par heure environ.

La charpente de l'ouvrage doit s'adapter à la disposition générale et aux engiens mécaniques indiqués ci-dessus.

De façon à réserver la place nécessaire à la trémie principale et au tapis roulant, la coupe transversale du tablier se présente comme une forme en U et offre une certaine analogie avec la coupe transversale d'un pont à voie ou chaussée inférieure.

Les membrures supérieures ne peuvent donc pas être reliées par un plan de contreventement.

Les caractéristiques de la charpente sont les suivantes :

Longueur totale	90 m.
Hauteur théorique des poutres principales . .	5,625 m.
Hauteur totale, y compris les rails de la grue pivotante fixés directement sur les membrures supérieures	5,963 m.

La hauteur théorique des poutres principales est réduite de 5625 à 4500 mm dans le porte-à-faux côté usine, entre la palée fixe et le dernier panneau du treillis.

Le schéma des poutres principales est formé de vingt panneaux de 4,2 m et d'un panneau d'extrémité côté usine de 4,8 m. L'écartement des poutres principales est de 5,2 m d'axe en axe. Une palée fixe, avec montants principaux inclinés symétriquement, se trouve au-dessus de la voie côté usine et une palée articulée au droit de la voie opposée.

La hauteur entre le rail de roulement du portique et la membrure inférieure du tablier est au minimum de 8,62 m.

C'est donc pratiquement la hauteur maximum que peuvent avoir les tas de houille.

Les palées prennent appui sur les bogies par des tourillons principaux qui sont écartés de 12 m ; la largeur totale des palées, bogies compris, est d'environ 16 m.

La voie de roulement de la grue pivotante est située à une hauteur de 14,583 m au-dessus des rails du portique.

Chaque palée repose sur huit galets de 700 mm de diamètre ; les huit galets de la palée fixe sont commandés et seulement quatre dans la palée articulée.

Fig. 3. — Vue en bout du pont lors des essais. [1]

Le portique peut être soulevé en deux points de la traverse inférieure de chaque palée, ceci pour permettre un démontage et une révision facile des bogies.

En outre, de puissants verrous verticaux peuvent venir se fixer dans des logements prévus à cet effet, dans les voies de roulement, ceci pour éviter la mise en marche du portique par grand vent. Les logements de verrous sont prévus en trois points également répartis sur les 120 m des voies.

Les entretoises qui réunissent les poutres principales sont à treillis ; elles sont constituées par deux membrures horizontales, l'une au droit des membrures inférieures des poutres principales et l'autre 2 m plus haut. Les entretoises sont complétées par quatre diagonales et, vers le haut, par deux consoles triangulaires formant raidissement des membrures supérieures des poutres principales.

Ces consoles laissent entre elles un espace libre sur la membrure supérieure des entretoises de 2,6 m environ. Cet espace est occupé par le tapis roulant et par une passerelle de service.

La figure 3, prise au cours des essais de résistance, montre bien la disposition du portique en coupe transversale. Aux extrémités du portique, des entretoises à treillis occupent la hauteur complète des poutres principales. Le plan de contreventement aurait pu se placer dans le plan des membrures inférieures des poutres principales ; on a toutefois préféré placer ce contreventement le plus haut possible, soit au droit des membrures supérieures des entretoises ; ceci pour plusieurs raisons. En premier lieu, ce plan se trouve ainsi le plus près possible de la résultante des forces horizontales. La deuxième raison est que les diagonales du contreventement sont ainsi moins exposées aux chocs des blocs de houille qui tombent du chariot déverseur. Bien qu'en général la houille soit relativement assez fine, il arrive que l'on trouve des morceaux de 60 cm de côté.

En plaçant le plan du contreventement à la hauteur du tapis roulant, il était nécessaire de prévoir deux membrures supplémentaires.

Ces membrures de contreventement sont disposées en dehors des poutres principales, à l'écartement de 5,57 m entre leurs axes au lieu de 5,2 m qui est l'écartement des poutres principales. L'ensemble de la charpente est complété par des échelles, escaliers, podiums nécessaires.

Tous les assemblages, aussi bien en atelier qu'au montage

[1] Photographie *A. Détraz*, Genève, ainsi que les fig. 5, 7, 8, 10, 11 et 12.

Fig. 4. — Passage d'une diagonale de poutre principale au travers du plan de contreventement.

sont soudés à l'arc électrique. Sauf erreur de notre part l'ouvrage est le plus grand pont portique entièrement soudé d'Europe. La construction soudée a permis une économie de poids de l'ordre de 25 %.

Charges et surcharges

Les charges uniformément réparties sont les suivantes :

a) Poids propre du tablier au total	env.	140 t
b) Tapis roulant et passerelle, y compris transmission	env.	30 t
c) Surcharge fixe du mécanisme de transmission situé dans le onzième panneau à partir de la palée articulée	env.	2 t

Les surcharges mobiles sont :

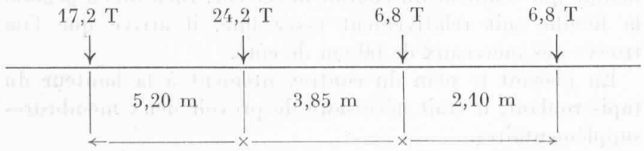
a) La grue pivotante	env.	56 t
b) La trémie principale	env.	20 t
c) Le chariot déverseur	env.	2 t

L'effort du vent a été compté à 50 kg par m² pour le portique en service normal et 150 kg par m² pour le portique hors service.

De plus, il a été tenu compte d'un effort transversal de 2 t par galet de la grue pivotante et d'un effort longitudinal de 5 t sur chacune des deux butées à ressorts qui limitent la course du convoi formé par la grue pivotante et la trémie principale.

Une majoration de 26 % a été appliquée aux surcharges mobiles pour tenir compte des effets dynamiques.

En définitive les surcharges mobiles de la grue et de la trémie principale, y compris la majoration de 26 %, se traduisent, pour une seule poutre principale, par le convoi suivant :



Pour le calcul on a compté que la dernière charge de 6,8 t de la trémie pourrait être placée au droit du montant extrême côté usine, en réalité des butées empêchent le convoi d'aller jusque dans cette position.

Il y a lieu de remarquer que dans notre cas les surcharges sont toujours dissymétriques ; au moment où la benne arrache sa charge de charbon ou bien la laisse tomber, les poutres

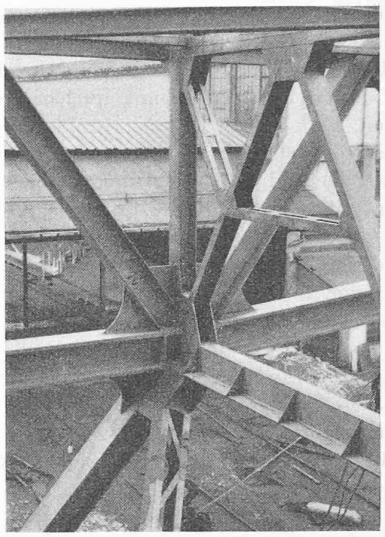


Fig. 5. — Vue du nœud nº 16.

principales sont alternativement plus ou moins sollicitées. On ne peut pas faire intervenir ici la résistance à la torsion comme c'est le cas dans un ouvrage tubulaire avec treillis sur les quatre faces (deux poutres principales et deux plans de contreventement).

Toutes les barres principales des poutres principales, des palées et du contreventement, sont formées par des poutrelles à larges ailes ; les âmes de ces poutrelles sont généralement situées dans le plan de chaque poutre. Comme nous l'avons déjà vu, les membrures supérieures forment voie de roulement de la grue pivotante. A cet effet, ces membrures sont composées d'une poutrelle renforcée DIR sur laquelle a été soudé le rail de roulement. Comme pour tous les assemblages principaux, ces rails ont leurs joints soudés à cœur. Le calcul tient compte de la section complète poutrelle et rail.

Plusieurs difficultés de soudure étaient à surmonter. Les poutrelles à larges ailes utilisées ont une proportion de carbone très basse 0,06 à 0,08 % alors que l'acier des rails, sensiblement plus dur, comporte au moins 0,25 % de carbone. Les deux sortes d'acier ont été soudées sans qu'aucun mécompte se soit produit, mais en prenant les précautions indispensables suivantes : Une fois les poutres principales entièrement soudées, on a placé le premier rail dans la partie centrale, puis de part et d'autre de ce premier tronçon les pièces nécessaires, en ayant soin de serrer fortement rail et poutrelles. En premier lieu était soudé le joint de rail puis, depuis ce joint, on exécutait les soudures latérales jusqu'au joint suivant. La contraction qui se fait toujours dans les joints pouvait donc librement se produire, sans provoquer des tensions inadmissibles dans les membrures. Les joints des rails ont été soudés d'après les méthodes éprouvées et très semblables à celles qui sont appliquées aux soudures des rails de chemin de fer. Les extrémités des rails étaient simplement placées à 15 à 18 mm l'une de l'autre et le joint réalisé directement par soudure ininterrompue dans cet espace.

Toute une série de barres secondaires, comme les membrures d'entretoises, sont formées de tubes étanches réalisés au moyen de deux fers U soudés par l'extrémité de leurs ailes.

Les diagonales des poutres principales sont des barres relativement très longues (env. 7,3 m) ; leur résistance au

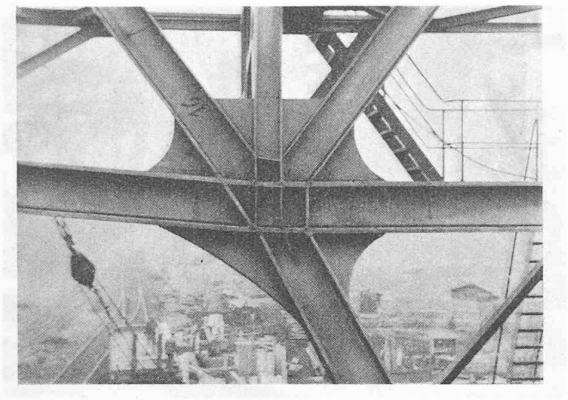


Fig. 6. — Nœud nº 16, côté extérieur.

flambage est suffisante dans le plan des poutres, mais non dans le sens latéral ; aussi toutes les diagonales sont-elles maintenues latéralement au point où elles traversent le plan de contreventement, ce qui ramène la longueur de flambage à 4,5 m environ.

Il est à remarquer que, pour ne pas fausser le jeu des forces dans les poutres principales, les diagonales ne sont pas soudées au plan de contreventement, mais simplement guindées latéralement entre la membrure de contreventement passant à l'extérieur, et une barre secondaire placée à l'intérieur. (fig. 4.)

Etant donné les hauteurs des poutres à treillis, peu de soudures pouvaient être exécutées en atelier, en fait toutes les soudures les plus importantes ont été faites au montage.

De façon à réduire le plus possible les joints des membrures, celles-ci avaient une longueur d'environ 25 m. Certains nœuds présentaient jusqu'à dix à douze barres issues d'un même point et situées dans divers plans (fig. 5) ; toutes les barres principales sont exactement centrées sur le point théorique du schéma.

Nous avons veillé tout spécialement à ce que, dans les nœuds, les lignes de force puissent se poursuivre harmonieusement sans provoquer des flexions secondaires ou des concentrations de forces inadmissibles. (Voir exemple de la fig. 6.)

D'autre part, dans tous les points où de la poussière de charbon humide aurait pu s'accumuler, et où il aurait été difficile de l'enlever, il a été prévu des tôles de fermeture soudées étanches, de façon à réduire autant que possible les risques d'attaque par la rouille et à faciliter l'entretien.

Les figures 7 et 8 présentent les palées fixes et articulées au cours de leur montage.

Il nous reste à donner quelques indications sur le montage et les essais préliminaires de résistance.

Montage

L'emplacement qui pouvait être mis à disposition pour le montage se trouvait à l'extrémité ouest du parc à charbon et en dehors de celui-ci, mais toutes les voies de service devaient rester libres. Il fallait donc prévoir d'emblée deux ripages de la charpente terminée. Un premier ripage de 19 m environ pour amener le portique au-dessus des voies et un deuxième ripage latéral pour le placer au-dessus de ses voies, le long du parc à charbon. Toutes ces voies de ripage ont dû être établies très soignueusement, le terrain marneux ayant une capacité de charge très faible.

Le montage proprement dit s'est fait de la manière suivante :

Le tablier du portique a été monté directement sur calages au niveau du sol. On évitait ainsi tout échafaudage et l'on pouvait utiliser une grue de montage à portique, relativement peu élevée, d'une force de 10 t. Une fois le tablier entièrement monté et soudé, on a procédé à des essais préliminaires de résistance ; ceci avec la précieuse collaboration du Laboratoire d'essais des matériaux de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, de la direction centrale des Chemins de fer fédéraux, bureau des ponts, qui

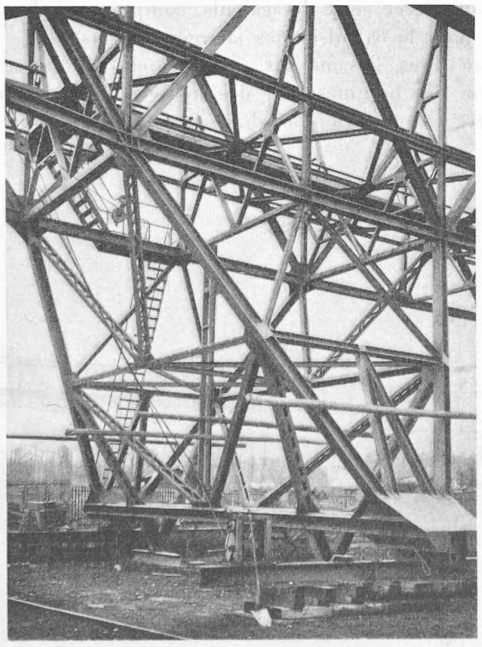


Fig. 7. — Palée fixe.

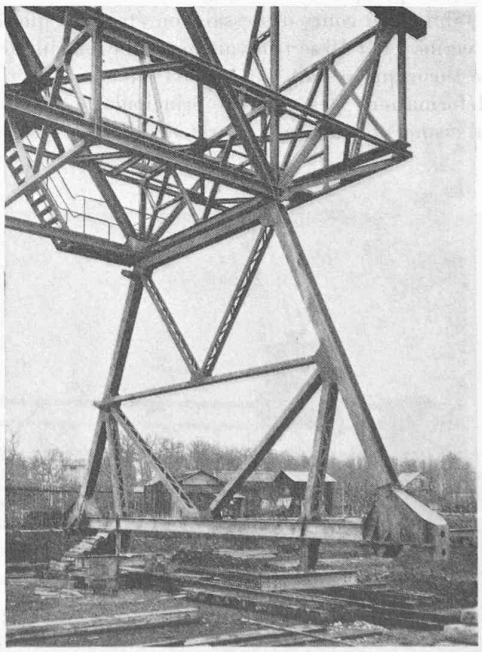


Fig. 8. — Palée articulée.

a très aimablement mis à disposition ses ingénieurs et son wagon spécial avec les instruments de mesure nécessaires. Le Laboratoire d'essais et les C. F. F. procédaient aux mesures des tensions et le personnel du constructeur aux mesures des flèches dans les diverses phases des opérations. Les essais ont duré du 25 octobre au 2 novembre 1948.

Les charges d'essais étaient constituées par des poutrelles et des paquets de tôles soigneusement pesés. Les charges étaient posées sur la membrure supérieure. Une première position de la charge était située dans la travée de 63 m dans le voisinage des nœuds 6,7'.8. Puis dans une deuxième position à l'extrémité du porte-à-faux.

La surcharge appliquée dans la première position était d'environ 128 t et dans la deuxième position environ 122 t. Ces surcharges étaient réparties sur une zone occupée approximativement par la grue pivotante et la trémie principale. Les tensions ont été contrôlées dans les barres les plus sollicitées et les goussets par environ cinquante tensomètres dans la première position et onze dans la deuxième position.

Si l'on suppose que les deux poutres principales puissent être chargées simultanément par le convoi défini plus haut, avec charges majorées pour effets dynamiques, l'ensemble aurait donné 110 t. Les essais ont donc été faits avec des surcharges environ 16 % plus fortes.

La deuxième position de la surcharge d'essai est encore sensiblement aggravée du fait que la surcharge réelle ne peut aller aussi loin que l'extrémité du porte-à-faux.

De plus, au moment de l'application de la surcharge maximum, dix hommes ont mis le tablier en vibration au moyen de mouvements rythmés.

Puisque les essais étaient faits avec le tablier au niveau du sol, les faces de la palée fixe sous les nœuds 14, 15, 16 ne pouvaient entrer en ligne de compte, mais il fallait remplacer l'action de la palée fixe par deux réactions dont la résultante devait se trouver toujours au droit du nœud 15. Les appuis au cours des essais ont donc été constitués par six vérins identiques de 100 t placés trois par trois sous les deux poutres principales aux nœuds 0, 14, 16.

Les vérins sous les nœuds 14 et 16 étaient commandés par une seule pompe. Donc malgré les déformations élastiques du tablier, au cours des essais, on était sûr que la réaction des vérins 14 et 16 se trouvait bien au droit du nœud 15 ; la portée théorique restait donc de 63 m.

Les déformations des poutres principales ont été déterminées d'*avance au moyen d'épures de Williot*. Les mesures

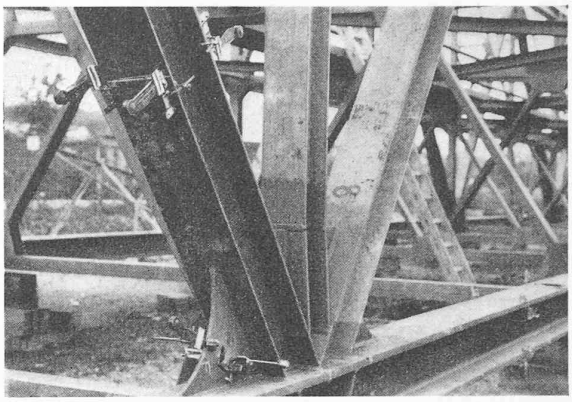


Fig. 10. — Tensomètres au voisinage du nœud n° 8.

des flèches au cours des essais ont été remarquablement concordantes. Par exemple, la flèche calculée dans la première position avec les charges réelles était de 78 mm. La flèche mesurée au cours des essais a été de 86,5 mm pour une des poutres et 86,6 mm pour l'autre.

En tenant compte de la charge de 16 % plus forte pour les essais, on aurait dû obtenir une flèche d'environ 91 mm. Cette différence s'explique par la présence de la membrure de contreventement située en dessous du centre de gravité et qui participe par une certaine tension à la résistance générale. Effectivement cette tension a été mesurée à environ 0,175 t/cm².

Pour la deuxième position de la surcharge d'essai, la correspondance entre les déformations calculées et mesurées est un peu moins bonne ; ceci s'explique facilement : dans le calcul, on tient compte des montants inclinés de la palée fixe, alors que nous ne les avions pas aux essais. Il était nécessaire de déterminer par le calcul et de vérifier l'amplitude des déformations à l'extrémité du porte-à-faux, de façon à prévoir en conséquence la ligne principale d'amenée du courant qui se trouve en ce point.

Les taux de travail aux essais ont été remarquablement concordants avec ceux des calculs, compte tenu des charges admises pour le calcul et des charges d'essais.

Comme nous l'avons dit, au moment de la surcharge maximum dix hommes, par des mouvements rythmés, ont pu mettre en vibration la charpente du portique.

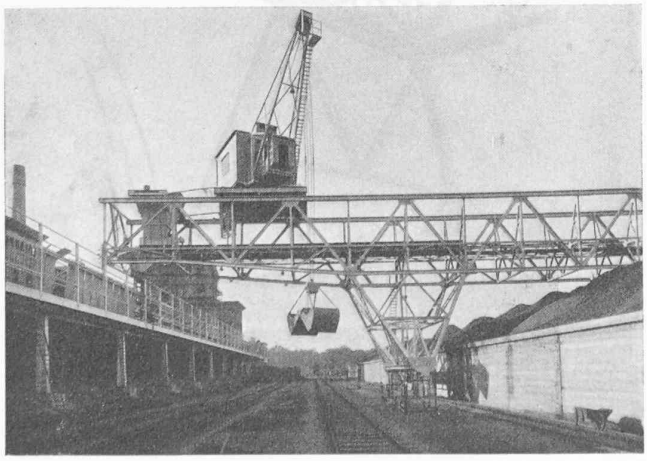


Fig. 11. — Le portique en service côté usine.

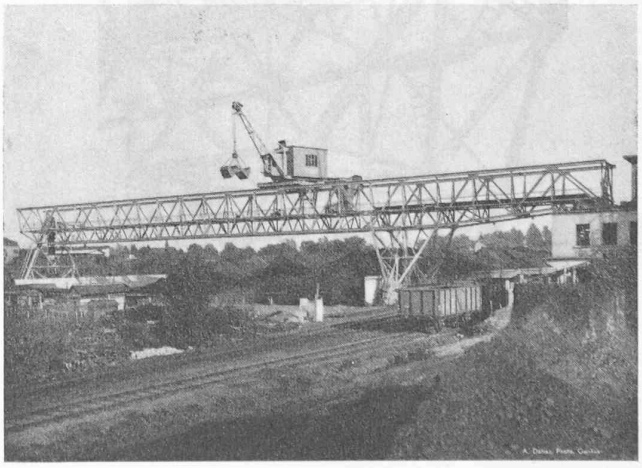


Fig. 12. — Ensemble du portique en service.

L'oscillographe enregistreur des C. F. F. a permis de constater que l'amplitude des vibrations correspondait à une surcharge en plus ou en moins de 10 t environ. La période des oscillations était d'environ 1,8 seconde, dans la position I de la surcharge ; la période semblait être un peu plus courte, de l'ordre de 1,5 seconde lors de la mise en vibration dans la position II de la surcharge (extrémité du porte-à-faux).

Nous devons ajouter encore que les appareils de mesure placés sur des goussets dans les nœuds les plus chargés n'ont donné que des taux de travail très modérés (fig. 10).

Après les essais de résistance, une inspection minutieuse des soudures n'a rien révélé d'anormal et aucune retouche n'a été nécessaire.

Une fois les essais de résistance du tablier terminés, ce dernier a été levé à la hauteur voulue pour permettre le montage des palées articulées et fixes. Ce levage a été fait au moyen de huit treuils électriques travaillant simultanément, frappés à la base de quatre pylônes doubles, de section triangulaire ; les moufles de ces treuils étaient fixés à la partie supérieure des pylônes et à une traverse passant sous le tablier.

Le levage se faisait au droit des nœuds 2 et 17, c'est-à-dire en dehors des points d'attaches des palées.

L'opération de levage a été faite en présence de la Section de Genève de la Société des ingénieurs et architectes et a duré environ quarante minutes (fig 9). Une fois la hauteur nécessaire atteinte, les traverses porteuses du tablier étaient fixées aux pylônes de levage par des boulons. Dès lors il ne restait plus qu'à monter les palées, à les souder et à placer le portique à l'extémité de la voie de roulement, afin de procéder à la mise en place de tous les organes mécaniques.

Les deux ripages, longitudinal et transversal, se sont faits par glissement sur des voies appropriées et sans aucune difficulté.

Pour cela il a fallu naturellement rendre provisoirement rigide la palée articulée, au moyen d'une contrefiche, reliant la partie inférieure de la palée, avec un des nœuds inférieurs des deux poutres principales.

La charpente que nous venons de décrire est une nouvelle preuve des avantages considérables que la soudure électrique permet d'obtenir dans le domaine des constructions métalliques.

Le portique est en service depuis 1949 et donne entière satisfaction (fig. 11 et 12).

Je remercie ici très vivement le Laboratoire d'essais des matériaux de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et son directeur, M. le professeur A. Dumas, ainsi que la Direction des Chemins de fer fédéraux, pour l'aide indispensable qu'ils nous ont apportée lors des essais de résistance de cet ouvrage.

Je remercie aussi les Services industriels de Genève qui ont bien voulu participer aux frais, assez élevés, exigés par ces essais, le reste étant à la charge des constructeurs.

Monthey, le 15 décembre 1950.

DE LA PRATIQUE DES CALCULS DE COMPENSATION

par A. ANSERMET, ingénieur, professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne

Des problèmes de compensation se présentent dans la plupart des domaines de la technique. Il s'agit de déterminer des inconnues en effectuant des mesures ou observations en surnombre. Les équations qui sont à la base de ces calculs sont bien connues (voir par exemple *Bulletin technique 1959*, p. 74) :

$$(1) \quad L_i + v_i = f_i(x, y, z, \ldots) \quad (i = 1, 2, 3, \ldots n)$$

où $x, y, z \ldots$ sont les éléments inconnus au nombre de u $(n > u)$; cette surdétermination est à la fois gênante et nécessaire, mais en général elle est voulue. Un point plus ou moins controversé est celui qui consiste à fixer, dans chaque cas, le nombre de mesures ou observations surabondantes. Des considérations d'ordre économique jouent aussi un rôle en pratique. Les quantités L_i sont donc entachées d'erreurs (erreur moyenne quadratique $\pm m_i$, poids p_i).

$$(2) \quad p_i m_i^2 = m^2 = [pvv] : (n - u).$$

En ayant recours à des valeurs provisoires ou approchées $(x_o, y_o, z_o \ldots)$ et en posant : $x = x_o + dx$, $y = y_o + dy$, $z = z_o + dz \ldots$ on obtient, suivant la convention admise pour les signes :

$$(3) \quad -l_i + v_i = a_i dx + b_i dy + c_i dz \ldots \text{ ou } + l_i + v_i = \\ = a_i dx + b_i dy + c_i dz \ldots$$

En pratique l'emploi de valeurs provisoires $x_o, y_o, z_o \ldots$ est recommandé même si les équations initiales (1) ont déjà une forme linéaire ; les avantages de ce mode de calcul sont multiples. Les termes l_i jouent le même rôle que les L_i en compensation. On peut choisir les $x_o, y_o, z_o, \ldots$ de manière à rendre nuls jusqu'à u termes l_i.

Il peut y avoir avantage (par exemple si $u = n - 1$) à éliminer les éléments inconnus. Seules subsistent $(n - u)$ équations en l_i et v_i.

La condition de l'extrêmum peut revêtir diverses formes :

$$(4) \quad [pav] = [pbv] = [pcv] = \ldots = 0$$

$$([\ldots] = \sum(\ldots) = \text{somme})$$

donc en tout $(n + u)$ équations entre les $dx, dy, dz \ldots$ et les v_i $(i = 1,2 \ldots n)$; en combinant les équations (3) et (4) on obtient les équations dites normales, à u inconnues, dont les coefficients sont $[paa], [pbb], [pcc] \ldots [pab], [pac], [pbc] \ldots$ (voir [1], [2]). Les termes absolus de ces équations sont $[pal], [pbl], [pcl] \ldots$

Solution indéterminée des équations normales

Cette solution est intéressante ; elle permet de calculer les poids des inconnues avant de déterminer ces inconnues elles-mêmes ([2] p. 297).

$$(5) \quad \begin{cases} dx = [pal]q_{11} + [pbl]q_{12} + [pcl]q_{13} + \ldots = [\alpha l] \\ dy = [pal]q_{21} + [pbl]q_{22} + [pcl]q_{23} + \ldots = [\beta l] \\ dz = [pal]q_{31} + [pbl]q_{32} + [pcl]q_{33} + \ldots = [\gamma l] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$

où

$$(6) \quad \begin{cases} 1 = [paa]q_{11} + [pab]q_{12} + [pac]q_{13} + \ldots \\ 0 = [pba]q_{11} + [pbb]q_{12} + [pbc]q_{13} + \ldots \\ 0 = [pca]q_{11} + [pcb]q_{12} + [pcc]q_{13} + \ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{cases}$$