

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 29 (1903)
Heft: 24

Artikel: Programme d'un cours sur les ponts mobiles
Autor: Gaudard, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-23525>

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: 22.02.2026

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

Programme d'un cours sur les ponts mobiles.

Par M. J. GAUDARD, ingénieur,

Ancien élève de l'Ecole Centrale de Paris.
Professeur honoraire de l'Université de Lausanne.
Professeur ordinaire de 1865-1901.

(Suite et fin)¹.

Ponts à axe de rotation horizontal.

Les *ponts à bascule* ont leur volée équilibrée par une culasse, qui descend lorsque la volée se redresse en position à peu près verticale, pour dégager la passe. Les *ponts-levis* ont un système d'équilibrage partant d'une potence supérieure. On reproche à ces tabliers élevés de donner prise au vent ; aussi, pour peu que la portée augmente, partage-t-on l'ouvrage en deux parties identiques, quitte à doubler l'équipe préposée aux manœuvres. Cela offre l'avantage de former une barrière de garde sur chaque rive. Au point de vue de la navigation à voiles, les vergues de navire peuvent parfois s'accrocher au pont ; mais, d'autre part, le système n'empiète pas sur le dehors, tandis qu'un pont tournant vient sabrer une surface fluviale ou maritime où des navires peuvent se trouver engagés.

Il existe des ouvrages doués seulement d'un mouvement de bascule faible ou incomplet, qui suffit au passage de bateaux bas. Ainsi, à la *Joliette*, à Marseille, le pont est tournant ; mais la presse qui soulève son pivot peut au besoin amplifier sa course jusqu'à 0^m,90 et relever ainsi de 2^m,95 l'extrémité de la volée, la culasse lestée traînant sur le sol. Il en résulte une hauteur libre de 4^m,25 au dessus de l'eau, sans qu'il soit nécessaire de tourner le pont, si ce n'est pour les gros bâtiments. L'eau consommée à l'ascension est récupérée à la descente ; toutefois, cette complexité de mouvements n'a pas trouvé d'imitateurs et ne fait gagner que deux minutes par rapport à la durée d'une rotation.

A *Liverpool*, l'Aérien électrique a des ponts tournants qui ne s'ouvrent que la nuit, mais dont les doubles cantilevers, à profil triangulaire, laisseraient passage aux chandlars, si ce passage ne se trouvait barré lui-même par un tablier inférieur pour chaussée, suspendu au centre au bec des cantilevers et articulé à l'enracinement vers la culée. C'est donc ce tablier inférieur qui forme deux ponts-levis et vient se replier, par des manœuvres fréquentes, sous les consoles du pont tournant.

Le *pont oscillant de Hambourg* n'a, non plus, point de culasse. L'une des extrémités est simplement soulevée de 2 m., l'autre ne fait que pivoter sur le bajoyer. Il y a trois presses de soulèvement, dont les deux latérales tiennent l'ouvrage en équilibre constant avec un accumulateur ; la presse centrale seule consomme de l'eau dans les manœuvres.

Un pont-basculé ordinaire a son tablier équilibré par une culasse qui évolue dans une chambre ou un puits inférieur ayant la forme d'un quart de cercle, mais qu'il n'est pas toujours facile de rendre étanche. Les anciens ponts en bois de *Lamblardie* s'épaulaient d'une contre-fiche articulée, qui venait s'appuyer à la culée, puis s'en dégageait toute seule et restait suspendue à la volée en levage. Le mouvement s'opérait, non sur tourillons, mais par des surfaces roulantes et dentées, engrenant sur le bajoyer ; ce roulement avait pour but, en produisant un certain recul, de ménager un passage aux haleurs.

Nous voyons donc que l'axe de rotation n'est pas nécessairement fixe : ce peut être un axe instantané mobile. D'autre part, de même que pour les ponts-levis des anciennes forteresses, les systèmes d'équilibrage suscitent des problèmes et ont éveillé l'ingéniosité des inventeurs. Il peut y avoir des conditions spéciales, par exemple si la culasse vient plonger dans l'eau. *Browne*, au lieu de chercher à réaliser l'équilibre constant, reliait à la culasse un contrepoids mobile, passant sur poulie de renvoi, de façon à ménager une force accélératrice à l'origine du mouvement, et retardatrice à la fin.

A *Milwaukee*, 16^{me} rue¹, le tablier est encore soutenu par une jambe inclinée, mais qui reste articulée à ses deux extrémités, ensorte que le point soutenu est astreint à se mouvoir en arc de cercle. Alors l'arrière du tablier repose sur un galet, susceptible de coulisser sur un guide courbe et descendant, calculé de façon à faire décrire au centre de gravité général un chemin horizontal. Ainsi, point d'axe fixe ; l'axe instantané est fictif et variable.

Au système de *Béïdor* se rattacherait les ponts-levis équilibrés du chemin de fer de l'*Erie et du Chicago and Northern Pacific*, donnés dans le tome XXX du Génie Civil. Les contrepoids cheminent sur la concavité de guides elliptiques, et leur câble va soutenir le tablier après passage sur poulie de renvoi au faite du pilier. Le treuil de manœuvre a cependant à vaincre, outre le frottement, un certain surplus de poids laissé intentionnellement au tablier.

Ce surplus de poids peut exiger une machine de manœuvre, et cela rend moins importante l'imitation de systèmes plus délicats, tels que celui de *Poncelet*, où le contrepoids lui-même, formé de chaînes lourdes suspendues par leur bout inférieur, ou de masselottes se déposant successivement les unes sur les autres, devient variable dans sa partie agissante.

Il y avait encore les ponts-levis à la *Derché* : la chaîne d'un contrepoids se déroulait de la gorge d'une poulie en spirale, tandis que celle de relevage du tablier s'enroulait sur une poulie de rayon constant montée sur le même axe.

Le roulement sur le bajoyer se trouve appliqué au pont-levis électrique de la *Van Buren Street*, à Chicago², ainsi qu'aux ponts établis à Chicago par *M. Scherzer*, sur le modèle d'un pont à Boston³. Chaque demi-travée bascule sur des flasques circulaires ou sur des secteurs oscil-

¹ *Génie Civil*, tome XXVI, page 369.

² *Génie Civil*, tome XXVI, page 337.

³ *Génie Civil*, tome XXXVII, page 29, et tome XL, page 148.

¹ Voir N° du 10 décembre 1903, page 329.

lants, de telle sorte que toutes les parties décrivent des courbes cycloïdales. Il y a en outre un prolongement qui vient s'appuyer sur l'extrémité des poutres fixes d'approche, afin de contrebalancer le porte-à-faux du pont fermé. Les semelles sont munies de bossages qui viennent successivement pénétrer dans des trous d'épaisses plaques faisant chemin de roulement. Les ponts de ce genre sont susceptibles de se couper en tranches indépendantes, placées en recul successif, seule façon d'adapter le système de bascule à un ouvrage biais. Avec un moteur électrique, on ouvre ou ferme en une demi-minute, verrouillage compris.

Dans le pont pliant de M. Harmont, à Chicago¹, chaque demi-tablier, levé par des câbles passant sur potence supérieure, se brise en deux parties assemblées à charnières et se replie en forme de V renversé, de façon à barrer la route en formant portes de garde. Pour la manœuvre, deux piles métalliques soutiennent les poulies de contrepoids, dont le câble va ensuite passer sur une came de forme appropriée. Un homme suffit à la manœuvre par arc denté.

Sans avoir de culasse, un tablier en bascule peut être équilibré par des chaînes passant sur poulie au sommet d'un haut pilier, et redescendant soutenir un contrepoids; mais il faut alors un point d'appui à l'extrémité de la volée. A *Newton Creek*², les extrémités libres des deux volées viennent reposer sur des colonnes mobiles, susceptibles de se rabattre sur le lit de la rivière. Le mouvement est donné en saisissant la poutre, vers son point d'origine, au-dessus de l'articulation, par l'intermédiaire d'une bielle oscillante que vient actionner un piston hydraulique. Il y a à vaincre l'excès de pesée du pont fermé.

Un type nouveau, dû à M. Page, est indiqué dans le tome XXXIX du *Génie Civil*, page 401. La culasse, de forme triangulaire, porte un contrepoids fixe et un contrepoids mobile, qui maintiennent l'équilibre dans toutes les positions. Ce dernier roule sur la poutre elle-même, dont la semelle supérieure offre une courbure convenable; il est retenu d'autre part par une bielle articulée à un point fixe pris en arrière, au même niveau que l'axe de rotation du pont. Les poutres sont reliées transversalement par une poutrelle en caisson qui porte à la fois le lest et la transmission électrique du mouvement aux pignons de la crémaillère de levage. Le pont est décomposé en deux parties semblables, pour 51 m. entre tourillons, offrant une voie navigable de 42^m,60 entre les poteaux de garde. Il est en forme de cage.

Lorsque, au contraire, les poutres sont en contrebas de la chaussée, la disposition change. Ce sont de petites travées latérales qui font contrepoids; elles oscillent autour d'un axe fixé à la culée en arrière, et viennent peser et rouler par secteur sur le talon des poutres principales.

C'est par des ponts à bascule que les Américains ont remplacé certains ponts tournants à volées équilibrées dont la pile centrale gênait la navigation ou l'écoulement des eaux. Le type appliqué à Chicago, sur le canal de drainage,

est le suivant. Le pont de la place *Clybourn*³ est à double volée. La longueur est de 39 m. entre les axes fixes, offrant un chenal de 30^m,50 entre les pieux de protection. Chaque volée est à trois poutres espacées de 6^m,40; les trottoirs en encorbellement portent la largeur à 18^m,30. La hauteur des poutres varie de 7^m,50 au-dessus de l'axe à 2^m,75 à leur extrémité. Elles peuvent s'ouvrir à près de 77°, au moyen d'un électromoteur actionnant des dentures de 8 m. de rayon, qui sont adaptées sous les culasses recourbées à cet effet.

D'autres exemples de ponts-levis tournant sur tourillons et travaillant simplement comme consoles, existent à *Kœnigsberg*² et à *Milwaukee*³. Ce dernier est à deux poutres; la distance entre tourillons s'élève à 35^m,60, en deux volées. Une courte culasse, lestée, est assujettie par un coinage, et les bouts de volées sont verrouillés. L'axe travaille sous les charges; il a 0^m,50 de diamètre. La crémaillère circulaire de manœuvre, portée en dessous par la poutre même, arquée à cet effet, est mue en une demi-minute par une transmission de moteur électrique. Le tablier est interrompu au droit des tourillons et continué par une travée fixe d'approche, dans les évidements de laquelle évolue l'extrémité basculante des poutres.

En faisant arquée la membrure inférieure, un pont-bascule à double volée prend, fermé, l'aspect d'un pont en arc. Le bas vient retomber contre le bajoyer où il s'appuie, soit pour le travail en console, si les deux volées sont simplement verrouillées au centre du pont, soit pour le travail en arc à poussée, si l'on interpose entre les demi-arcs des cales variables suivant l'état de la température. A Rotterdam, on a renoncé à cet arc-boutement, afin d'affranchir de poussée l'axe de rotation. La manœuvre au pont du *Binnenhaven*, de 24 m. d'ouverture, se fait en relevant chaque moitié à 80° à l'aide d'un piston hydraulique, dont la traverse de tête actionne, par deux bielles, des leviers fixés à la travée sur l'axe de basculement.

Le pont monumental de la *Tour de Londres*⁴, présente une travée à bascule de 61 m. entre deux piles de 21 m. et deux travées de rive fixes. Celles-ci sont à suspension; leurs chaînes doubles, contreventées, partent de petits piliers sur les culées, et viennent se terminer à 43 m. au-dessus de l'eau, sur d'élégantes et hautes tours en acier et maçonnerie, qui surmontent les piles et l'appareil des bascules. Entre les tours s'étendent les tirants de retenue des ponts suspendus, soutenus par deux passerelles couvertes. Ces dernières, avec des ascenseurs dans les tours, assurent la continuité du service des piétons quand la bascule est en levage. Le pont mobile s'ouvre en deux volées, pivotant chacune sur un axe fixe de 0^m,53 de diamètre, placé à 4 m. en dedans du parement de la pile et à 1^m,70 en dessous de la chaussée. Les tours forment abris contre le vent. En retombant, les volées viennent porter en avant sur des appuis de butée; elles sont reliées entre elles, au centre du pont, par quatre verrous de 0^m,13 de diamètre. A l'extrémité

¹ *Génie Civil*, tome XX, page 33, et tome XXIV, page 337.

² *Annales des Ponts et Chaussées*, 1897.

³ *Génie Civil*, tome XL, page 436.

² *Annales des Ponts et Chaussées*, 1898, 1^{er} trimestre.

³ *Génie Civil*, tome XLI, page 282.

⁴ *Génie Civil*, tomes XXIV et XXXI, page 337.

des culasses sont des cliquets d'arrêt, qui entrent en prise automatiquement. Par ses supports sur un grillage de poutres, l'axe répartit la charge sur les murs de front et d'arrière. Les culasses des quatre poutres sont reliées par des entretoises formant coffre à lest. Pour imprimer le mouvement, qui dure une minute et demie, la culasse est munie, des deux côtés du pont, de secteurs portant des arcs dentés de 12^m,80 de rayon; ces secteurs, qui saillent sur la chaussée, sont masqués par des cloisons; leur pignon est mu par l'eau à 50 atmosphères de pression.

La bascule fermée forme un arc surbaissé dont la clef est à 9 m. au-dessus des hautes eaux, et qui laisse passer sous lui la batellerie fluviale. On n'a donc à ouvrir le pont que pour de gros bâtiments, qui trouvent 43 m. de hauteur libre sous les passerelles supérieures.

Dans la construction, on a d'abord exécuté horizontalement la culasse jusqu'à l'axe de rotation; puis on l'a fait basculer, afin de pouvoir exécuter de bout la volée et ne pas embarrasser d'échafaudages le vide central.

La bascule de Londres a été jugée la meilleure disposition dans l'espèce. Un pont levant à haute ascension, système américain, eût pu être plus simple, mais aurait été d'aspect moins agréable et aurait exigé d'énormes contrepoids. Enfin, le projet présenté par MM. Kinnipie et Morris, savoir deux demi-travées tournantes, dont les culasses évidées en dessous auraient reposé sur les travées fixes¹, aurait supprimé les tours, mais exigé des pattes d'oie d'attache et nécessité la construction d'un tunnel sous-fluvial pour les piétons.

Ponts à axe de rotation vertical.

On a fait, sous le nom de *ponts-grues*, des tabliers simples, dépourvus de culasse. Ils sont soutenus par contre-fiche sur des poteaux-tourillons, tournant sur un pivot à leur pied, et dont le haut est embrassé par un collier ancré dans le mur. Le tablier vient se ranger le long du bajoyer, à la façon d'une porte d'écluse; mais on voit immédiatement que ce système n'est guère applicable qu'à des lignes ferrées, admettant un plancher à claire-voie dont les longerons soient susceptibles de se rapprocher entre eux, en jouant sur des entretoises articulées, à la façon d'une règle à parallèles. L'un des poteaux-tourillons occupe une position plus reculée que l'autre dans l'enclave, afin de faciliter le repliement. Le mouvement se donne par arc denté.

On a exécuté à *Boston* des *ponts charnière* à potence ou à suspension supérieure sur le même principe du repliement en persienne. Les aiguilles de soutien, revenant en arrière de la potence pour l'équilibre de celle-ci, servent au décalage en les actionnant légèrement à l'aide d'un treuil. Crémaillère circulaire pour la rotation².

En général, on nomme *ponts tournants* des ouvrages à tablier rigide cloués au bajoyer ou à une pile centrale par un axe vertical, autour duquel on peut leur faire décrire un quart de tour, de manière à démasquer la passe navigable. Ceux à double volée tournent d'une seule pièce sur

pile centrale; les autres n'ouvrent qu'une passe et ont alors une culasse faisant équilibre à la volée; ils sont simples ou doubles, et en ce dernier cas chaque volée ne couvre que la moitié de la passe et les mécanismes sont doublés.

Ponts à pile centrale circulaire, ouvrant double passe.

Ils ont de l'analogie avec les ponts à retourner les locomotives et sont avantageux en ce que chaque volée équilibre l'autre, sans culasse; mais il faut reconnaître que, malgré le double passage ouvert, une avarie condamnerait toute la navigation; aussi, à Calais, a-t-on exécuté non seulement deux ponts simples, mais même quatre, afin de n'ouvrir les uns qu'après les autres lors d'un sassement qui se prolonge, et d'avoir à chaque instant un passage libre pour les voitures.

Le pont pivote sur une *couronne de galets coniques*. Ouvert, il fixe ses volées à des *pattes d'oie* ou estacades en charpente qui le protègent et forment des guideaux pour la navigation. Si le service est actif sur le pont, on peut imaginer deux bateaux utilisant en sens inverse les deux passes, les volées fuyant devant les proues et continuant leur mouvement dans le même sens de manière à opérer la refermeture en arrière des poupes. Ainsi, point de temps perdu, théoriquement du moins; mais en pratique il peut arriver, au contraire, que le tablier, en balayant la voie navigable, gêne les bateaux; et d'ailleurs une pile au beau milieu du courant n'est pas toujours admissible. En vue de se débarrasser de cet obstacle, et d'accroître le débit du canal de drainage, la ville de Chicago a décidé de substituer à des ponts tournants des ponts à bascule sur le Calumet et la rivière de Chicago.

La seconde volée, même superflue pour les besoins du trafic, n'est guère onéreuse si elle fait travée d'un long viaduc. Travaillant en console lors des manœuvres, il est naturel que les poutres prennent une forme renflée au droit du pivot et s'effilant aux extrémités. D'ailleurs, en service et calées, elles deviennent poutres continues à deux travées, ce qui commande encore un maximum de hauteur sur la pile. Avec des poutres en dessous, c'est la nervure inférieure qui est curviligne, comme on en voit des exemples à Dordrecht, à Amsterdam, Hollandsch Diep, etc.; avec les poutres en dessus, cas beaucoup plus fréquent, c'est au contraire la semelle supérieure qu'on est libre de profiler pour le mieux. Il y a pourtant un autre arrangement, consistant à exécuter deux travées articulées entre elles, à travail indépendant, mais munies, pour la rotation, d'un système de suspension à chevalet central et tirants obliques, ainsi qu'on l'a fait à *Quincy* avec des poutres Bollman, et comme le recommandait M. Price pour rendre les calculs plus sûrs et supprimer les perturbations de calage sous des inégalités d'échauffement solaire.

Une idée analogue a présidé à l'établissement du pont à simple voie de *Raritan* (New Jersey), qui a deux travées de 65 m., sur une pile centrale de 11 m. Les grandes poutres Linville, de 144 m. de long, hautes de 12 m. au centre et 9 m. aux extrémités, présentent une charnière centrale à la se-

¹ *Génie Civil*, tome VII, page 127.

² *Génie Civil*, tome VI.

melle supérieure, tandis que l'inférieure est discontinue en son milieu et munie de vis butantes qu'on serre seulement pour l'ouverture. En service, le travail se fait par travées indépendantes; avant d'effectuer la rotation, tout le pont est soulevé d'une dizaine de centimètres par quatre presses hydrauliques, agissant sur la pile, en dessous de quatre piliers principaux des poutres. Cela fait serrer la butée centrale et décaler les extrémités des volées, sans emploi de coins; puis une machine à vapeur fait tourner les 590 tonnes du pont sur la couronne de 30 galets de 0^m,61, en un peu plus de 2 minutes.

Sur le Mississippi, le Missouri et l'Ohio, des poutres en lattice de grande hauteur, et conséquemment unissant la raideur à la légèreté, ouvrent des passes approchant généralement de 50 m. Une couronne de galets de 9 ou 10 mètres entoure un pivot de 0^m,30 et se partage avec lui la charge, selon une proportion réglable à volonté au moyen de coins, vis, contrepoids ou ressorts. La plus grande part est afférente au pivot; les roues donnent le maintien contre le vent. Il faut une force mécanique, maîtresse d'elle-même, qui opère en une ou deux minutes. Construit pour voie ferrée simple, supportant une surcharge de 4500 kg. par mètre, le pont de *Quincy* (Illinois, ouvert en 1876), de même que le pont international de *Buffalo*, sur la rivière du Niagara, ne pèse que 290 tonnes. Quelques-uns portent à la fois route et railway, accolés ou superposés. A celui de Rock Island, sur le Mississippi, les rails sont au-dessus de la route et le poids s'élève à 700 tonnes; aussi a-t-on cru devoir reporter les $\frac{4}{5}$ de cette charge sur 36 roues de 0^m,75 de diamètre. Les poutres ont une hauteur constante de 10^m,65.

Plusieurs de ces ponts ont, comme celui du Raritan, des dimensions exagérées par les exigences de l'Amirauté. Celui d'*Atton*, sur le Mississippi, est à double voie; la travée tournante de 138 m. ouvre deux pertuis de 61 m. La travée de 151 m. de *New London* (Connecticut) a des poutres à semelle supérieure en ligne brisée, variant de 22^m,50 de hauteur au milieu à 7^m,50 aux extrémités. La machine est installée sur la pile, au-dessus des poutres ¹.

Un pont à quatre voies ferrées sur la *Harlem*, à New-York, a été relevé de niveau, de façon à laisser passer sous lui un grand nombre de bateaux et à avoir moins souvent à se mouvoir ². Il démasque deux ouvertures libres de 30^m,50. Ayant trois poutres Pratt de 118 m. et une largeur de 17^m,83 entre axes des poutres extrêmes, il arrive au poids de 2500 tonnes. Le profil polygonal atteint une hauteur centrale de 19^m,50, formant un pylône où se logent les machines. Le pivot sert simplement de point d'attache pour maintenir, au moyen de rayons, la double couronne de 72 galets. Sur les tambours d'environ 14 et 16 m. de diamètre, la charge est reportée par un grillage de poutrelles. La pile repose sur 700 pieux, dont les têtes se terminent dans un massif en béton, sur lequel est appliqué un grillage de 2 m. La maçonnerie érigée sur ce grillage consiste en un pilier central, six murs radiaux et une cou-

ronne extérieure portant les rouleaux. Le calage, par leviers articulés que pousse un mouvement à vis, reporte 200 tonnes sur les piles terminales.

Il existe d'autres ouvrages semblables sur la *Harlem* ¹. Celui de la 3^e avenue a une travée de 91^m,45 et quatre poutres espacées de 6 m.; la zone centrale porte deux voies de tramways, les latérales les chaussées, et il y a des trottoirs en encorbellement. La largeur extérieure s'élève à 26^m,70 et le poids à 2500 tonnes, reposant sur plate-forme de 18 m., à 80 galets de 0^m,61; deux machines oscillantes opèrent la rotation en 2 minutes; huit vérins hydrauliques calent les extrémités.

Au viaduc du *Liimfjord* (Danemark), on a conservé constante la hauteur 6^m,30 des poutres pour une double travée tournante à volées de 27 m. Le pivot porte une partie de la charge par quatre boulons de suspension, le surplus pèse sur plaque tournante. Les pattes d'oie servant à fixer le pont ouvert sont faites de quatre pilots en fer bétonnés. Quand l'ouvrage se referme, on en assujettit les extrémités au moyen de verrous et de plaques de calage ².

En Angleterre, le pont de *Goole*, sur l'Ouse, qui ouvre des passes de 30 m. et tourne sur 36 galets de 0^m,90 supportant la charge entière, a sa pile formée de six colonnes en fonte; une septième colonne porte l'axe de rotation et renferme un accumulateur hydraulique. Le mouvement est donné par une roue actionnant une denture sous le rebord de la plate-forme roulante. A *Philadelphie* est aussi une pile octogonale en colonnes de 1^m,22 de diamètre et colonne centrale de 1^m,83. De même au pont de *Drypool*, à *Hull*, il y a six colonnes de 1^m,50 de diamètre supérieur et 2^m,40 à la base ³.

La chaussée de *Rapperswyl*, avec une voie ferrée, à travers le lac de Zürich, présente un pont tournant de 40 m., qui ouvre deux passes de 13^m,30. Le pont-canal de *Barlton* rentre encore dans ce type. Il fait passer le petit canal d'eau douce Bridgewater par dessus le canal maritime de Liverpool à Manchester.

Le pont de *Baaken*, à Hamburg ⁴, de 55 m. de long, est à trois poutres, dont l'intermédiaire, décentrée, sépare une voie ferrée de la chaussée. Ce pont étant biais à 59°8', il suffit de le faire tourner de cet angle par l'appareil hydraulique. On peut remarquer à ce propos qu'on pourrait, s'il y avait intérêt, réduire de moitié le trajet à faire parcourir à la crémaillère circulaire motrice: il suffirait de l'attacher aux axes des galets, ainsi qu'on l'a fait à *Castle Town*, dans l'île de Man, car avec le roulement dessus et dessous, ces axes marchent moitié moins vite que le tablier. Avec cette disposition, un pont biais ne manœvrera la crémaillère que de moins d'un quart de tour, comme on en voit un exemple sur le canal de *St-Dizier à Vassy* ⁵.

Un pont tournant sur couronne de galets ne peut se débarrasser de ceux-ci une fois fermé, et les fatigues inuti-

¹ *Génie Civil*, tome XV.

² *Génie Civil*, tome XXX, page 33.

⁴ *Génie Civil*, tome XXXI, page 102.

² *Dessins des élèves de l'Ecole des Ponts et Chaussées*, 1881.

³ *Génie Civil*, tome XVI, page 327.

⁴ *Génie Civil*, tome XXVIII, page 390.

⁵ *Génie Civil*, tome III.

lement dans son service. Il doit de plus décaler simultanément les deux volées, ce qui se fait à la main, pour de petits ouvrages, à l'aide de longues tringles qui vont actionner les leviers ou excentriques. En cas d'appareils hydrauliques, il n'est pas toujours aisé de transporter à l'autre bord l'eau comprimée.

L'avantage des galets est d'assurer la stabilité. C'est un système simple, mais sujet à usure inégale par l'inégalité de répartition de la charge. Il faut disposer des presses de soulèvement pour le tablier, s'il y a lieu de remplacer un galet avarié. Le diamètre va de 0^m,20 à 0^m,60, rarement à 0^m,90. On a été jusqu'à 1^m,52 à Birkenhead, mais cela sans le moindre avantage, car les grandes roues exagèrent la conicité et favorisent le déjettement. La résistance au roulement va, dans les meilleures conditions, de 0,005 à 0,007 de la charge, mais peut s'élever jusqu'au quintuple en temps humide et par des vents violents. Cette résistance est importante par son grand bras d'action. La charge maximum se compte pratiquement de 8 à 10 kg, quelquefois 20 kg. par m² de section diamétrale.

Le roulement sur *billes* a été employé par Raffeneau de Lisle, puis par Weikum. La théorie en est donnée dans le Génie Civil, tome XXXIII, page 139. On a cherché également à ramasser la pression très près du centre, sur une petite couronne de galets¹. La C^{ie} Américaine Keystone emploie l'appareil *antifriction de Sellers*, série de petits troncs de cônes interposés entre la partie tournante et la partie fixe. Le plateau inférieur sur lequel roulent les cônes repose sur le pivot par une surface sphérique.

Sur un pivot ordinaire le frottement se produit par glissement; mais comme son rayon d'action ne va qu'aux $\frac{2}{3}$ du rayon de ce pivot, le gain de force est sérieux comparativement aux rouleaux agissant sur une large couronne d'appui. Les pivots fixes font contact par deux grains d'acier à surface sphérique d'emboîtement. A Aubervilliers, le frottement se fait par une sphère de bronze phosphoré tendre comprise entre deux coussinets hémisphériques en bronze phosphoré dur. On ne fait pas porter aux pivots plus de 200 kg. par cm². Cependant, à Bordeaux, où agit une presse hydraulique, laissant au repos du jeu où pénètre la matière lubrifiante, on a pu dépasser 900 kg. par cm², sans usure appréciable.

Pour qu'un pivot fixe soulage les galets qui l'entourent, et ne leur laisse qu'un contact de guidage, il importe qu'il soit parfaitement réglé de niveau. On peut en pareil cas adopter l'appareil de réglage du pont de Rochefort². Le pivot est supporté par deux coins à pentes contraires de $\frac{1}{5}$, ce qui garantit la stabilité, tout en permettant de donner un certain mouvement de hausse ou de baisse en manœuvrant simultanément les deux coins, à l'aide de deux trains d'engrenages solidaires. Cela donne en même temps un moyen de graissage, si l'on y joint des vérins portatifs pour soutenir le chevêtre pendant qu'on abaisse le pivot; on obtient ainsi un jeu où l'huile pénètre.

Lorsque la hauteur disponible permet de placer les poutres au-dessous de la voie, il devient possible d'encastrer dans la carcasse de la travée un haut pivot, lequel, transportant le point d'appui à un niveau supérieur au centre de gravité, embrassé de plus à sa base par une couronne annulaire, et enfin solidement encastré dans la maçonnerie, tient le pont d'une façon stable contre les mouvements de roulis ou de tangage, même sans le secours d'aucune roue de guidage. C'est ce qu'ont réalisé les *Hollandais*. La colonne, encastrée à l'aide d'une chaise étoilée en fonte, noyée dans la pile, supporte tout le poids mort, non seulement pendant la rotation, mais encore en place. On peut néanmoins annexer des galets, comme simples accessoires de sécurité. Le point d'appui du pivot étant à la hauteur du haut des poutres, il faut suspendre à son chapeau tout le poids de la travée par de forts et longs boulons. Ceux-ci viennent prendre sous un chevêtre soutenant la plate-bande inférieure des poutres, et sont rangés près et alentour du pivot. A Dordrecht, on n'a mis que trois boulons, qui atteignent 17 cm. de diamètre et 3^m,37 de hauteur. A Amsterdam, il y en a huit.

L'intention de reporter le plus haut possible le point soutenu ressort manifestement de ce fait, que les travées tournantes de ces ponts hollandais se trouvent reléguées au-dessous de la voie, tandis que les travées fixes adjacentes sont des bowstrings placés en contre-haut. Pour un pont supérieur, à l'intérieur duquel la colonne ne pourrait s'élever, il reste la ressource de l'y encastrer et de la rendre tournante. Elle s'enfoncera profondément dans la maçonnerie, s'y appuiera sur une crapaudine et, vers son sommet, sous le tablier, sera épaulée par des galets à axe vertical. Un exemple existe à *Liimfjord*.

Un pivot qui porte tout, et qu'un peu de jeu aux roues latérales laisse exposé à des forces excentriques, peut rompre; et ce sera une avarie fondamentale, de réparation longue. Il ne faut pas non plus que des tassements viennent déranger la parfaite verticalité du pivot, ni la précision de montage des galets d'épaulement et d'appui.

On a imaginé de recourir à la *pression hydraulique* pour soulager et même pour enlever la charge entière. A *Newcastle*, sur la Tyne, sir W. Armstrong s'est borné à faire prendre à la presse hydraulique centrale 800 tonnes sur 1400. Le pont, de 84 m., ouvre deux passes de 30^m,50; les poutres ont 7^m,30 de hauteur au milieu et renferment dans leur intervalle une chaussée de 7 m., les trottoirs étant en encorbellement. Il y a 42 roues de rotation. Deux machines rotatives hydrauliques de 60 chevaux agissent sur une crémaillère boulonnée à la couronne supérieure. Blocs de calage à mouvement hydraulique.

Le pont de l'*Abattoir*, à Marseille, est à soulèvement droit effectif. Il tourne sur coussin d'eau et a deux poutres en treillis de 74 m. de longueur ouvrant deux passes de 30 m. Un gros piston hydraulique de 1^m,60 de diamètre peut se mouvoir sur une course de 0^m,40, mais il suffit de la moitié pour lui faire enlever le chevêtre et détacher les volées de leurs appuis; dans la rotation, le faite du pivot se trouve maintenu contre le déversement par une couronne de galets

¹ Génie Civil, tome XXXIII, page 377.

² Annales des Ponts et Chaussées, 1895.

de butée horizontaux, posés sur le bord de l'encuvement. La pression de l'eau disponible, 50 kg. par cm^2 , étant trop forte pour le diamètre, qu'on a adopté par motif de stabilité, on a mis le pont en équilibre avec un récupérateur à cette pression.

Le pont déjà cité de *Baaken* (Hambourg) soulève de 0^m,15 son pivot hydraulique, qui n'a que 0^m,143 dans le bas, mais est renflé à la partie supérieure et appuyé par quatre galets horizontaux. Les poutres, en service, viennent reposer sur le bord de l'encuvement.

Les deux volées deviennent inégales, l'une étant lestée, dans le cas de la traversée d'une écluse double, dont les sas sont destinés à des bateaux de grandeur différente. Ainsi, à *Bordeaux*¹, existent deux ponts qui sont à volées de 28 et 20 m., les pertuis éclusés ayant 22 et 14 m. Il n'y a pas de galets de support, mais une presse de soulèvement, qui est douée d'un simple mouvement vertical, sans rotation, circonstance favorable à la conservation de la garniture. La rotation se fait sur grain, au sommet du plongeur, et pour prévenir le déhanchement, on a placé, contre les parois de l'encuvement de la presse, deux rangs de galets horizontaux. Ces galets viennent presser latéralement un gros tambour en fonte de 5 m. de diamètre et de plus de 2 m. de haut, fixé sous le pont et conséquemment soulevé avec le piston et frottant contre les roues guides. Ce tambour a l'inconvénient de rendre la presse difficilement visitable. C'est sur lui encore que s'enroulent les chaînes des appareils de rotation. En service, les poutres viennent reposer de côté et d'autre du pivot sur des supports placés en dehors de l'encuvement; le pivot se sépare de la crapaudine, ce qui favorise le graissage.

Ponts tournants ouvrant une passe unique.

La caractéristique des ponts tournant sur les bajoyers est d'être munis d'une *culasse* qui fait équilibre à la *volée*. En état de fermeture, celle-ci atteint l'autre bajoyer et y prend appui. Cela fait encore, y compris la culasse, travail en double travée inégale et continue. Mais si la portée est jugée trop grande, le système *peut se dédoubler* en deux parties toutes semblables, évoluant chacune sur une culée, avec un mécanisme indépendant; le travail des poutres sous les charges devient travail par cantilever, comme pendant la rotation, sauf diminution de portée par un calage sur le bajoyer; ou encore, ces poutres travaillent comme un arc continu, si l'on fait contrebuter entre eux les deux becs de volée au milieu de l'ouverture. Toutefois, tel n'est pas le cas en général, à cause des incertitudes de ce serrage, et de la dilatation qui obligerait à le faire varier.

Le tablier de la culasse, ainsi que celui de la volée ou de l'une d'elles, se termine en plan par un arc de cercle concentrique au pivot; la plate-forme du bajoyer ou le tablier qui fait suite, présente une concavité correspondante. Un pont *biais* termine sa volée suivant la ligne même du biais et sa culasse à la façon ordinaire, ce qui rend les poutres inégales.

¹ Laroche. *Ports maritimes*, tome I^{er}.

Dans certains cas, il arrive que la culasse forme une travée tournant sur le vide, sans toutefois ouvrir une seconde passe. Les travées sont inégales, attendu que, d'une manière générale, la culasse n'a pour longueur que les 0,5 ou 0,6 de la volée et doit être alourdie par du lest. A Tarente, elle n'est que le tiers de la volée. Trop courte, elle exagère les dérangements d'équilibre, d'us par exemple à une surcharge de neige ou à l'action du vent. Ce dernier rend la manœuvre pénible.

Un beau spécimen dans ces conditions, exécuté en deux volées à cause de la grandeur de l'ouverture, qui atteint 117^m,50 entre les axes des piles circulaires de rotation, c'est le pont de *Brest*, sur la Penfeld¹. La culasse, à chaque rive, mesure 28^m,60 à partir de l'axe de la pile; elle a une hauteur constante de 7^m,60 en contre-bas de la chaussée, tandis que les volées vont en s'effilant en dessous vers le milieu. Un coffre à ballast, vers l'extrémité de la culasse, doit réaliser un équilibre exact, puisque cette dernière n'a point d'appui dans sa révolution. Il offre aussi un panneau plein pour compenser, du moins en partie, l'action du vent. Il ne fait que toucher le parement de la culée, sans s'appuyer sur elle; mais il s'y cramponne, s'y suspend par de puissantes mâchoires, venant saisir des patins scellés à la maçonnerie, de manière à intéresser la masse de celle-ci à la résistance aux surcharges de la volée. L'axe de rotation n'est que fictif; c'est le centre d'un gros tambour en fonte de 9 m. de diamètre, qui roule avec le pont sur galets coniques, sur l'assise d'une pile de 10^m,60 de diamètre. La couronne fixe est munie d'une crémaillère extérieure latérale, où s'engrène un pignon porté par le tambour, ainsi que sa transmission. Il y a deux cabestans à chaque volée, dont le second n'est utilisé qu'en cas de vent, avec double équipe. Neuf hommes à l'ordinaire font la manœuvre en un quart d'heure. Le pont étant fermé, les galets sont soulagés par quatre vérins qui viennent caler les poutres; leurs écrous d'appui sont mis en rotation par des engrenages, poulies et chaînes, dont l'arbre moteur vertical s'élève au-dessus du plancher, mais peut se couder à charnière et rentrer en dessous. Notons enfin que les deux volées s'assujettissent entre elles par de forts verrous que pousse un levier oscillant; celui-ci se termine en forme de secteur dont les dents sont actionnées par une vis sans fin.

Le pont de *Hawarden*, sur la Dee², fait aussi évoluer sa culasse sur le vide, mais on y a paré en construisant un arc de roulement porté par des colonnes en fonte; cela, parce qu'on voulait donner à la culasse un certain excédent de poids et assurer sa marche par des galets. C'est un ouvrage de chemin de fer à poutres paraboliques, ayant environ 51 m. de volée et 35 de culasse. A 15 tonnes près, la charge totale de 730 tonnes est soutenue par un chevrete et reportée sur le pivot fixe, par deux puissants boulons de 0^m,225 de diamètre. La culasse étant abaissée de 0^m,20 par le décalage, la volée se décale toute seule, en se relevant théoriquement de 0^m,29 et pratiquement de 0^m,20, eu égard aux flexions.

¹ *Annales des Ponts et Chaussées*, 1867, 2^{me} semestre.

² *Génie Civil*, tome XXIII, page 23.

En général, c'est sur le terreplein qu'évolue la culasse. Il faut à cet effet prolonger son encuvement en forme de quart de cercle, et sur l'autre côté pratiquer un évidement rectangulaire pour le logement de la volée. On donne au besoin un peu de recul à ces évidements, afin de ménager aux haleurs un passage d'un mètre ou deux sur le bord du quai. Dans les ports, les ponts ouvrent de préférence du côté d'amont, de manière à ne pas gêner l'entrée; les navires sortants sont mieux maîtres de leur vitesse. Le pivot se place sur l'axe du tablier; on avait bien essayé de le prendre sur le bord, ce qui permettait de raccourcir un peu la volée, mais la roue qu'il fallait placer de l'autre côté s'usait rapidement.

On essaya aussi de placer le pivot en queue de la culasse, avec deux grandes roues au bord du bajoyer; puis on intervertit ces organes, en reportant les roues en arrière et avançant le pivot, afin d'augmenter la charge sur celui-ci et de pouvoir soulager les galets par un relèvement de la culasse, après la rotation du pont, ce qui faisait appuyer la volée. J.-W. Schwedler exécuta en Allemagne des ponts à léger basculement, à peu près dans ces conditions, sauf que la travée recalée venait en même temps toucher le bord du bajoyer, afin de soulager le pivot.

Une plaque tournante oblige à tourner le pont droit et à avoir des calages à la fois aux deux extrémités. Il y a de plus une déperdition de force et de fréquentes ruptures. Lorsqu'on manœuvrait à bras le pont de *Birkenhead*, pesant 710 tonnes, il ne fallait pas moins de 14 hommes. On avait disposé trois roues plus petites pour porter l'excès de pression au bord de la culée. L'ouvrage a 55 m. de long pour une passe de 30^m,50. Les poutres pleines, de 2 m. de hauteur seulement, ont été armées d'un système de tendeurs, avec chevalet sur le centre de pivotement.

A *Cardiff*, sur le canal de Glamorgan¹, le pivot hémisphérique est monté sur un cône à large base d'encastrement; il porte tout le poids mort, 360 tonnes, d'un ouvrage de 22 m. environ de volée, 10 m. de culasse, 7^m,70 d'entre-axes de poutres, avec trottoirs en encorbellement. Il y a deux roues de sûreté sur les deux côtés du pivot; les autres roues, en dedans des poutres, complètent la couronne, mais sont soulagées en pénétrant simultanément dans des dépressions dès que le pont est fermé. Au contraire, les roues qui forment calage aux extrémités de la volée et de la culasse, montent à ce moment sur des plans inclinés et se serrent tout juste, puis la culasse est fixée par de gros boulons. Mécanisme denté mu par deux hommes.

Dans un ancien pont à double volée, à *Londres*, pour obtenir sans basculement l'appui de l'arc contre l'épaulement du bajoyer, en même temps que le soulagement des galets, on avait imaginé une sorte de bras tournant, mu par engrenage et venant se caler sur le mur.

Mais, en général, sauf pour de petits ouvrages, on adopte le *basculement de la culasse*, dans le double but de décaler la volée sans appareil spécial et de faire porter des roulettes d'arrière, qui assurent la stabilité de la rotation.

Un premier exemple nous sera fourni par le pont de l'Arsenal de la Marine, à *Tarente*, construit sur les plans de M. Cottrau¹. C'est un pont en deux volées, offrant l'apparence d'un arc en dessous. Chaque moitié bascule avant de tourner, appuyée de roulettes seulement sur les deux côtés du pivot, plus deux roues de support sur l'arrière de la culasse, qui arrivent en contact de leurs rails par l'effet même du décalage. L'ouvrage offre, en outre, la particularité d'être mù par des turbines placées, sur chaque rive, en contre-bas et à l'aplomb de l'axe de rotation. En réalité, c'est bien la vapeur qui donne la force initiale, puisqu'elle est employée à remonter l'eau dans un réservoir de 600 m³, à 22 m. de hauteur, qui alimente les turbines; mais celles-ci ont été jugées utiles comme se prêtant à des manœuvres fréquemment interrompues. Une turbine a aussi été employée à *Gand*, mais directement contiguë au mécanisme et munie d'un embrayage par cône de friction, en disques de cuir imbibé d'un fort adhésif. Ce cône, fixé sur l'axe vertical de la turbine, vient se loger entre deux poulies coniques solidaires et peut se pousser contre l'une ou contre l'autre. Ce mode de friction s'imposait pour éviter des ruptures, en raison de la vitesse finale, maintenue pour caler le pont par impulsion.

Voici maintenant une courte description du mécanisme à *Tarente*.

Chaque demi-pont a 33^m 50 de volée et 11 m. de culasse lestée. La passe mesure 59^m,40. La largeur du tablier est de 6^m,70 pour chaussée et trottoirs. Il y a 4 fermes et les volées sont arquées en dessous. L'axe de la turbine, maintenu par des traverses dans les voûtes d'évidement de la culée, vient finalement traverser une crapaudine conique qui présente à sa base une couronne de roulement et se termine par une tête de champignon. Une pièce circulaire repose sur la base par galets coniques et adhère à la tête avec interposition de petits rouleaux verticaux. Ce système est rigide; voici maintenant ce qui va permettre au pont de se renverser tant soit peu. Il ne se relie à la pièce circulaire tournante que par un essieu transversal de basculement, fait de deux parties. Chacune de celles-ci vient d'un bout et sur un côté du pont s'emboîter dans la dite pièce circulaire, puis traverser la semelle inférieure des poutres, et enfin, du bout extérieur, reposer sur le balancier d'une paire de roues. Ces roues de maintien latéral circulent sur une couronne de 6^m,30 de diamètre. D'autre part, l'axe de la turbine se coude par un joint à la Cardan, au-dessus du pivot, et se termine par deux roues coniques inverses formant embrayage; c'est-à-dire qu'elles engrènent à volonté, soit l'une, soit l'autre, avec la roue motrice, suivant le sens voulu du mouvement, le sens de rotation de la turbine ne changeant pas. Puis viennent des engrenages ralentissants, qui font finalement mouvoir deux roues à simple adhérence, à l'arrière de la culasse. Ces roues font 2 1/2 tours par minute pour 240 tours de la turbine. En un peu plus d'une minute le pont est tourné. L'arbre intermédiaire est relié à une commande éventuelle à la main. En outre, prolongé

¹ *Génie Civil*, tome XIX, page 324.

¹ Crugnola. *Dei ponti girevoli*.

par un embrayage, il peut transmettre son mouvement à un arbre qui va, jusqu'à l'extrémité de la culasse, actionner la commande des quatre calages à vis. Il faut 60 tours de ces vis, prenant deux minutes, pour lever de 0^m,25. Ce calage abaisse la volée qui vient en contact avec un appui de forme dentelée sur le bord du bajoyer; et cela soulage les roues et le pivot. De plus, le mouvement de culasse se traduisant à la clef en une oscillation verticale, qui peut atteindre 0^m,83, fait emboîter ou déboîter des boudins ou sailles terminales de l'une des volées dans des cavités correspondantes de l'autre, système moins solide qu'un verrouillage, mais suffisant pour une voie charretière.

Le pont de l'écluse des Transatlantiques, au *Harre*, n'a qu'une passe de 30^m,50 divisée en deux volées. Les poutres pleines, arquées, viennent buter par un ressaut contre un épaulement de la culée; aussi faut-il un relevage atteignant à 0^m,75 à l'extrémité des volées pour dégager ce ressaut. Un simple appui sur le mur est donc en général préférable. Mais la rotation, facilitée en concentrant la charge sur la tête d'acier du pivot, coiffée d'une crapaudine en bronze, s'opère simplement en tournant à la main. Il est vrai qu'il faut quatre hommes pour mouvoir seulement 120 tonnes. Le relevage de la culasse se fait par des vérins à engrenages. Le mouvement des deux volées s'opérant ensemble, l'ouverture ne dure en tout que deux minutes. Il y a trois poutres: la centrale, à double âme, correspondant à un bourrelet qui scinde en deux la chaussée, vient reposer sur le pivot; les latérales, correspondant aux bordures de trottoirs en encorbellement, reposent sur des roues. Il n'y a pas d'autres roues, le pont étant en équilibre sur le pivot. La chaussée est en dos d'âne à rampes de 0^m,02.

Pour réaliser des pivots ne portant la charge que pendant la rotation, et capables d'opérer le décalage, il convient de pouvoir leur imprimer un certain soulèvement. A *Trieste*¹, on avait imaginé un *soulèvement à vis*. La partie inférieure filetée du pivot s'emboîtait dans un écrou faisant roue motrice; la rotation de celle-ci avait pour premier effet de soulever le tablier jusqu'à décalage; mais, une fois disjoint, il se mettait à suivre par friction le mouvement de rotation. Ce système pouvait avoir l'avantage de faire frein, mais cela d'une façon indécise, et il était de manœuvre pénible. Aussi les ports anglais et français ont-ils recouru aux *pivots hydrauliques*. Le pont *Victoria*, sur la Leith, construit par Rendel en 1874, a des poutres de 65 m. de long et 8 m. de haut, portant route et voie ferrée sur 37 m. de passe navigable. Largeur d'une douzaine de mètres, poids 630 tonnes et contrepoids 240 tonnes. Presse de 1^m,69 de diamètre, logée sous le pivot dans un encuvement maçonné. Eau à 47 atmosphères. Le pivot arrondi sphériquement tourne sur le plongeur et porte à son sommet une grande plaque carrée, sur laquelle le pont repose par un chevêtre. La culasse appuie légèrement en arrière, sur deux roues de 0^m,76. Le système présente l'inconvénient de laisser la presse supporter les charges du pont.

Nous avons déjà dit que le pont de l'*Abattoir*, à Marseille, tourne sur presse hydraulique après *soulèvement droit*, la tête étant épaulée d'une couronne de galets horizontaux de centrage. Ce système, applicable à des ouvrages symétriques ou pas trop lourds, a l'avantage de supprimer tous galets de support et tout appareil de calage. On luttera contre les déversements en donnant au plongeur une longueur engagée égale environ à son diamètre, en réduisant sa course, en faisant buter la couronne de centrage contre un anneau lié au sommier, plus haut que le piston, afin que les chocs du tablier ne se transmettent pas à la presse.

Mais, dans les grands ponts à culasse, on préfère généralement le *basculement*, avec un appareil de calage à la culasse seule.

Au *bassin de radoub*, à Marseille¹, Barret crut devoir limiter à 0^m,58 le diamètre du piston. Or, pour lever les 700 tonnes du pont, cela exigeait une pression de 270 atmosphères, obtenues en rehaussant par un appareil spécial la pression de 52 atmosphères des docks. Ce pont a des poutres cintrées de 62 m. de long, dont 38 m. de volée, pour ouvrir une passe de 28 m. Sa largeur s'élève à 16 m. en y comprenant un trottoir de 2 m. en encorbellement. Une poutre intermédiaire isole de la chaussée une voie ferrée. Le soulèvement du pivot décale la volée; trois roulettes supportent la culasse lorsqu'elle est décalée; elles ne portent ensemble qu'une quinzaine de tonnes, et, pour les faire arriver simultanément en contact sur leur voie, elles sont placées toutes trois sur une ligne parallèle au chevêtre, c'est-à-dire que la roue du milieu circule sur un rail de rayon un peu plus faible. Le basculement du pont a lieu au moyen d'un couteau d'appui et c'est le plongeur qui tourne. Ailleurs, on a préféré une rotule cylindrique, qui s'use moins rapidement. Un arc de cercle qui entoure la tête du plongeur est appuyé contre la paroi du puits par deux galets horizontaux, placés sous la culasse, de façon à soutenir l'ouvrage contre la traction exercée sur la grande poulie de rotation par les cylindres à mouffes. Un piston ad hoc manœuvre les coins de calage de la culasse. Rendu à la circulation, le pont repose sur des appuis fixes, le chevêtre retombe sur le rebord de l'encuvement et la pression de l'eau est supprimée; les organes du mécanisme sont affranchis de l'action des charges du pont; des dispositions sont prises pour pouvoir les retirer facilement en cas de réparations.

Ainsi, dans la rotation, le pivot hydraulique tourne sur coussin d'eau; le frottement se réduit à celui du plongeur sur la garniture du presse-étoupes, compté par Barret au $\frac{1}{100}$ de la charge, ou par d'autres à 5 tonnes par mètre de diamètre du plongeur. Toutefois, dans la crainte d'avaries sous une brusque rechute accidentelle, on a depuis lors préféré ne pas donner tout-à-fait au piston la force de se soulever; il repose sur le pot de presse par deux anneaux d'acier poli, entre lesquels il y a glissement; la pression s'exerce librement sous le plongeur en dehors des parties frottantes, et même aussi entre ces dernières, qui sont évi-

¹ Crugnola. *Dei ponti girevoli*.

¹ Barret. *Ports de commerce*.

dées de rainures en pattes d'araignée. Ces petits passages en chevron assurent le graissage, fait par de la glycérine mélangée à l'eau et qui, par sa densité, gagne le fond. Une addition de 40 à 50 % de cette matière conserve l'eau liquide jusque vers -20° .

Les dispositions que nous venons d'indiquer existent au pont du *Pollet*, à Dieppe¹. Il ouvre une passe de 40 m., porte deux voies charretières et pèse 810 tonnes. La flèche prise pendant la rotation atteint 0^m,15. Le basculement se produit sous le décalage de la culasse. Le chevêtre en double caisson porte en dessous une rotule cylindrique, qui oscille dans une cavité sur la tête du plongeur. Celui-ci, de 1^m,27 de diamètre, ne peut soulever à lui seul; il lui faut le concours de 2 presses dites de *basculement*, agissant sous la culasse non loin du calage. Quand une légère levée a permis de retirer, au moyen d'une petite presse, les tasseaux d'appui, on lâche l'eau des presses de basculement, et des roues, en deux paires sur balancier, viennent retomber sur leur rail de circulation. Le lest de 235 tonnes dépasse de 20 tonnes l'équilibre et assure la stabilité en cas de vent. Il est placé dans des casiers d'entretoisement renforcé.

Voyons maintenant comment on imprime le mouvement de rotation. Dans la gorge d'une couronne en fonte de 9 m. de diamètre, fixée sous le tablier concentriquement au pivot, s'enroule une chaîne, attachée à un point de la gorge, et dont les deux brins guidés par des poulies, viennent passer sur des moufles montés sur deux cylindres hydrauliques. Ceux-ci sont couchés longitudinalement sous la culasse et servent, l'un pour ouvrir, l'autre pour fermer. L'eau agit à l'ordinaire des deux côtés du piston; mais, en cas de grand vent, on peut ne l'admettre que du côté de la pleine section, de façon à doubler le pouvoir. La consommation se monte alors à 876 litres, au lieu de 520. Une manœuvre demande deux minutes environ.

Les ponts de *Calais* sont disposés de façon semblable².

La passe d'*Arenc*, à Marseille, est remarquable par sa grande ouverture, qui s'élève à 50 m.; le poids mobile atteint 1350 tonnes, compris 300 tonnes de lest. Deux voies de fer sont noyées dans le plancher en bois. Les poutres en treillis ont 95 m. de longueur et près de 9 m. de hauteur centrale. L'ouvrage reste habituellement ouvert à la navigation, la travée reposant sur des appuis fixes le long du mur. Le piston a 1^m,60 de diamètre.

Au bassin *Bellot*, au Havre, ont été établis deux ponts identiques³. On a placé ici, en dessous de la presse centrale, un coin actionné hydrauliquement. Cela permet de lever sans crainte de rechute, mais c'est une complication qui, de plus, exige un surplus de profondeur. En outre, les presses à moufles d'ouverture et de fermeture sont postées sur un même côté du tablier et tirent celui-ci directement, sans emploi de grande couronne. La chaîne de traction est seulement guidée par une série de poulies convenablement placées.

Ces cylindres-palans hydrauliques sont presque exclusivement employés aujourd'hui dans la manœuvre des ponts tournants. Ils sont habituellement au nombre de deux, bien qu'on puisse se contenter d'un seul, agissant à double effet. Les moteurs rotatifs à cylindres oscillants utilisent moins bien l'eau comprimée, et les engrenages sont sujets à casser. Par contre, agissant par un pignon fixe sur une grande roue dentée, ils réduisent les tractions exercées sur la crapaudine et le pivot.

Dans le premier pont établi sur le *canal de Tancarville*, on adopta aussi des presses de basculement et l'appui de la culasse sur de simples tasseaux; mais, dans les ouvrages subséquents, on jugea plus simple de supprimer ces presses accessoires et de mettre des coins de calage, qu'actionne une tige de presse.

Le pont sur l'*écluse de l'Est* est à soulèvement droit, de sorte qu'il se dégage des appuis dénués de calage. A cet effet, le plongeur peut s'élever d'environ 0^m,15, et, pour qu'il ne se déverse pas en tournant, on lui a donné 1^m,16 de longueur; il glisse à frottement doux dans le pot de presse, dont la surface intérieure est garnie de rainures par lesquelles l'eau peut pénétrer jusque vers sa partie supérieure. Il y a en outre une couronne de galets de centrage.

Quatre ponts tournants franchissent le *canal de Kiel*. Pour la ligne Neumunster-Rendsburg, on a établi près d'*Osterrœnfeld* deux ouvrages à voie unique et distants de 150 m., afin, soit de diminuer le poids, soit de ne pas interrompre la circulation en cas d'avarie⁴. Le biais étant de 70°, il suffit d'une rotation d'une pareille amplitude. Pour une volée de 59^m,40 il y a une culasse de 39^m,75, qui fait travée et appuie par galets son extrémité sur un chemin de roulement, exécuté en forme de quadrant; mais, en service, un calage sur petite pile spéciale, en avant de l'extrémité, soulage les galets. Les poutres sont en contre-bas de la voie; leur paroi est inclinée sous un fruit de $\frac{1}{4}$; cette disposition, qui ne facilitait pas le montage de la travée, avait pour but de diminuer la longueur des pièces de pont, tout en obtenant stabilité et raideur, ainsi que l'emplacement nécessaire à la base du pivot. Dans le plan des deux semelles règnent des contreventements, et, tous les deux nœuds, des entretoises en diagonale sont disposées, de façon à reporter la pression du vent sur le contreventement supérieur ou inférieur, suivant que le pont est librement suspendu ou qu'il repose sur ses appuis. L'extrémité de la culasse est armée d'une paroi en tôle ondulée pour équilibrer le vent. Des brise-glaces en charpente protègent le pont ouvert. Il se lève par une haute presse centrale, qui traverse la travée et la soutient à sa partie supérieure. Le cylindre hydraulique en acier coulé, de 1^m,25 de diamètre et terminé en bas en demi-sphère, repose sur un bâti conique. Le piston en fonte porte une colonne qui supporte le pont par un coussinet de rotation. Le poids de 510 tonnes exerce dans le cylindre une pression de 42 atmosphères au repos et de 46 pendant l'élévation. La colonne est épaulée contre le vent par un collier, que soutient une enveloppe

¹ *Annales des Ponts et Chaussées*, 1891, 2^e semestre, et *Génie Civil*, tome XXIII.

² *Génie Civil*, tome XV, page 569.

³ *Annales des Ponts et Chaussées*, 1889, 1^{er} semestre.

⁴ *Génie Civil*, tome XXX, page 309.

conique en tôle. Une levée de piston de 16 à 18 cm. a pour effet de décaler la volée, puis aussi la culasse, une fois que ses roues d'appui ont pris contact. La rotation est effectuée par deux cylindres horizontaux à mouffes, entraînés par la culasse qui les porte, et dont les deux brins viennent, l'un s'ancrer profondément dans la maçonnerie, l'autre se dérouler d'une couronne fixe, scellée sur la pile de 9 m. de diamètre.

Pour deux petits ponts au Spencer dock de *Dublin*, M. Price¹ a imaginé de les soutenir presque complètement, au droit du pivot, par un flotteur captif ou *bouée*, ce qui du même coup soulage la fondation. Sur une centaine de tonnes, il n'en laisse que 5 porter sur le pivot de bronze immergé sur le lit du canal. La bouée, logée dans un puits où accède l'eau, est une sorte de gros tonneau en bois d'orme, armé et étré sillonné de pièces en fer, immergé sous basses eaux et rempli d'air. Au-dessus de lui s'élèvent des colonnes en fonte rangées en cercle, étré sillonnées et qui soutiennent le pont. Le tout tourne et se trouve affermi contre le vacillement par un anneau de galets de centrage horizontaux au sommet du puits, et de plus par des roues verticales reposant sur le mur, près du bord de la passe, afin de soutenir le léger excédent de poids de la volée. Le système fonctionne droit, sans soulèvement, et présente donc des calages à la culasse et à la volée. Si le niveau de l'eau était constant, la bouée pourrait être ouverte en haut, comme un bateau, et surmonter ce niveau. Il y aurait moyen aussi de raccourcir la culasse en réduisant le flotteur à un demi-cylindre placé du côté de la volée.

Le système, au surplus, ne s'applique qu'à de petits ouvrages, sous peine d'avoir à donner à la bouée des dimensions exagérées. Le principe de la rotation sur liquide a été appliqué aussi à la coupole de l'*équatorial de Nice*, supportée par un flotteur annulaire avec galets verticaux et horizontaux. Le liquide est une solution de chlorure de magnésium, qui ne se congèle qu'à -40° . La manœuvre est aisée au moyen d'un petit treuil actionnant un câble enroulé sur le flotteur.

Une bouée a aussi été appliquée par M. Saner aux ponts de *Northwich*, sur la Weaver². Elle est en tôle, a 9 m. de diamètre et 3^m,65 de hauteur d'air constamment immergée; mais elle est surmontée d'une cuve de 0^m,75 de hauteur où l'eau entre librement. Les poutres, de 34 m. de long et 5^m,20 de hauteur centrale, donnent une passe de 16^m,46 entre les pieux de garde. Chaussée de 6 m. et trottoirs de 1^m,40 en dehors des poutres. Mais ici, on n'a pas pris appui directement sur le lit; au lieu de pivot central, l'excédent de poids non soutenu est reporté, en haut, par une couronne extérieure, sur 72 galets qui roulent sur un cercle d'appui périmétrique. Ce dernier est fixé sur la tête de sept pilots de fonte, fichés en terre extérieurement au flotteur. Un huitième pieu manque, laissant une trouée pour introduction ou remplacement de ce flotteur, lequel est fait de quatre segments en forme de quadrants. Ainsi, dans

son ensemble, il a la forme d'un cylindre traversé par deux plans diagonaux, étanches et à double paroi. Une ceinture de galets horizontaux appuie, en outre, contre l'anneau qui couronne les pieux.

La circonstance toute particulière de ces ouvrages, c'est qu'ils se trouvent sur un sol sujet à des tassements considérables, du fait d'exploitations salines qui se font en pompant les eaux souterraines. Comment exécuter des ponts, surtout des ponts mobiles, dans de semblables conditions? On a pris le parti de rendre le niveau de l'ouvrage relevable à volonté, c'est-à-dire que chaque pieu, de 0^m,76 de diamètre et muni d'une ailette de base de 1^m,37, peut se rallonger à la demande des tassements. A cet effet, il porte à son sommet un sabot d'appui par l'intermédiaire de quatre grosses vis; si même la course de ces vis ne suffisait pas, on aurait encore la ressource d'intercaler une virole supplémentaire. Sur ces sabots reposent, par des emboîtures sphériques, les bras de la couronne étoilée qui porte le chemin de roulement. La manœuvre des vis n'est pas trop pénible, puisque, sur 303 tonnes de poids, la bouée en soutient 255, en sorte qu'il ne reste qu'une charge de 48 tonnes, réductible même à 28 si l'on vide l'eau de la cuve qui surmonte le flotteur. Les calages aux extrémités du pont reposent également sur des pieux ajustables. Le ponton est entouré d'un cuvelage en bois.

Calage.

Les petits ponts tournants ont des calages par disques excentriques mus par des vis, qui font en même temps avancer des verrous; mais, là où on les emploie encore pour levage rapide, on annexe d'autres appuis plus solides. Un autre procédé consiste en vérins de levage, auxquels une roue avec vis sans fin donne le mouvement. On a employé aussi des leviers articulés ou des genouillères, jouant sur le principe de la presse à losanges. Pour de lourds ouvrages, il faut en venir aux coins et disposer de la force nécessaire au moyen d'une presse hydraulique. Des tasseaux d'appui ont, sur les coins, l'avantage de fournir un calage fixe; mais il faut un moyen de lever la poutre pour les insérer. Le degré de calage d'un pont tournant influe naturellement sur l'épuration de résistance, en vertu de la solidarité des deux travées que forment la volée et la culasse. C'est une question dont nous avons parlé dans une *Etude sur les conditions de résistance des ponts tournants*, publiée en 1877. Il y aurait même avantage à donner aux ponts un certain surcalage.

Dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, 1902, 1^{er} semestre, M. Widmer donne des coefficients de frottement applicables aux calculs mécaniques.

Il peut arriver qu'une action inégale des rayons solaires entrave le décalage, particulièrement avec des poutres pleines, qui laissent peu jouer l'air, se déforment et accroissent le serrage. Le fait s'est présenté à Toulon; la poutre s'arquait jusqu'à 2 cm. de flèche et dut être abritée par des couvertes en bois. En Amérique, on a observé jusqu'à 19° de différence de température entre les semelles supérieure et inférieure d'une même poutre.

¹ Institut. of Civil Engineers, LVII.

² Institut. of Civil Engineers, CXL, et *Génie Civil*, tome XL, p. 436.

Heurtoirs.

Pour éviter de violentes secousses ou des ruptures dans l'arrêt de fin de course d'un pont roulant ou tournant, il faut appliquer des heurtoirs élastiques, prêtant un peu de jeu, de façon que le pont puisse dépasser légèrement la position assignée et y revenir par réaction. Les petits ouvrages ont des bornes rendues compressibles par des ressorts de caoutchouc, des rondelles Belleville, ou parfois un coussin d'air. Pour les grands, on cherchera à assortir la dureté du heurtoir à l'importance de la masse à retenir. Le pont du Pollet a trois butoirs, deux sur le bajoyer de rive droite, destinés à arrêter l'extrémité de la culasse lors de l'ouverture et de la fermeture, le troisième sur rive gauche arrêtant la volée. Ils se composent d'un tampon en fonte de 0^m,30 de diamètre et de 0^m,20 d'épaisseur, mobile horizontalement dans un cylindre, l'intervalle entre le cylindre et le tampon étant rempli par un bloc de bois dur faisant coussinet. Les poutres sont garnies, au point de butée, d'une fourrure en chêne couverte d'une tôle. A Rochefort, on a fait usage de tampons d'inertie à ressorts doubles accolés et de 0^m,23 de course. Barret a imaginé de recourir à la forte résistance qu'éprouve un liquide à filtrer à travers des orifices étroits; ainsi, au pont de l'Abattoir, l'eau se trouve refoulée dans un cylindre par un piston dont les issues s'étranglent progressivement. A Hawarden on a employé, comme frein hydraulique, le passage de l'eau dans un piston creux, dans lequel sont pratiqués soixante trous de 3 mm. qui se découvrent successivement à l'origine de la course et se masquent successivement à la fin, d'où résulte un réglage assurant la douceur de mise en branle et d'arrêt.

Questions d'acoustique pratique.

Par M. HENRI DUFOUR,

Docteur ès sciences.
Professeur ordinaire à l'Université de Lausanne.

Dans l'*Encyclopédie de l'Architecture et de la Construction*, M. J. Bourdais, l'auteur de l'article « *Salles d'audition* », dit avec beaucoup de raison : « Si on lit tout ce qui a été écrit sur ce sujet, soit par les physiciens, soit par les praticiens, on constate que les premiers s'en tiennent à des principes généraux; les seconds, un peu rebutés par la difficulté du problème, n'hésitent pas à déclarer qu'il faut s'en remettre au hasard, seul maître de régler bien ou mal les résultats à obtenir ». Il faut reconnaître que l'acoustique pratique a été encore peu étudiée et, d'autre part, il faut reconnaître aussi que les notions que l'on possède sont assez précises pour indiquer ce qu'il ne faut pas faire, et que le nombre des insuccès acoustiques des salles modernes serait bien moindre si on se préoccupait autant des conditions et qualités sonores de ces salles que de leur décoration artistique. Les américains nous ont précédé dans cette voie, et on doit à M. Wallace-C. Sabine une étude intéres-

sante intitulée : *Architectural Acoustics*¹, qu'il serait utile de reproduire dans une revue du Continent.

Sans aborder ici cette question générale, pour laquelle bien des études encore seraient nécessaires, il peut être intéressant de donner les résultats de quelques recherches sur la transmission du son dans quelques matériaux de construction, et qui ont pour but de déterminer ainsi les meilleures conditions d'insonorité relative de locaux voisins.

Les expériences ont été faites comme suit : Une source sonore, timbre, bloc de métal frappé par un marteau, ou sifflet, était enfermée dans une caisse acoustiquement étanche; une ouverture percée dans la caisse laisse sortir les ondes sonores; cette ouverture s'applique contre un trou carré percé dans la muraille de séparation des deux pièces contiguës. Au moyen des divers matériaux à étudier, on ferme cette ouverture et on détermine à quelle distance de la paroi l'intensité du son est réduite à une valeur définie et constante dans les diverses expériences. L'intensité du mouvement vibratoire limite était déterminée par l'observation d'une flamme sensible, dont les mouvements sont d'une constatation relativement facile. Des mesures faites lorsque l'ouverture du mur est libre ou bouchée, on peut déduire approximativement le pouvoir absorbant des matériaux employés.

Les substances utilisées ont été : des plots de ciment de 7,5 cm. d'épaisseur, des carrons pleins (carrons de maçons) de 5 cm., des carrons creux à canaux d'air, de 4 cm. d'épaisseur, employés pour galandages; des planches de roseaux pour plafonds et pour parois, de 2 cm. et de 5 cm. d'épaisseur, un échantillon de plafond à lattes de chêne noyées dans du gypse; des planches de sapin et de bois dur, des vitres et des morceaux de poutre.

D'après les mesures faites sur la perméabilité de ces substances pour les ondes sonores *aériennes*, c'est-à-dire qui se transmettent comme sons d'une chambre à l'autre (il ne s'agit pas de la transmission de chocs contre les parois), on trouve qu'un galandage de plots de ciment est de tous ces corps le plus insonore; il absorbe et réfléchit 99 % des vibrations aérienne et n'en transmet que 1 %. Il importe pour cela que les plots qui forment le galandage soient bien cimentés les uns aux autres, la plus petite fissure laissant passer le son.

Dans les mêmes conditions, les briques pleines de 5 cm. d'épaisseur laissent passer 4 %, les briques creuses de 4 cm., quoique plus minces, sont meilleures grâce à leur hétérogénéité; elles arrêtent et réfléchissent 98 % et laissent passer 2 % des vibrations.

Les planches de roseaux de 2 cm. absorbent relativement beaucoup, étant donnée leur faible épaisseur; la transmission est de 8 %, mais, dès qu'on les superpose en les croisant, la transmission est réduite à 3 %. Une plaque de verre épaisse (verre diamanté) laisse passer 50 %; en superposant deux plaques appliquées l'une contre l'autre, l'absorption s'élève à 75 %; si on les sépare l'une de l'autre par 7 cm. d'air, les réflexions se produisant sur les diverses faces,

¹ Reprint of the *American Architect*, 1900.