

PROJETS D'UN PONT SUR L'EAST RIVER EN AMONT DU PONT EN  
COURS DE CONSTRUCTION ENTRE BROOKLYN ET NEW-YORK

L'énorme développement de ces deux cités, séparées seulement par l'East River, nécessite chaque année la création de nouveaux moyens de communication et de nouveaux débouchés. Nous avons déjà parlé du grand pont de Brooklyn, dont les travaux de construction sont dirigés par l'ingénieur en chef Colonel Roebling, et nous avons rapporté tous les détails relatifs à son édification, grâce à l'étude intéressante et approfondie publiée par notre ami, l'ingénieur Hildenbrand. Avant même que cette grande artère soit mise en exploitation et livrée à l'activité commerciale, une compagnie d'industriels et de capitalistes ont mis au concours un projet de pont en amont de celui-là. Un comité d'ingénieurs a été choisi, et nous croyons qu'il sera intéressant de résumer ici, pour nos lecteurs, immédiatement après les clauses du cahier des charges, les jugements du comité en question et les projets différents qui ont été soumis à son examen par les concurrents.

Le caractère principal d'intérêt et de nouveauté, présenté par ce pont projeté, réside dans ce fait que deux travées de 734 (223<sup>m</sup>719) et de 618 pieds (188<sup>m</sup>363) respectivement, sont nécessitées pour la traversée des deux bras de l'East-River, à une élévation d'au moins 130 pieds (39<sup>m</sup>623) au-dessus d'un des cours d'eau des Etats-Unis les plus activement sillonnés par des navires de tous tonnages, de toutes grandeurs. Ces grandes travées, bien que ne formant qu'environ un huitième de la longueur totale de la construction, coûteront néanmoins à elles seules plus de la moitié du coût total et seront, à une seule exception près, les seules construites sur de telles données, en prévision d'une ligne de chemin de fer. Le pont suspendu

du Niagara, avec sa travée de 800 pieds (243<sup>m</sup>836), est le seul qui présente une travée d'une longueur supérieure à celles projetées; les ponts de chemin de fer qui s'en rapprochent le plus sont les suivants :

Le pont sud de Cincinnati.....	517	pieds de portée	(157 <sup>m</sup> 578)
— de Saint-Louis (à arcs en acier)...	515	—	(156 <sup>m</sup> 969)
— de Kuilenburg (à grandes mailles).	493	—	(160 <sup>m</sup> 264)
— Britannia (tubulaire).....	460	—	(140 <sup>m</sup> 206)
— Saltash (à double Bowstring).....	455	—	(138 <sup>m</sup> 682)
— de Cincinnati.....	420	—	(128 <sup>m</sup> 014)
— de Louisville (à grandes mailles)..	400	—	(121 <sup>m</sup> 918)
— Dierschau (à treillis).....	398	—	(121 <sup>m</sup> 308)
— Conway (tubulaire).....	400	—	(121 <sup>m</sup> 918)

#### CONDITIONS EXIGÉES PAR LA COMPAGNIE

Les dessins consisteront en :

1° Une approche du côté de New-York d'une longueur de 4,580 pieds (1,395<sup>m</sup>950), dont 1,000 pieds (305<sup>m</sup>000) en tunnel partant de la jonction avec les voies du chemin de fer de Harlem sur la 4<sup>e</sup> avenue, dans le voisinage de la 73<sup>e</sup> rue, au croisement de l'avenue de Lexington; de ce point commencera la construction en fer, décrivant une courbe au centre des blocs (1), entre les 76<sup>e</sup> et 77<sup>e</sup> rues, et continuant vers l'Est à travers les mêmes rues jusqu'à la rive Ouest du bras occidental de l'East River.

2° Une travée au-dessus du bras occidental d'East River de 734 pieds (223<sup>m</sup>719) de longueur.

3° Une construction en fer traversant l'île de Blackwell, d'environ 700 pieds (213<sup>m</sup>356) de longueur.

4° Une travée d'une longueur de 618 pieds (188<sup>m</sup>363) au-dessus du bras oriental de l'East River.

5° Une approche du côté de Long-Island de 3,900 pieds de longueur (1,188<sup>m</sup>700) s'étendant jusqu'au haut sol.

La longueur totale du pont est ainsi de 10,552 pieds (3,515<sup>m</sup>088) approximativement.

Des travées de 100 pieds (30<sup>m</sup>500) doivent être prévues au-dessus de 8 grandes

(1) On appelle bloc un polygone occupé par des maisons et limité par des rues.

rues dans la ville, indiquées sur le projet. Les dimensions des autres travées, aux approches et sur l'île de Blackwell sont laissées à l'appréciation des auteurs de projets, selon qu'ils jugeront tel ou tel système le plus économique. Il faut prévoir les accès principaux pour les voitures, et en dehors de ceux-ci deux approches auxiliaires de retour pour ces mêmes voitures, qui graviront des pentes de 4 pour 100 pieds ( $\frac{1}{25}$ ).

Ces approches à contre-pente, comme le montre le profil, planche XLVIII, fig. (5), rencontrent les approches principales, du côté de New-York, à proximité de l'avenue A, et du côté de Long-Island, dans le voisinage de l'avenue Vernon. On devra aussi prévoir deux doubles ascenseurs pour les piétons, ainsi que la force vapeur nécessaire, l'un à New-York, l'autre sur la rive à Long-Island, à l'extrémité des longues travées ou près de ce point; ils devront pouvoir contenir 30 piétons sur chaque plate-forme.

#### DISPOSITIONS GÉNÉRALES

Le pont sera conçu et dessiné en vue de permettre l'établissement de :

A. Une seule voie de chemin de fer s'étendant sur toute sa longueur, et occupant une largeur de 14 pieds (4<sup>m</sup>267). On devra prévoir l'établissement de la seconde qui pourrait être ajoutée sans rien changer à la disposition générale des parties du pont ou aux poids qu'elles doivent supporter, ou encore à l'usage auquel elles sont destinées. On donnera la préférence aux projets qui présenteront l'addition future de la seconde voie comme partie intégrale de leur plan.

B. Deux chaussées pour les voitures, entre New-York et Long-Island, qui devront avoir chacune 10 pieds (3<sup>m</sup>050) de largeur. On les placera de préférence l'une à côté de l'autre, et, si l'on veut, sur le sol au-dessous des chevalets supportant le chemin de fer de la 3<sup>e</sup> avenue à la 2<sup>e</sup> avenue, du côté de New-York et du bas de la pente au sol élevé du côté de Long-Island (voir le profil). Les accès de retour de l'avenue A et de l'avenue Vernon peuvent être disposés côte à côte ou séparément sur chaque côté; mais il serait préférable qu'ils fussent disposés dans l'alignement des chevalets principaux afin de n'occuper que la moindre largeur possible au-dessus du sol; cette disposition préférable dans Long-Island est obligatoire du côté de New-York. Ces accès, aux points où ils rejoignent les approches principales, seront d'une largeur suffisante pour permettre aux voitures de tourner facilement, et auront un palier sur 60 pieds (18<sup>m</sup>288).

C. Deux trottoirs de chacun 5 pieds (1<sup>m</sup>524) de largeur, courant soit le long,

soit au-dessus de la chaussée ou de la voie ferrée, mais non le long des accès de retour auxiliaires.

#### PENTES

Les pentes seront comme suit : *Sur la voie ferrée.* — Le maximum de pente sera de  $2 \frac{2}{10}$  de pieds par 100 ( $\frac{22}{100}$ ) sur les accès des deux côtés de New-York ou de Long-Island, et le niveau sera horizontal au passage de l'île de Blackwell. Les supports à la limite des longues travées seront au même niveau, mais il peut exister dans ces travées des cambrures n'excédant pas une pente de  $2 \frac{2}{10}$  de pieds pour 100 ( $\frac{22}{100}$ ), si les auteurs des projets le préfèrent.

Dans chacune des grandes travées, la partie la plus basse du pont sera de 135 pieds (41<sup>m</sup>147) au-dessus du niveau moyen des hautes marées, au milieu de la rivière.

*Sur les chaussées.* — En travers des longues travées et de l'île de Backwell, les chaussées pour les voitures seront sur le même niveau que le chemin de fer, ce sol aura donc une largeur totale de 34 pieds (10<sup>m</sup>363) sur les accès direct ou de retour, les pentes seront de 4 pieds pour 100 ( $\frac{4}{100}$  ou  $\frac{1}{25}$ ) avec des repos de niveau, tels qu'ils sont indiqués sur le profil. Un espace libre de 16 pieds (4<sup>m</sup>877) sera ménagé, dans tous les cas, au-dessus de la chaussée, et un espace de 20 pieds (6<sup>m</sup>096) au-dessus de la voie ferrée.

*Sur les trottoirs.* — Les pentes à donner aux trottoirs seront laissées au jugement des auteurs de projets. Dans le cas d'un changement relatif de niveau avec la chaussée, il sera préférable de rattraper le niveau au moyen de rampes n'excédant pas  $\frac{1}{12}$  d'inclinaison, plutôt que de recourir à des escaliers.

#### FONDATEMENTS ET MAÇONNERIE

Où cela sera pratique, l'auteur d'un projet devra s'appliquer à faire reposer les fondations sur le roc, dont la limite est tracée à peu près sur le profil. Dans tous les cas, la maçonnerie devra être très-soignée et faite de mortier et ciment hydraulique. Une somme de 100,000 dollars, environ 500,000 francs, sera supposée par chaque auteur de projets, dans ses estimations, pour couvrir les frais des batardeaux nécessaires pour asseoir les fondations des culées. Celles-ci doivent être en maçonnerie, depuis le niveau du roc jusqu'à une hauteur d'au moins dix pieds (3<sup>m</sup>050) au-dessus des hautes eaux ; au delà, elles peuvent être soit en maçonnerie, soit surmontées de tours en fonte, en fer ou en acier doux, au choix des auteurs.

Toute la maçonnerie sera conçue de façon que le poids distribué, y compris

celui de la construction supérieure chargée, n'excède pas 180 livres au pouce carré (12<sup>k</sup>660 par centim. carré). Celle sur laquelle poseraient des colonnes en fer, sera proportionnée de telle sorte que la pression sur la surface de contact avec la pierre du piédestal soit limitée à 300 livres par pouce carré (21<sup>k</sup>090 par centim. carré).

Le fer ou l'acier employé dans l'érection des tours, sera aussi proportionné conformément aux prescriptions indiquées ci-après, pour leur emploi dans les autres parties du pont.

## POIDS VIFS OU POIDS ROULANTS

En dehors du poids de la construction elle-même, de ses planchers et dépendances, les poids mouvants suivants seront prévus :

1° *Pour la voie ferrée.* — Deux locomotives de 45 tonnes accouplées, occupant chacune, avec son tender, une longueur de 48 pieds (14<sup>m</sup>630), et avec 75,000 livres (34,119 kilos) sur une base de roue conductrice de 15 pieds (4<sup>m</sup>572), suivie d'un train de voitures chargées pesant 1,500 livres (680 kilog.) par pied courant (0<sup>m</sup>305) de la voie, ou 2,230 kilog. par mètre courant. Les charges imposées par ce poids sur les différentes longueurs de la voie seront comme suit :

PIEDS	MÈTRES	LIVRES par pied courant	KILOG. par mètre courant
700 à 800	213 <sup>m</sup> 356 à 243 <sup>m</sup> 836	1.620	2.049
600 à 700	182 877 à 213 356	1.640	2.111
500 à 600	152 397 à 182 877	1.670	2.188
400 à 500	121 918 à 152 397	1.710	2.543
300 à 400	91 438 à 121 918	1.780	2.647
200 à 300	60 959 à 91 438	1.920	2.855
150 à 200	45 719 à 60 959	2.040	3.033
100 à 150	30 500 à 45 719	2.340	3.480
80 à 100	24 384 à 30 500	2.500	3.718
60 à 80	18 288 à 24 384	2.700	4.015
40 à 60	12 192 à 18 288	3.000	4.461
25 à 40	7 620 à 12 192	3.300	4.907
15 à 25	4 267 à 7 620	4.000	5.948
15 ou moins.	4 267 ou au-dessous.	5.000	7.435

En calculant les poids pour des distances très-rapprochées des points ci-dessus, on variera les poids par pied ( $0^m305$ ) afin que le poids vif total ne soit jamais moindre que s'il était compté pour une plus courte distance au maximum suivant par pied courant.

Les efforts doivent être calculés pour telles positions des roues et poids qui peuvent produire l'effet maximum sur les différentes parties.

2° *Pour les chaussées.* — Un poids vif de 75 livres par pied carré ( $366^k195$  par mètre carré), ou de 750 par pied courant (1,116 kilog. par mètre courant) sur chaque chaussée de 10 pieds ( $3^m050$ ) de largeur, pour toutes les travées jusqu'à 100 pieds ( $30^m050$ ), doit être supposé. Pour les longues travées au-dessus de la rivière, le poids vif sera pris à 50 livres par pied carré ( $241^k130$  par mètre carré) ou 500 livres par pied courant (735 kilog. par mètre courant) d'une chaussée de 10 pieds ( $3^m050$ ) de largeur.

Les poutres du plancher et les joints seront cependant calculés pour un poids fixe de 100 livres par pied carré ( $488^k261$  par mètre carré). Le plancher de la chaussée consistera en madriers de chêne de 3 pouces ( $0^m076$ ) d'épaisseur; les poutres principales du plancher seront en fer.

3° *Pour les trottoirs.* — On supposera un poids mouvant de 75 livres par pied carré ( $366^k195$  par mètre carré) ou de 375 livres par pied courant ( $558$  kilog. par mètre courant) sur chacun d'eux. Le plancher sera en planches de sapin de 2 pouces ( $0^m051$ ) applanées et garnies de garde-fous.

Les dessins devront indiquer les moyens proposés pour l'établissement de la seconde voie.

#### EFFORTS PERMIS

Dans tous les cas, les plans seront faits pour le maximum d'effort qui peut être produit sur chaque partie de la construction.

Toutes ces parties seront dessinées de façon que les efforts s'y produisant puissent être calculés exactement au moyen des formules usuelles reconnues correctes par les ingénieurs des ponts.

Les efforts produits par le vent seront calculés en se basant sur deux suppositions: 1° que les différentes parties du pont sont chargées des poids roulants présumés et que le vent exerce une pression de 24 livres par pied carré ( $117^k$  par mètre carré), dans une direction perpendiculaire à l'axe du pont sur la surface de la construction, ainsi que sur la surface d'un train de wagons de 10 pieds ( $3^m050$ )

de hauteur ; 2° que le vent exerce une pression de 40 livres par pied carré (195 kilog. par mètre carré), normalement à la surface exposée, le pont non chargé.

Dans l'une et l'autre de ces suppositions le coefficient de sécurité sera 3, et la base des chevalets sera étendue assez loin pour s'opposer à toute tendance de renversement. On devra tenir compte des effets des changements de température jusqu'à 150° Fahrenheit (65° centig.) sur les parties susceptibles de dilatation ou de contraction et l'on devra se prémunir contre eux.

Les différentes travées seront dessinées en sorte que leur flèche, sous le maximum de poids vif et d'efforts supposés, ne dépasse pas la  $\frac{1}{1200}$  partie de leur longueur. Le fléchissement latéral ou le mouvement provenant des efforts supposés du vent, sera limité à la  $\frac{1}{800}$  partie des travées et, dans les deux cas, les parties seront proportionnées de manière à revenir à leur position primitive, aussitôt que l'effort a cessé son action.

*Membres de tension ou éléments travaillant à l'extension.* — Pour le poids de la construction, pour les effets du vent et les changements de température, un coefficient de sécurité de 3 sera adopté ; pour le poids vif ou roulant le coefficient de sécurité sera de 8.

La totalité des matériaux dans les différentes parties de la construction sera proportionnée à ces coefficients de sécurité combinés, c'est-à-dire que si l'on veut, dans une partie affectée en tension, se servir de fer laminé, ayant un maximum de force de 54,000 livres par pouce carré (37<sup>97</sup> par millim. carré) en grande surface, il peut être affecté à 18,000 livres par pouce carré (12<sup>66</sup> par millim. carré), s'il porte seulement le poids mort, ou à 6,750 livres par pouce carré (4<sup>700</sup> par millim. carré), s'il est seulement exposé à un poids vif.

La grandeur ou superficie de section des différents membres de tension devra, par conséquent, être déduite en ajoutant au nombre de millimètres carrés nécessaires pour supporter le poids mort, à raison de 18,000 livres (12<sup>066</sup> par millim. carré), le nombre de millimètres carrés nécessaires pour supporter le poids vif à raison de 6,750 livres par pouce carré (4<sup>700</sup> par millim. carré).

Dans la répartition des charges combinées du poids vif et du poids mort, on tiendra compte de la fréquence des effets, et une plus grande résistance devra être donnée aux parties qui travaillent à chaque passage des trains ou des voitures, qu'à celle sur lesquelles la charge ne se produit que rarement. Ainsi les poutres en fer du plancher et les longrines du plancher recevront seulement un effort de 6,750 livres par pouce carré (4<sup>700</sup> par millim. carré), tandis que les barres des cordes peuvent soutenir tout l'effort produit par les poids vif et mort combinés. Aucune partie ayant moins de 5 pieds (1<sup>m525</sup>) de long ne sera affectée en tension de plus de 7,000 livres par pouce carré (4<sup>900</sup> par millim. carré).

Tous les membres qui doivent résister à des efforts de tension seront préféralement en fer affiné, ayant un minimum de résistance à la rupture de 50,000 livres par pouce carré (35 kilog. par millim. carré) pour les longues pièces, et un maximum d'élasticité d'au moins 26,000 livres par pouce carré (18'980 par millim. carré). Ce fer doux devra s'allonger d'au moins 15 pour cent avant de se briser, et le maximum d'élasticité devra correspondre au point auquel l'allongement produit par l'effort cesse de s'accroître dans la même proportion que l'effort, ce point étant celui à partir duquel la barre montre les premiers signes d'un allongement permanent considérable.

Si les auteurs proposent l'emploi de l'acier en tension, ils seront tenus de prouver qu'il est convenable dans ce but, non seulement au point de vue de la résistance aux efforts de tension et à des vibrations répétées, mais aussi à celui de la certitude absolue de l'uniformité dans sa fabrication ou de son homogénéité.

*Éléments travaillant à la compression.* — Les membres de compression peuvent être en fonte, en fer ou en acier doux. Pour le fer, quand la longueur des pièces des piles ne dépasse pas vingt-quatre fois le plus petit rayon de giration, la pièce peut être soumise à un effort de 8,000 livres par pouce carré (5'620 par millim. carré).

Quand le membre a une plus grande longueur proportionnelle, sa dimension, s'il est en fer, sera déterminée par la formule de Gordon pour les piliers en fer à bases plates, dans la forme modifiée suivante :

$$P = \frac{40,000}{l^2} \left( 1 + \frac{r^2}{40,000} \right)$$

dans laquelle P indique le maximum de force par pouce carré de section ;  $l$ , la longueur de la pièce, et  $r$  le plus petit rayon de giration de sa section.

Pour ce maximum de force, on prendra un coefficient de sécurité, 3 pour le poids mort et 6 pour le poids vif, et le poids mort équivalent aux deux combinés sera donné par la formule :

$$\frac{3 \text{ poids morts} + 6 \text{ poids vifs}}{3} = \text{équivalent poids mort,}$$

pour lequel le coefficient de sécurité sera 3. Des résultats ainsi obtenus, on déduira 20 pour 100 pour chaque cheville dans un bras ou montant.

On donnera la préférence aux dessins où les membres en compression seront le plus accessibles à l'examen, au nettoyage et à la peinture.

Les auteurs de projets, qui se proposent d'employer l'acier en compression,

auront à fournir des preuves, reposant sur des expériences incontestables, que les efforts qu'ils proposent de lui faire supporter sont relativement aussi convenables que ceux prévus plus haut pour le fer, et de la certitude absolue de l'uniformité dans sa force.

En l'absence de ces preuves, les effets autorisés sur l'acier ne seront pas supérieurs à 20 pour cent de plus que ceux autorisés sur le fer.

La fonte ne sera pas employée pour les membres principaux des travées. Elle sera proportionnée pour la compression, selon la modification apportée par Rankine à la formule de Gordon :

$$P = \frac{80,000}{l^2} \left( 1 + \frac{3,200}{r^2} \right)$$

avec un coefficient de sécurité de 4 pour le poids mort et de 8 pour le poids vif. Aucune partie de fonte ne devra avoir moins de  $\frac{3}{4}$  pouce (0<sup>m</sup>018) d'épaisseur, et, encore, ne devra-t-elle pas servir là où un effort de cisaillement ou de tension pourra se produire, ou là où il peut y avoir une probabilité que la forme des parties amènerait des imperfections dans les fontes, telles que des soufflures, etc.

Des tables d'efforts doivent être soumises à l'examen des ingénieurs, montrant séparément les effets causés par les poids mort et vif, aussi bien que par le vent et les changements de température.

Les estimations et devis devront donner des détails suffisants pour qu'on puisse en reconnaître l'exactitude, et indiquer en même temps les quantités de chaque nature de matériaux, et les prix auxquels les auteurs proposent de les fournir, mis en place.

#### DÉTAILS DE CONSTRUCTION

La construction du pont devra s'effectuer sans interruption de la navigation sur l'East River, et sans entraver la circulation d'aucune rue, route ou avenue.

La préférence sera donnée aux projets qui, à dépense égale, prennent le moins de largeur sur le sol du côté de New-York, afin de réduire les dépenses causées par les indemnités d'expropriation.

Les projets prendront pour base l'emploi des meilleurs matériaux.

La fonte peut être employée pour les tours, les lits, les piédestaux et les éperons. Elle doit être de la meilleure qualité de fonte grise.

On donnera la préférence aux extrémités recourbées dans tous les membres de tension

Si les auteurs proposent l'emploi de fers soudés, ils devront indiquer par quels moyens ils procèdent pour faire ces soudures, et en prouver l'avantage.

Les trous des rivets, dans les membres en fer, peuvent être percés à la machine, mais ils doivent l'être d'une façon exacte. Tous les autres trous seront faits au foret. Les extrémités élargies des barres à œils seront faites de sorte que la section du métal, dans la tête (à l'exclusion du trou de la cheville), soit de 50 pour cent plus considérable que dans le corps de la barre. Les trous des chevilles seront percés assez exactement pour que les barres ne varient pas dans leurs longueurs de plus de  $\frac{1}{64}$  de pouce ( $\frac{3}{10}$  millimètre).

Les chevilles seront en fer et devront, à  $\frac{1}{32}$  de pouce près ( $\frac{7}{10}$  millimètre), garnir le trou de cheville. Leur section doit être telle que l'effet de cisaillement ne dépasse pas 7,000 livres par pouce carré (4920 par millimètre carré), et leur diamètre ne sera pas de moins des deux tiers de la plus grande dimension d'aucun membre de tension s'y attachant. Il serait préférable que tous les différents membres s'attachant aux chevilles fussent disposés aussi compactes que possible.

Toutes les jonctions vissées auront un diamètre tel, qu'il prévoira un excès de matière de 10 pour cent, après déduction de la profondeur du filet de la vis, avec des écrous de force équivalente, et elles auront au moins trois pas de vis au delà des écrous.

Les barres coudées auront, dans toutes leurs parties, une force suffisante pour permettre qu'à l'essai une fracture se produise plutôt dans le corps de la barre que dans l'un de ses coudes.

On ne se servira pas de fer ou d'acier ayant moins de  $\frac{3}{8}$  de pouces (0<sup>m</sup>009) d'épaisseur, excepté aux endroits où le nettoyage et la peinture sont toujours possibles sur les deux faces, et où la surface entière est entourée de matières inoxydables.

Les projets peuvent prévoir l'établissement de chevalets en bois sur la côte de Long-Island, mais seulement s'ils présentent une économie sur le fer, et que la charpente soit disposée de façon qu'on puisse renouveler les pièces qui se détérioreraient.

#### DISCUSSION DES DIFFÉRENTS PROJETS

N° 1. — Planche XLVII, fig. (1). — Le plan soumis à l'examen par M. L. W. Wright comporte, dans les grandes portées, une poutre à treillis avec un arc courbe considérable.

Il ne donne pas les calculs déterminatifs des forces qui agissent sur les différentes parties.

Le comité a jugé que l'auteur, après un examen attentif, modifierait entièrement son projet, s'il faisait les calculs exacts des forces qui se développent par le poids de la poutre même.

— A première vue, il est facile de se rendre compte que ce pont ne répondrait pas aux conditions élémentaires de résistance, puisqu'en effet, au milieu de la poutre, les cordes inférieure et supérieure se rapprochent, tandis que, théoriquement, elles devraient plutôt s'éloigner de façon à amoindrir les efforts sur ce point central des cordes. L'auteur de ce projet, en les rapprochant, tend donc au contraire à augmenter ces efforts, ce qui est opposé à toutes conditions pratiques de stabilité. —

N° 2. — Planche XLVII, fig. (2). — Le plan de M. G. A. Karwiese consiste en un arc, dont la partie inférieure est parabolique et la partie supérieure légèrement cambrée. Ces deux parties sont formées par des poutres tubulaires, reliées comme on le voit dans la figure.

Si ce pont devait être construit au-dessus d'un fleuve très-encaissé, de façon à ce qu'on puisse appuyer les arcs sur la roche naturelle, le plan serait dans de bonnes conditions et pourrait être adopté en raison de l'économie qu'il présente. Le sommet de l'arc parabolique et les extrémités où posent cet arc sont disposés de façon à ce que les effets de dilatation et contraction, produits par les variations de la température, soient éliminés, tandis que la corde supérieure ne sert qu'à donner à cet arc de la rigidité. La nécessité de construire les culées de ces arcs à une grande hauteur au-dessus du sol, pour ne pas gêner la navigation, causerait de grandes dépenses, sans donner pour cela satisfaction aux exigences du cahier des charges, puisque pour l'élévation de la plus grande portée, on exige un espace libre de 760 pieds (231<sup>m</sup>642), tandis qu'au milieu l'auteur indique une hauteur de 135 pieds (41<sup>m</sup>147), puis de 130 pieds (39<sup>m</sup>623), sur une longueur de seulement 230 pieds (70<sup>m</sup>103) au milieu de la portée, et de 97 pieds (29<sup>m</sup>565) seulement, à une distance de 80 pieds (24<sup>m</sup>384) des culées, en un point où les navires doivent pouvoir passer.

La méthode proposée pour le montage de cette travée consiste à l'élever par moitié sur chaque rive du fleuve, une des extrémités étant placée sur un pivot et l'autre sur un ponton ; puis de faire décrire à ce ponton un quart de cercle, en se servant de la culée comme pivot, et en réunissant alors les deux moitiés de ces arcs. Cette méthode semble absolument hasardeuse bien qu'ingénieuse, mais non seulement elle empêcherait la navigation, mais encore on courrait grand risque de perdre toute la construction.

Ces objections ont paru de nature à faire écarter absolument ce projet.

— Avec les moyens dont on dispose aujourd'hui, cette combinaison ne nous paraît pas aussi impraticable que l'a jugé le Comité. Si l'on considère, en effet, la facilité avec laquelle on manœuvre des navires de 4 à 5,000 tonnes, au moyen d'amarres, pour les faire pénétrer dans l'étroit chenal donnant accès aux Docks, nous ne voyons pas comment le ponton, qui ne supporterait même pas la moitié du poids de la demi-travée, ne pourrait pas, dans une journée calme et sur un fleuve comme l'East River, en se servant des culées comme point d'amarre, amener sur l'eau, avec l'aide de câbles, un poids de cette nature, ni pourquoi la jonction des deux demi-travées ne pourrait pas s'effectuer en donnant toutes garanties. —

N° 3. — Planche XLVII, fig. (3). — Les dessins de M. W. J. Morris, présentés pour la Compagnie des Ponts à Cincinnati, comportent pour les grandes travées, un câble de suspension formé en fils d'acier, rendu rigide au moyen de deux arcs paraboliques placés sur ce câble et réunis au milieu de la portée, comme on le voit dans la figure.

Ce projet donne, parmi les études présentées, le seul système de suspension, où la rigidité désirable pour un pont de chemin de fer soit réalisée d'une façon satisfaisante. Quoique les plans soient trop défectueux pour être admis tels qu'ils sont, ils présentent une excellente particularité, celle de donner à la construction, dans toutes ses parties, une grande harmonie. Elles travaillent toutes également, et il n'y a aucun doute sur les forces qui agissent sur chacune d'elles ; pour que ce fait se produise, il nous semble que les câbles doivent être attachés au milieu de la portée. L'auteur dit qu'en effet cela doit se faire, mais les plans ne montrent pas de quelle manière, et il nous semble difficile d'appliquer cette disposition à un câble de fer.

Les détails de ce pont sont si imparfaits, que nous ne saurions le recommander. La grande longueur des câbles postérieurs produit une élévation et un abaissement de  $4 \frac{3}{10}$  de pieds, (1<sup>m</sup>320) au centre de la travée, selon les variations extrêmes de la température. Non seulement le poids mort de la structure est calculé au-dessous de la réalité, mais il y a encore de graves erreurs de calcul dans les forces qui correspondent à certaines répartitions du poids, et qui, rectifiées, conduiraient à employer une plus grande quantité de matériaux et, par suite, à augmenter le prix indiqué dans le devis estimatif.

Ces erreurs et ces défauts, qui affectent des parties importantes de la construction, vicent le projet à tel point qu'ils le rendent inadmissible.

N° 4. — Planche XLVII, fig. (4). — M. A. Lucius propose une construction ayant de grands rapports avec les types existants pour les portées ordinaires.

Les approches sont posées sur des chevalets en fer, et les grandes travées sont du système Pratt, modifiées comme l'exige leur propre poids mort, si considérable qu'il n'est pas besoin de contre-bras pour contre-balancer l'effet du poids vif. En examinant les calculs des forces et les quantités de matériaux, on a reconnu leur correction, et le plan remplit toutes les conditions imposées, quant à la stabilité, aux efforts et aux dispositions des routes.

Ce plan démontre bien comment certains types de ponts, excellents lorsqu'ils sont adoptés pour certaines longueurs de travées, deviennent coûteux quand ils sont appliqués à de grandes travées ou dans certaines conditions d'emplacement, et aussi combien il est difficile de dire d'aucun type qu'il est le meilleur.

Ainsi, pour une ouverture au-dessous de 20 pieds (6<sup>m</sup>096), nous employons une simple poutre en bois ou en fer. Pour des travées d'environ 40 pieds (12<sup>m</sup>192), des poutres pleines constituent une meilleure construction ; tandis que, pour des portées de 100 (30<sup>m</sup>500) à 400 pieds (121<sup>m</sup>918), différents systèmes de poutres à grandes mailles, variant dans leur composition avec la portée, ont été trouvés préférables, selon les exigences de chaque cas.

Quand nous arrivons à des travées de 6 à 700 pieds (182<sup>m</sup>877 à 213<sup>m</sup>356), il est bon de se départir de la pratique habituelle, et les types des travées de 4 à 500 pieds (121<sup>m</sup>918 à 152<sup>m</sup>997) ne sont plus les plus économiques. C'est en raison de ce principe que quelques propositions de nouveaux types de pont sont faites de temps en temps par les ingénieurs qui s'occupent de ces questions. Beaucoup d'entre elles ne reçoivent pas de suite, car les occasions de construire des grandes travées sont très-rares ; et la plupart du temps celles de ces propositions qui ont du mérite n'ont pas développé les avantages qu'auraient ces longues travées, au point de vue économique.

On verra donc que M. Lucius, tout en se conformant de trop près aux types existants, a produit un plan qui, malgré et peut-être à cause de ses autres mérites, est très-coûteux.

Le prix est estimé à 2,523,072 dollars (12,615,360 fr. environ) pour une seule voie, sans le tunnel, tandis que quatre autres projets au moins, comportant ces éléments, coûteraient moins de 2,000,000 de dollars.

Mais il existe en outre, dans la méthode proposée pour placer les fermes, une difficulté et un danger. Il propose de les construire sur le terrain, avec une extrémité projetant néanmoins sur l'eau ; de placer cette extrémité sur un chaland [la plus grande travée a un poids total de 4,418,000 livres (2,003,602 kilog.)] et de la faire avancer au travers du bras du fleuve en la roulant sur la culée, jusqu'à ce qu'elle atteigne sa place définitive sur l'autre culée. Il prétend que cette opération n'obstruerait la navigation qu'un seul jour pour chaque ferme.

Cela nous paraît une opération hasardée et, en raison des obstacles qui pourraient se produire, soit par le passage de navires et par le vent ou la marée, ou encore par des délais et des difficultés imprévues dont une seule suffirait pour anéantir une construction si coûteuse, nous ne voudrions pas conseiller de courir d'aussi grands risques, la construction fût-elle plus économique.

— Ici, comme nous l'avons déjà dit à l'occasion du plan n° 2, le montage ne nous paraît pas si impraticable ni si hasardé que le déclare le Comité, et ses objections ne nous paraissent pas concluantes, puisque l'on peut parfaitement choisir, pour l'opération définitive du montage, un jour où ce travail ne serait troublé ni par la marée, ni par le vent. —

N° 5. — Planche XLVII, fig. (5). — M. W.-S. Pope propose, au nom de la Compagnie des travaux de Ponts de Détroit, un pont suspendu à poutre auxiliaire. Les câbles seraient en fils d'acier, et les grandes travées auraient la forme indiquée sur la figure.

Les descriptions qui accompagnent les plans sont les plus complètes que nous ayons reçues. Les natures des efforts et leurs calculs, ainsi que la description des parties, sont disposés si intelligemment qu'on a immédiatement une idée claire de chacun des détails du dessin.

Nous ne pouvons accepter cependant comme exactes quelques-unes des hypothèses adoptées pour la distribution des efforts. La poutre de rigidité, qui supporte la chaussée sur les grandes travées, est suspendue au câble par des tiges de suspension, et aux tours par une série de haubans qui s'étendent jusqu'à environ la moitié de la distance de l'extrémité des tours au milieu du pont, comme dans le pont suspendu du Niagara. Dans ce système, on prétend que les câbles supportent une moitié du poids, et que l'autre moitié est supportée par les haubans. Or, ces câbles et ces haubans forment deux systèmes de suspension indépendants et distincts, et il n'existe aucune preuve que le poids placé à un point quelconque se distribuera dans la proportion particulière prétendue. Si bien ajustés qu'ils soient, au moment de l'érection, les deux systèmes éprouvent des altérations résultant des changements dans la température, et ces changements doivent altérer leur position et leur longueur relatives, et aussi les proportions relatives des poids qu'ils supportent. C'est le cas qui se produit au pont du Niagara; la contraction du câble, dans une froide journée d'hiver, élève la plate-forme et soulage les haubans du pont, à ce point qu'ils se courbent. Les câbles, dans ce pont, doivent donc être construits assez solides pour faire tout le travail avec un coefficient de sécurité d'environ  $4\frac{1}{2}$ , et les haubans doivent servir seulement à rendre la poutre rigide.

Nous voyons cependant que le projet ne prévoit pas les effets des changements de température qui sont très-considérables dans les grandes travées.

Le coût énorme est la condamnation de ce plan. L'estimation s'élève à 3,700,000 dollars, (18,500,000 fr.), sans le tunnel. Il est juste pourtant de déclarer que ce chiffre comprend une allocation de 20 pour 0/0 pour couvrir les frais de travaux d'établissement, l'estimation nette restant à 3,066,400 dollars (15,332,000 francs) pour un pont à une seule voie ; ce chiffre, néanmoins, malgré cette réduction, est le plus élevé sur la liste.

N° 6. — Planche XLVII, fig. (6). — C'est aussi un pont suspendu de même espèce, qui est soumis par E.-W. Serrell et fils ; les câbles se composent de barres à œils qui, unies à un système de haubans, soutiennent une poutre rigide.

Nous ne pouvons accepter ce projet qui ne répond pas à la condition du programme, stipulant que la construction doit être conçue de manière à prévoir le maximum des forces qui peuvent se produire sur chaque partie du pont.

Les auteurs prétendent que tout le poids mort de la construction, dans les longues travées, sera supporté par les barres à œils, ce qui est vrai, jusque-là ; mais ils prétendent également que, dans la portion où les deux systèmes s'étendent, tout le poids vif sera supporté par les haubans, aussi loin qu'ils s'attachent, et que les chaînes supporteront le reste, c'est-à-dire cette portion du poids vif qui se trouve entre les extrémités des systèmes de haubans. Cette prétention ne paraît justifiée à aucun des membres du Comité. Il lui a semblé qu'en concevant une structure composée, dans laquelle différents systèmes doivent supporter le poids, comme dans le cas d'une chaîne de barres à œils et de haubans diagonaux, ou dans celui d'un arc et d'une poutre, il est naturel de prétendre que le poids sera réparti en quelque proportion entre eux ; mais, dans ces cas, il est indispensable pour la sécurité que chacun d'eux soit d'une force suffisante pour supporter seul tout le poids qui peut se produire sur les deux ; et comme, dans le cas actuel, le poids mort et le poids vif sont principalement concentrés sur le même plancher, il est probable que les forces résultant des deux poids suivront la même loi de stabilité et prendront la plus courte voie possible vers le sommet des tours, compatible avec la répartition des poids et la constitution du pont.

Les calculs de forces résultant du poids vif supporté par le câble entre les extrémités des haubans, et de ceux dus au vent agissant de la rivière sur les faces des tours, laissent beaucoup à désirer.

Les poutres de rigidité sont de la hauteur de  $12 \frac{1}{2}$  pieds (3<sup>m</sup>810), ce qui nous paraît insuffisant et rendrait trop flexible le milieu de la travée, dont cette partie serait soumise à de trop grands efforts, si des trains à grande vitesse passaient sur elles, ainsi que cela doit se produire.

Les auteurs du projet proposent une disposition ingénieuse pour assurer le travail

concourant du câble et des haubans, lors des changements de température. Ils proposent de fixer aux selles sur les tours un levier, et d'attacher les haubans à une série de pivots placés sur ce levier, de telle façon que ses mouvements compenseront les différentes contractions et extensions des chaînes et des haubans, selon les différentes températures. Nous ne saurions dire si cette disposition donnerait les résultats attendus. S'il était certain que tous les différents éléments du pont fussent toujours exposés également au soleil et également chauffés ou refroidis, et que la dilatation du câble et de la poutre rigide fût toujours linéaire, au lieu de présenter une courbe dont la courbure change avec la température, le résultat poursuivi par les auteurs serait acquis sans aucun doute. Cependant, il est bon d'étudier ce point avant de recommander l'adoption d'une méthode qui, bien qu'ingénieuse, n'est encore qu'à l'état d'expérience future.

Il faut faire remarquer qu'aucun des dessins soumis et conçus avec l'emploi des ponts suspendus ne remplit les conditions stipulées. Cela résulte, en partie, des défauts dans les détails, mais surtout de la difficulté d'adapter ce système aux nécessités du trafic auquel on doit satisfaire, et qui exige une structure rigide. Les ponts suspendus avec poutres rigides sont nombreux et ont été érigés avec succès pour les routes sur lesquelles les poids roulants sont légers et ont une vitesse réduite, donnant ainsi à une construction flexible le temps de s'assimiler les efforts successifs correspondant aux déplacements des poids qu'elle supporte. Quand, au contraire, les poids énormes et rapprochés des locomotives et des trains passent à grande vitesse (comme ce serait le cas sur un pont de 2 milles de longueur, assez coûteux pour ne négliger aucun des profits qu'il peut donner, afin de payer les intérêts du capital engagé), la construction doit encore être assez rigide pour ne recevoir aucune secousse sous les effets du poids vif. Cette rigidité indispensable peut être donnée, pensons-nous, par une poutre auxiliaire, mais la rigidité même de la poutre, si elle est continue, l'empêche de travailler en harmonie, selon la température, avec le câble. Il en est ainsi dans les ponts routiers auxquels nous avons fait allusion, et au pont du Niagara (sur lequel on n'autorise que le mouvement ralenti des trains), où on a employé une poutre auxiliaire continue. De là, l'obligation d'employer un système de poutre auxiliaire qui reste fixe dans son milieu. Le projet que nous venons d'examiner ou les autres dispositions, proposées jusqu'à présent (et que nous n'avons la place pour discuter), forcent à s'éloigner considérablement des méthodes ordinaires de suspension, et aucun des dessins soumis (excepté, peut-être, celui de la Compagnie des Ponts de Cincinnati) ne semble reconnaître cette obligation.

N° 7. — Planche XLVIII, fig. (1). — Le dessin de MM. Henry Flad et C<sup>ie</sup> consiste, pour les grandes travées, en une suspension à lignes droites ou plutôt de «derrick

bridge, » disposée en vue d'une double voie dans toute la longueur, y compris les accès.

La figure (1) représente l'élévation générale de la grande travée.

La difficulté d'empêcher les longues chaînes de suspension de plier sous leur propre poids et de déformer la figure théorique de la disposition du pont, est surmontée ingénieusement au moyen d'un système de bras et d'attaches unissant tous les joints des lignes droites par des arcs circulaires les empêchant de prendre la forme de chaînette, en les maintenant en ligne droite. Nous croyons que ce détail est absolument nouveau et qu'il surmonte en grande partie les objections qui se sont jusqu'ici élevées contre les ponts « derrick. »

Les calculs des forces et les supputations des poids sont corrects, mais il existe quelques défauts dans les contreventements entre les deux poutres principales, qui accroîtraient sensiblement l'estimation des quantités des matériaux. Le détail du dessin qui donne lieu à la plus grave objection, est que la chaussée et les trottoirs sont placés sur des consoles, se projetant ainsi en dehors de l'intervalle des poutres, et mal fixés aux lignes droites de suspension, donnant ainsi une base étroite et une disposition regrettable. Le projet est bon néanmoins, mais il n'est pas le plus économique. Son estimation s'élève à 2,610,785 dollars (13,053,925 fr.), pour une double voie dans toute la longueur, l'auteur du projet n'ayant pas présenté l'étude pour un pont à une seule voie susceptible d'un élargissement futur.

Ce qui motive probablement la plus grande dépense dans le projet de MM. Flad et C<sup>ie</sup>, est ce fait que, devant chaque couple de barres droites de suspension supporter une longueur uniforme de 50 pieds (15<sup>m</sup>240), ils doivent tenir compte du maximum de poids vif qui se produit sur une telle travée, soit 4,750 livres par pied courant (7,063 kilog. par mètre courant), tandis que le poids maximum qui peut se présenter sur la totalité des 734 pieds (223<sup>m</sup>719) de ces travées, donne seulement une moyenne de 3,370 livres par pied courant (5,011 kilog. par mètre courant.)

Il n'est que juste de mentionner, dans cette circonstance, que deux plans dignes d'éloges pour des ponts à double voie de chemins de fer et de route, du système « derrick, » ont été soumis, dès le début, au Comité par le professeur W. P. Trowbridge, de New-Haven. Nous regrettons que ses nombreuses occupations l'aient empêché de les réviser pour les rendre conformes aux prescriptions du comité, d'autant plus que le professeur Trowbridge fut l'un des premiers à s'intéresser au projet d'un pont sur l'île de Blackwell, et à proposer à cet effet un pont du système « derrick. »

Peu des sept projets qui ont été déjà discutés sont l'œuvre des ingénieurs ordinaires des Compagnies de construction de ponts. Quelques-unes des estimations

peuvent donc nécessiter une révision des prix et des quantités de matériaux nécessaires, afin d'être absolument sûr du prix de revient.

— Les deux plans qui restent à décrire ne sont pas seulement les meilleurs en eux-mêmes, selon notre opinion à tous, mais encore ils sont appuyés par des entrepreneurs de ponts occupant de hautes situations et qui nous paraissent disposés à passer des contrats pour leur construction, moyennant un prix déterminé.

L'un et l'autre de ces plans sont satisfaisants et peuvent être adoptés et construits; et il est hors de doute qu'après les modifications et améliorations finales que les constructeurs voudraient certainement y introduire, ils donneraient entière satisfaction.

N° 8. — Planche XLVIII, fig. (2). — La Société Clarke, Reeves et C<sup>o</sup>, de la Compagnie des travaux de ponts à Phœnixville, soumet un projet d'après lequel elle propose d'employer, pour les travées au travers de la rivière, le système d'arc à charnières, inventé et breveté, par le capitaine James B. Eads, l'ingénieur distingué du pont de Saint-Louis.

Une élévation est présentée dans la figure (2).

L'arc proprement dit consiste en deux poutres lenticulaires s'appuyant l'une contre l'autre au milieu, où elles sont réunies à charnières, ainsi que sur les sommets des piles, avec deux plus petites poutres de même forme, qui continuent la forme de l'arc jusqu'au point d'appui sur la fondation du roc en dessous.

Les arcs principaux ou membres supérieurs sont deux colonnes « Phoenix » en fer, de 30 pouces (0<sup>m</sup>750) de diamètre extérieur, réunies transversalement par des pièces droites, chacune de la longueur d'un panneau, excepté aux ouvertures nécessaires pour les routes, la voie et la chaussée. A ces endroits, elles auront au moins la longueur de deux panneaux, et les joints correspondants des colonnes contiguës seront de même renforcés.

Les membres inférieurs ou contre-arcs se composent de fers plats et cornières rivés ensemble, de manière à former des fers à U. Les barres du treillis sont en fers à U de 10 pouces (0<sup>m</sup>254), attachés aux arcs supérieur et inférieur par des chevilles de réunion. Ces contre-arcs forment entre les piles deux demi-arcs ou « lunettes, » dont les poussées sont principalement transmises à la fondation par la continuation de poutres à arc, déjà mentionnées.

Les piles, qui sont des colonnes « Phoenix » avec des bras diagonaux transversaux, doivent recevoir seulement les effets qui peuvent se produire sur eux par suite d'une charge inégale des arcs et une partie des efforts de la pression du vent. Ces efforts sont alternativement à la compression et à la tension, et les piles sont en conséquence prévues pour résister à ces effets et pour être ancrées à leurs fondations.

Le plancher est supporté par des poutres en fer de deux pieds (0<sup>m</sup>610) de hauteur, faites de fers plats et cornières, et de solives longitudinales de 15 pouces (0<sup>m</sup>381) de hauteur. Les poutres du plancher sont suspendues à l'arc par des barres plates de différentes longueurs, unies entre elles de façon à former un treillis carré. La tige de suspension la plus longue est placée au milieu du pont; il a 80 pieds (24<sup>m</sup>384) de long. Le plancher est divisé par quatre fermes ou arcs en trois chaussées de largeur égale, la chaussée centrale étant occupée par la voie ferrée et les deux autres par les routes et trottoirs. C'est là une disposition convenable pour une seule voie de chemin de fer; mais si une seconde devait y être ajoutée plus tard, les prévisions doivent se produire dès maintenant en construisant l'arc extérieur assez solidement pour supporter le poids qu'on devra lui faire supporter. L'estimation de cette seconde voie est portée par les auteurs à 151,000 dollars (755,000 fr.). La largeur totale de la construction est de cinquante sept pieds (17<sup>m</sup>373), mesurée aux bords extrêmes.

Ainsi qu'on devait l'attendre d'une Compagnie d'une expérience aussi connue, les plans sont très-soigneusement étudiés dans tous leurs détails; les calculs et déductions pour les forces sont corrects, et le dessin est presque si parfait, qu'il n'y aura pas lieu de le modifier.

On peut objecter qu'il ne laisse pas dans toute sa longueur une ouverture de la hauteur exigée par les conditions indiquées au cahier des charges pour le milieu de la rivière, 130 pieds (39<sup>m</sup>623). Dans le plan présenté, la partie la plus haute du pont est à 135 pieds (41<sup>m</sup>147) au-dessus du niveau moyen de la marée au milieu; à une distance de 200 pieds (60<sup>m</sup>958) du centre, il est à 130 pieds (39<sup>m</sup>623), et aux rives, à 108 pieds (32<sup>m</sup>918). La Compagnie déclare qu'à cet égard, les arcs peuvent être élevés, si l'on croit qu'à la hauteur et à la place indiquées, ils peuvent gêner la navigation. Conformément à cette supposition, un dessin modifié nous a été adressé, sur lequel la hauteur précise sur les rives est à 120 pieds (36<sup>m</sup>575), soit la même qu'au pont de Brooklyn. Cette modification n'en amène aucune dans les estimations.

Ce plan d'un arc à charnières serait admirable s'il s'agissait d'un torrent à lit profond, avec des rives de rochers escarpées, comme au pont suspendu du Niagara. La topographie d'un tel emplacement et l'absence de toute navigation faciliterait aussi grandement son édification, en même temps qu'elle la rendrait moins dispendieuse; car, dans une travée de 700 (213<sup>m</sup>356) à 800 pieds (243<sup>m</sup>836), un des principaux problèmes à résoudre réside dans les moyens de mise en place avec une dépense admissible et sans danger de désastre pendant sa construction.

MM. Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup> proposent d'adopter une méthode assez semblable à celle employée au pont de Saint-Louis, et de projeter chaque demi-arc, panneau

par panneau, à partir du rivage, le suspendant pendant l'érection à une série de haubans fixés à des tours temporaires sur les piliers et ancrés sur les rives. Chaque demi-arc se projetterait ainsi au delà des haubans jusqu'à ce que ceux du milieu se joignent au centre de la rivière où la charnière centrale pourrait être installée, délivrant ainsi les haubans du poids qui les chargeait. Cette méthode a réussi à Saint-Louis pour des travées de 515 pieds (156<sup>m</sup>969). Il reste à savoir si elle pourrait être appliquée pour des travées de 734 pieds (223<sup>m</sup>719), puisque les poids sont plus considérables et leur force de levier plus grande, et aussi que les circonstances ne sont pas absolument identiques.

Bien qu'à première vue l'érection paraisse difficile, coûteuse, et, peut-être, hasardée, nous sommes informés par les auteurs du projet, qu'ils sont convaincus de son absolue praticabilité, et qu'ils ont prévu dans leurs estimations toutes les dépenses d'édification.

Par suite d'une ambiguïté dans les termes de nos conditions, relativement à la formule donnée pour calculer les forces sur les membres de compression, appliquée aux sections, moindre que 24 fois le rayon de giration, les auteurs du projet (comprenant la clause complètement à leur désavantage), ont calculé les forces sur les arcs principaux à 8,000 livres par pouce carré de section (5<sup>62</sup> par millim. carré), et ont par suite prévu une construction matériellement plus forte qu'ils ne l'auraient faite, s'ils avaient (comme d'autres auteurs) considéré différemment la clause, qui donne comme résultat dans certains cas environ 11,000 livres par pouce carré (7 kilog. par millim. carré), ils auraient ainsi économisé environ 900,000 livres (450 tonnes) de matériaux dans la plus grande travée seule, telle qu'elle est représentée sur leur dessin.

MM. Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>, nous disent que les 1,100,000 livres (550 tonnes) de fer stipulées dans leurs estimations des poids, sont bien tout ce qui est nécessaire pour la construction du pont. Ce poids de fer doit donc être déduit du poids de la structure complétée. La somme considérable nécessitée pour l'érection des arcs est une garantie de la sécurité que donnera le montage.

Des objections pourraient se produire peut-être sur la nécessité de suspendre le plancher aux joints des panneaux de l'arc, mais les auteurs du projet ont judicieusement fait, en treillis en travers, des tiges de suspension, dont la plus longue a 80 pieds (24<sup>m</sup>384), afin de donner à la plate-forme du plancher la stabilité latérale et de contre-balancer la tendance d'oscillations, par suite de l'effet du vent.

Si ce plan devait être celui choisi pour la construction du pont, nous devons appeler l'attention sur les points suivants :

1. Les contreventements latéraux « lateral bracings », n'existent nécessairement pas dans huit panneaux du contre-arc, et dans quatre panneaux de l'arc

principal, afin de laisser de la place au-dessus de la chaussée dans le voisinage des points d'intersection de celle-ci avec la ligne des arcs. Cela nécessitera de renforcer les joints et les colonnes en ces points.

2. Les piles étant prévues principalement pour recevoir l'union à charnière des poutres lenticulaires principales et des lunettes, et ne supportant pas de poids mort, ne peuvent pas constituer des supports contre les effets du poids vif résultant d'un poids roulant en un point déterminé, sans être ancrées à la fondation : ce qui semble résulter du dessin.

3. Les changements de température tendront à faire mouvoir les sommets des piles dans le sens de l'axe du pont. Ce mouvement, cependant, ne s'élèvera qu'à  $1 \frac{3}{4}$  pouce (0<sup>m</sup>043) pour la variation totale de 150 degrés Fahrenheit, prévue dans les clauses, et les piles peuvent plier dans ces conditions sans danger.

En somme, la réalisation de ce projet donnerait une construction d'un grand mérite. Le prix pour une seule voie dans toute la longueur, sans le tunnel, est estimé à 1,767,274 dollars (8,836,370 fr.). Pour une double voie aux accès du côté de New-York et de Long-Island, avec voie simple à travers les deux bras de la rivière et l'île de Blackwell, il serait de 1,932,878 dollars (9,664,390 fr.) Néanmoins, si l'on désire la prévision de l'établissement de la seconde voie sur tout le parcours, le prix de premier établissement sera accru de 151,000 dollars (755,000 fr.), soit 2,083,878 dollars (10,419,390 fr.), tandis que l'addition de cette seconde voie (aux prix actuels), coûterait 202,400 dollars (1,012,000 fr.) en plus ; ce qui ferait, pour la construction avec une double voie dans toute sa longueur, une somme de 2,286,278 dollars (11,331,490 fr.).

N° 9. — Planche XLVIII, fig. (3). — Les plans présentés par M. Macdonald, au nom de la Compagnie des ponts de la Delaware, proposent, pour les travées au travers de l'East River, une nouvelle modification au type de pont à « chandeliers. »

Ce type a déjà été proposé, mais avec deux cordes seulement, placées aussi loin l'une de l'autre qu'il était nécessaire pour réaliser la plus grande économie sur les parties connexes intermédiaires. Cette disposition est celle qui existe pour les ponts à poutres, et elle assure l'économie des matériaux, en portant les efforts aussi loin que possible de l'axe neutre.

Dans un pont « à chandeliers, » cependant, les deux chandeliers équilibrés sur les piles forment des bras, dont les extrémités du côté du rivage sont ancrées et dont les extrémités du côté opposé soutiennent une travée centrale reposant simplement sur elles et libre de se dilater ou de se contracter, selon les changements de température.

Ces bras remplissent, par conséquent, une double fonction ; ils soutiennent leur propre poids et leur charge roulante à l'extrémité de leurs parties ; de plus, ils

par panneau, à partir du rivage, le suspendant pendant l'érection à une série de haubans fixés à des tours temporaires sur les piliers et ancrés sur les rives. Chaque demi-arc se projetterait ainsi au delà des haubans jusqu'à ce que ceux du milieu se joignent au centre de la rivière où la charnière centrale pourrait être installée, délivrant ainsi les haubans du poids qui les chargeait. Cette méthode a réussi à Saint-Louis pour des travées de 515 pieds (156<sup>m</sup>969). Il reste à savoir si elle pourrait être appliquée pour des travées de 734 pieds (223<sup>m</sup>719), puisque les poids sont plus considérables et leur force de levier plus grande, et aussi que les circonstances ne sont pas absolument identiques.

Bien qu'à première vue l'érection paraisse difficile, coûteuse, et, peut-être, hasardée, nous sommes informés par les auteurs du projet, qu'ils sont convaincus de son absolue praticabilité, et qu'ils ont prévu dans leurs estimations toutes les dépenses d'édification.

Par suite d'une ambiguïté dans les termes de nos conditions, relativement à la formule donnée pour calculer les forces sur les membres de compression, appliquée aux sections, moindre que 24 fois le rayon de giration, les auteurs du projet (comprenant la clause complètement à leur désavantage), ont calculé les forces sur les arcs principaux à 8,000 livres par pouce carré de section (5<sup>62</sup> par millim. carré), et ont par suite prévu une construction matériellement plus forte qu'ils ne l'auraient faite, s'ils avaient (comme d'autres auteurs) considéré différemment la clause, qui donne comme résultat dans certains cas environ 11,000 livres par pouce carré (7 kilog. par millim. carré), ils auraient ainsi économisé environ 900,000 livres (450 tonnes) de matériaux dans la plus grande travée seule, telle qu'elle est représentée sur leur dessin.

MM. Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>, nous disent que les 1,100,000 livres (550 tonnes) de fer stipulées dans leurs estimations des poids, sont bien tout ce qui est nécessaire pour la construction du pont. Ce poids de fer doit donc être déduit du poids de la structure complétée. La somme considérable nécessitée pour l'érection des arcs est une garantie de la sécurité que donnera le montage.

Des objections pourraient se produire peut-être sur la nécessité de suspendre le plancher aux joints des panneaux de l'arc, mais les auteurs du projet ont judicieusement fait, en treillis en travers, des tiges de suspension, dont la plus longue a 80 pieds (24<sup>m</sup>384), afin de donner à la plate-forme du plancher la stabilité latérale et de contre-balancer la tendance d'oscillations, par suite de l'effet du vent.

Si ce plan devait être celui choisi pour la construction du pont, nous devons appeler l'attention sur les points suivants :

1. Les contreventements latéraux « lateral bracings », n'existent nécessairement pas dans huit panneaux du contre-arc, et dans quatre panneaux de l'arc

principal, afin de laisser de la place au-dessus de la chaussée dans le voisinage des points d'intersection de celle-ci avec la ligne des arcs. Cela nécessitera de renforcer les joints et les colonnes en ces points.

2. Les piles étant prévues principalement pour recevoir l'union à charnière des poutres lenticulaires principales et des lunettes, et ne supportant pas de poids mort, ne peuvent pas constituer des supports contre les effets du poids vif résultant d'un poids roulant en un point déterminé, sans être ancrées à la fondation : ce qui semble résulter du dessin.

3. Les changements de température tendront à faire mouvoir les sommets des piles dans le sens de l'axe du pont. Ce mouvement, cependant, ne s'élèvera qu'à  $1 \frac{3}{4}$  pouce (0<sup>m</sup>043) pour la variation totale de 150 degrés Fahrenheit, prévue dans les clauses, et les piles peuvent plier dans ces conditions sans danger.

En somme, la réalisation de ce projet donnerait une construction d'un grand mérite. Le prix pour une seule voie dans toute la longueur, sans le tunnel, est estimé à 1,767,274 dollars (8,836,370 fr.). Pour une double voie aux accès du côté de New-York et de Long-Island, avec voie simple à travers les deux bras de la rivière et l'île de Blackwell, il serait de 1,932,878 dollars (9,664,390 fr.) Néanmoins, si l'on désire la prévision de l'établissement de la seconde voie sur tout le parcours, le prix de premier établissement sera accru de 151,000 dollars (755,000 fr.), soit 2,083,878 dollars (10,419,390 fr.), tandis que l'addition de cette seconde voie (aux prix actuels), coûterait 202,400 dollars (1,012,000 fr.) en plus ; ce qui ferait, pour la construction avec une double voie dans toute sa longueur, une somme de 2,286,278 dollars (11,331,490 fr.).

N° 9. — Planche XLVIII, fig. (3). — Les plans présentés par M. Macdonald, au nom de la Compagnie des ponts de la Delaware, proposent, pour les travées au travers de l'East River, une nouvelle modification au type de pont à « chandeliers. »

Ce type a déjà été proposé, mais avec deux cordes seulement, placées aussi loin l'une de l'autre qu'il était nécessaire pour réaliser la plus grande économie sur les parties connexes intermédiaires. Cette disposition est celle qui existe pour les ponts à poutres, et elle assure l'économie des matériaux, en portant les efforts aussi loin que possible de l'axe neutre.

Dans un pont « à chandeliers, » cependant, les deux chandeliers équilibrés sur les piles forment des bras, dont les extrémités du côté du rivage sont ancrées et dont les extrémités du côté opposé soutiennent une travée centrale reposant simplement sur elles et libre de se dilater ou de se contracter, selon les changements de température.

Ces bras remplissent, par conséquent, une double fonction ; ils soutiennent leur propre poids et leur charge roulante à l'extrémité de leurs parties ; de plus, ils

soutiennent également le poids de la travée centrale et sa charge roulante s'étendant entre les extrémités des bras.

La Compagnie des ponts de la Delaware propose de profiter de cette division de fonctions, en subdivisant le candélabre en trois bras superposés l'un à l'autre au moyen de cordes intermédiaires, comme le montre la fig. (3).

L'auteur du projet prétend que, par cette disposition, le poids est maintenu aussi bas que possible, et qu'en évitant la nécessité de porter tout le poids au sommet de la tour centrale sur la pile, il en résulte sur ce point, non seulement une grande économie dans cette tour, mais aussi dans tous les membres en compression des faces des chandeliers, qui deviennent de la forme la plus simple et composés de longueurs usuelles, tandis que la stabilité est grandement accrue, et que l'érection devient si simple et si économique que la construction fournit en quelque sorte ses échafaudages, excepté dans l'espace central.

Chaque chandelier ou bras est divisé par les deux cordes intermédiaires en trois bras subsidiaires superposés, et de 36 pieds (10<sup>m</sup>973) de longueur. Ceux-ci sont divisés de nouveau, verticalement, en panneaux de 30 pieds (9<sup>m</sup>144) de long, par les poutres qui seules portent les poids mort et vif, et auxquelles les attaches diagonales sont fixées; les poutres, au-dessus de celles-ci, servent simplement à porter le poids des cordes du chandelier et à les empêcher de s'abaisser au-dessous d'une ligne droite.

Le procédé d'érection consiste à allonger les parties au moyen d'une poutre équilibrée, panneau par panneau, de chaque côté de la pile, se servant de chaque bras subsidiaire comme de fondation pour celui qui est au-dessus de lui, et, alors que les bras sont complétés, à rouler une poutre en bois contre-balancée, de 300 pieds (91<sup>m</sup>438) de long, sur l'espace où doit être la travée centrale, qui a 200 pieds (60<sup>m</sup>959) de long.

Les extrémités des chandeliers, au rivage, sont soutenues par trois piles, entre lesquelles l'ancrage est distribué.

Il y a trois travées; le pont est divisé dans sa section en deux chaussées, l'une pour la voie de chemin de fer, et l'autre pour une double route pour les voitures, de 20 pieds (6<sup>m</sup>096) de largeur; les trottoirs sont placés sur des bras débordant la chaussée des voitures. Si une seconde voie était ajoutée, on a prévu à son établissement au moyen de travées indépendantes, et la chaussée pour les voitures se trouvera au milieu.

La corde inférieure est composée de plaques de fer de 24 pouces (0<sup>m</sup>610), et de barres à U de 8 pouces (0<sup>m</sup>203), rivées ensemble. Les montants verticaux consistent en deux barres à U avec treillis, et les diagonales et les chaînes de suspension, ou cordes supérieures, sont en barres plates de 6 pouces (0<sup>m</sup>152) de largeur.

Toutes les chaînes, verticales, diagonales et de suspension, sont unies entre elles et avec la corde inférieure et les tours par des joints à chevilles. Les tours se composent de montants faits de fers plats et de fers à U unis par un treillis, et sont contreventées transversalement et diagonalement.

Les piles de la rive, sur lesquelles reposent les bras du chandelier, sont semblables aux tours et ancrées à la fondation, afin de résister à la compression et à la tension.

Le plancher consiste en poutres de fer faites de fers plats et cornières. Les poutres principales du plancher sont suspendues aux chevilles de chaque panneau.

Les trottoirs sont supportés par des bras attachés aux montants verticaux au-dessus du plancher principal.

La travée centrale est une poutre Pratt, avec jonctions à chevilles, et un double système de diagonales.

Les montants et les cordes supérieures sont faites de fers plats et de barres à U, et les cordes inférieures, de barres plates à ceils, comme dans les travées ordinaires de cette classe. Cette travée repose simplement sur les extrémités extrêmes des bras des deux chandeliers, l'une de ces extrémités étant pourvue de galets, permettant la dilatation et la contraction.

Non seulement la structure est rigide, économique et susceptible d'érection avec une grande facilité et sans danger de désastre ou de gêne pour la navigation, mais elle nous paraît capable d'être encore améliorée, en examinant et corrigeant les proportions générales dans leurs dispositions les plus économiques, ce que l'auteur nous paraît avoir négligé dans son projet si nouveau.

Les sections des membres de compression ont été calculées en se basant sur la formule donnée dans les conditions du concours, pour des parties de plus de 24 rayons de giration, ce qui donne des effets d'environ 9,000 livres par pouce carré (6<sup>32</sup> par millim. carré); et quelques-uns de ces membres, par conséquent, ont relativement une section moindre que les parties correspondantes dans le dessin de MM. Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>.

Quelques-uns des contreventements laissent aussi à désirer, à cause d'une estimation insuffisante de la surface développée, exposée au vent dans quelques-unes des parties.

En outre, nous signalerons les autres imperfections suivantes :

1. On n'a pas prévu les contreventements au delà des ouvertures des tours centrales, à l'endroit du passage des chaussées. Cela peut être facilement corrigé au moyen de portails convenables.

2. La fondation des tours principales ne s'étend pas assez pour surmonter la tendance renversante des efforts du vent. Afin d'éviter la nécessité qui résulterait

d'ancrer les montants à leur fondation, ce qui est une disposition défectueuse, il serait désirable d'augmenter la base des tours, ou de dessiner le pont avec deux travées seulement, au lieu de trois, de manière à concentrer tout le poids sur les montants extérieurs.

3. L'effet du poids vif, quand un bras seulement du chandelier est chargé, devra produire une force de fléchissement dans les tours, et jeter le poids sur un couple de montants de la tour, au lieu de le distribuer sur le tout. Cela nécessite des modifications dans la relation des cordes ou chaînes avec les sommets des tours, afin que les poids puissent être transmis sans produire un effet de fléchissement.

Le coût d'une seule voie sur toute la distance, sans le tunnel, est estimé à 1,778,315 dollars (8,891,575 fr.). Pour des accès à double voie sur les côtés de New-York et de Long-Island, avec une seule voie sur les deux bras du fleuve et l'île de Blackwell, le prix serait de 2,031,425 dollars (10,157,125 fr.), tandis qu'une construction à double voie dans toute l'étendue serait de 2,479,458 dollars (12,397,290 fr.), et la Compagnie des Ponts de la Delaware fait l'offre formel de passer le contrat dans ces conditions.

N° 10. — Planche XLVIII, fig. (4). — Ce plan étant arrivé en retard, a été mis en dehors du concours. Les auteurs, du reste, reconnaissent cette décision et se bornent, en adressant leurs dessins, à déclarer qu'ils seraient prêts à entreprendre la construction.

Ces plans, qui sont faits par M. C. O. Brown, pour la Compagnie des laminoirs de Passaic, sont bons; ils représentent également un pont à chandeliers, dont l'intérêt principal réside dans la grande travée centrale de 330 pieds (100<sup>m</sup>581).

Autant que nous en avons jugé, les calculs des forces et les quantités sont corrects. Le coût néanmoins est un peu plus élevé que dans les plans de MM. Clarke, Reeves et C<sup>e</sup>, et de la Compagnie des Ponts de la Delaware; il s'élève à 1,885,000 dollars (9,425,000 fr.), pour l'établissement d'une seule voie, sans le tunnel, ou de 1,985,000 dollars (9,920,000 fr.) avec ce tunnel. A ce prix, les auteurs offrent de faire un contrat pour tout le travail.

Nous regrettons que M. Charles Bender qui, dans le principe, avait fait un rapport préliminaire très-intéressant au Comité, et présenté les plans d'un pont à chandelier ayant de grands mérites, n'ait pas trouvé le temps de les revoir et de réviser ses estimations de manière à les conformer à nos conditions de concours, de sorte que nous puissions les examiner avec les projets qui précèdent. Nous exprimerons les mêmes regrets à l'égard des études préliminaires non complétées, pour un pont, également à chandeliers, de la Compagnie des Ponts, à Baltimore.

## ORDRE DE MÉRITE DES PLANS PROPOSÉS.

Ayant maintenant complété la revue des projets soumis, il ne reste plus qu'à désigner ceux que le Comité a jugé *les trois meilleurs*, et à indiquer dans quel ordre ils ont été classés par chacun de nous.

O. Chanute.	{	Premier. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Second. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Troisième. — Flad et C <sup>ie</sup> .
J. G. Barnard.	{	Premier. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Second. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Troisième. — Flad et C <sup>ie</sup> .
Q. A. Gillmore.	{	Premier. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Second. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Troisième. — Edward, Serrell et fils.

Ce classement se rapporte toutefois aux projets, absolument tels qu'ils nous ont été présentés.

En admettant quelques modifications et améliorations, l'ordre de nos préférences est le suivant :

O. Chanute.	{	Premier. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Second. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Troisième. — Flad et C <sup>ie</sup> .
J. G. Barnard.	{	Premier. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Second. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Troisième. — Flad et C <sup>ie</sup> .
Q. A. Gillmore.	{	Premier. — C <sup>ie</sup> des Ponts de la Delaware.
	{	Second. — Clarke, Reeves et C <sup>ie</sup> .
	{	Troisième. — Edward, Serrell et fils.

On voit que s'il y a eu unanimité sur les deux premiers projets, il n'en a pas été de même sur l'ordre de mérite de ces deux meilleurs projets.

Nous donnons ci-après les deux intéressants rapports de deux membres du jury, dont nous venons de rapporter la décision.

## RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE DU GÉNÉRAL BARNARD.

New-York, 21 février 1877.

Le soussigné, ingénieur consultant, appelé à choisir le meilleur plan pour le pont projeté sur l'East River, et à faire les propositions de récompense à donner par votre Comité aux auteurs des trois meilleurs projets, ayant donné son opinion, vous soumet les raisons qui l'ont guidé dans sa préférence pour le projet de MM. Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>.

*I. Simplicité.* — Sous ce rapport, il est sans concurrent. L'arc parabolique est théoriquement la forme à donner à une poutre pour supporter, en compression, un poids permanent quand ce poids est uniforme. L'ensemble de la poutre qui supporte tout le poids permanent conserve cette forme d'arc, et elle est articulée au sommet et aux culées, pour éviter les déformations produites par les changements de température. A un autre point de vue, il est clair que c'est la solution la plus élémentaire de joindre au milieu du pont, à l'endroit du sommet de l'arc, les deux poutres que l'on est amené à employer, puisque la longueur de la travée devient trop considérable pour une poutre unique.

Dans les petites travées, où ce simple triangle de parties trouve d'abord son application, la poussée est généralement reçue par une tige ou corde. Dans les grandes, si une tige est employée, pendant que le fléchissement dû au poids se produit, la tige est d'autant plus tendue que l'arc est plus comprimé.

De là, l'avantage obtenu dans ce projet, de porter la poussée directement au sol par un membre de compression court (une continuation de l'arc), s'étendant depuis les charnières de la culée jusqu'au sol. Les deux poutres qui composent l'arc, sont séparément rendues rigides par un contre-arc, aussi parabolique, et l'ensemble a une forme lenticulaire. Cette forme correspond presque exactement à ce qu'exige le maximum des efforts et les répartit dans une relation que la poutre ordinaire (à cordes parallèles) ne saurait donner, et pour laquelle la gradation du poids de métal dans ses parties n'est qu'un palliatif imparfait.

La forme générale, celle d'un arc s'étendant d'une rive à l'autre, donne à la construction une beauté singulière ; c'est un résultat qui n'est pas à dédaigner. Le reproche fait à ce projet, d'être une innovation téméraire, n'est pas absolument mérité, en ce sens que l'on n'a fait que se servir, pour une grande portée, des éléments simples dont on se sert depuis des siècles pour des portées plus petites.

L'expérience a donc déjà été faite en ce qui concerne la répartition des efforts sur les différentes parties de ce système de pont, et on n'est pas autorisé à dire qu'il constitue une invention qui reste à expérimenter.

Le système dit « à chandeliers » mérite bien plus ce reproche de n'avoir pas été expérimenté. En s'efforçant de citer un précédent pour un pont semblable, M. Bender se sert de cette dénomination mauvaise « un pont à chandeliers avec deux bras, » faisant allusion au pont à bascule Brest consistant en deux bras tournants équilibrés, dont la portée totale couvre un intervalle de 354 pieds (107<sup>m</sup>397).

Ce n'est pas là un pont de chemin de fer. Il n'est occupé que par une voie étroite pour les voitures et deux trottoirs latéraux, et n'a pas au milieu une longue travée indépendante remplissant un vide, et pendant presque sans soutien, avec son poids mort et son poids vif à ses extrémités, comme dans le système dit à chandeliers. Dans le pont Brest, au contraire, les deux bras sont unis avec des coins au milieu du pont, de sorte que, sous l'action d'une charge, ils travaillent sensiblement comme le ferait un arc. Les nombreux ponts en fonte et en bois de Hollande, d'Angleterre, d'Allemagne, etc., cités par M. Bender, sont trop insignifiants et ont trop peu d'importance pour qu'on puisse les citer comme fournissant une base expérimentale pour les grandes travées à chandeliers.

*II. Élimination complète, ou presque complète, des effets des changements de température.* — Cette élimination, qui est une des difficultés que l'on rencontre dans les ponts à longues portées, est ici résolue par l'emploi des charnières au sommet et aux culées, en plaçant les charnières au milieu du plancher suspendu et en donnant du jeu, pour les variations de longueur, à sa jonction avec les contre-arcs.

L'effort peu sensible de la dilatation, produit sur la pile par la poutre de culée (facile à calculer), peut être négligé. On pourrait même détruire complètement cet effet, si cela en valait la peine.

*III. Détermination parfaite des efforts non seulement dans leurs répartitions normales, mais encore quand ils se produisent sous l'action des légères oscillations occasionnées par des poids vifs partiellement distribués.* — Le premier résultat découle de la simplicité de l'épure. Il en est de même du second ; mais il n'est nullement inséparable du premier.

*IV. Exécution parfaite des prescriptions de notre « programme de concours, » qui laissait quelque latitude pour l'arrangement. Commodité dans la distribution des voies et chaussées.* — L'ample largeur de 57 pieds (17<sup>m</sup>373), à l'extérieur des arcs, permet de placer dans l'axe (comme elle doit être) la voie du chemin de fer, tandis que les deux parties extérieures sont consacrées exclusivement aux deux

chaussées et à leurs trottoirs. La largeur de base, qui permet ce développement pour les routes, est aussi un élément important dans la stabilité du pont contre les effets du vent.

V. *Supériorité dans les éléments principaux qui constituent la structure et petit quantité des pièces qui la composent.* — Les grands éléments de support pour ce pont, savoir : l'arc principal de chaque lunette, ou demi-travée, la travée de culée qui continue cet arc jusqu'au sol, et les colonnes des piles, etc., sont faites en « Colonnes Phœnix » qui sont réputées les meilleures poutres ou membres de compression en fer qui aient encore été produits, et, dans mon opinion, incomparablement supérieurs aux poutres ou membres de compression en U et treillis, que nous trouvons dans tous les autres projets du concours. L'expérience a établi que les colonnes Phœnix avaient une force ultima bien supérieure à celles que supposent les formules de Hodgkinson et de Gordon (données dans notre cahier des charges), au moyen desquelles on a l'habitude de déterminer les sections du métal dans ces membres. Par conséquent, ces membres ainsi calculés ont un excès de résistance en les comparant à celle qui correspond à nos coefficients de sécurité. Non seulement ils possèdent cette force extra, mais encore ils ont été calculés (toujours selon les prescriptions du cahier des charges) de façon qu'en aucun cas ils ne reçoivent un effort de compression de plus de 8,000 livres par pouce carré ( $5^{\text{e}}62$  par millimètre carré). Dans le pont de la Compagnie de la Delaware, on a calculé pour les soutiens des effets de compression beaucoup plus élevés, en se basant sur ces termes des prescriptions (formule de Gordon modifiée), que les membres de compression devaient être calculés pour résister à 8,000 livres par pouce carré ( $5^{\text{e}}62$  par millim. carré) pour les parties excédant vingt-quatre fois le rayon de giration. Ceci explique la différence qui peut paraître exister dans le poids par mètre carré en faveur du dernier pont.

A cette supériorité dans la forme et dans le petit nombre des membres des principaux éléments, on ne saurait opposer une petitesse comparative de la surface exposée qui est, par suite, plus aisément et plus économiquement protégée contre la corrosion.

VI. *Rigidité.* — Sous ce rapport important, d'autant plus important lorsqu'on a en vue que le pont doit être soumis au poids de trains de chemin de fer allant à toute vitesse, il surpasse, en raison du caractère essentiel du plan (dont nous avons parlé plus haut), tous les autres projets. En établissant une comparaison des fléchissements sous le poids vif entre ce pont et celui de la Compagnie des ponts de la Delaware, on trouve pour le premier 0,300 de pied (au centre), et pour le second 0,356 (à l'extrémité du chandelier), plus 0,160 de pied (fléchissement à la jonction centrale de la travée de 200 pieds), ce qui fait un total de 0,516 de pied

ou presque le double que dans le premier. Le pont « à chandeliers » de la Compagnie de Passaic donne le même résultat.

*VII. Correction et perfection du dessin, tel qu'il est dès à présent présenté.* — Aucune modification n'est matériellement nécessaire dans le plan, tel qu'il est dès à présent présenté. Les auteurs n'élèvent pas la prétention que tous les détails aient été complètement approfondis, ni qu'il ne soit pas possible d'apporter quelques légères modifications; cependant ce qui doit être constaté, c'est que ces modifications ne portent absolument que sur les détails.

*VIII. Economie.* — Ainsi que cela résulte des estimations de chaque projet, le prix des trois ou quatre plans les moins coûteux, y compris celui de la Compagnie des ponts de la Delaware, est à peu de chose près le même pour chacun d'eux.

En raison de l'ensemble du plan de Messieurs Clarke, Reeves et C<sup>e</sup>, de la supériorité de ses parties composantes, et de la manière dont a été calculé son poids de métal, je crois qu'il est de beaucoup le moins dispendieux de tous.

Ayant jusqu'à présent examiné les points qui sont ceux particulièrement du concours et qui motivent mon jugement que le projet de Messieurs Clarke, Reeves et C<sup>e</sup> mérite absolument la récompense promise au meilleur projet, et que ce devrait être celui adopté pour la construction; je ferai brièvement allusion aux objections qui lui ont été faites; et d'abord à celles relatives aux ancrages.

1° Il y a, dans le dessin, cette particularité que les piles ne sont pas dans les conditions normales, soit de poids, soit de résistance. Elles reçoivent les effets (tant de compression que d'extension) par lesquels un poids vif tendrait à déplacer le point de la charnière, et elles reçoivent, dans une grande proportion, les effets du vent. Le simple fait, que l'ancrage est nécessaire pour faire face à ces effets, n'est pas une objection spéciale à ce projet, car cela est également nécessaire dans un pont à chandeliers ou dans un pont suspendu.

2° A l'endroit du passage de la chaussée, le contreventement supérieur par des pièces transversales réunissant les arcs est nécessairement supprimé, et on a reproché aux auteurs du projet de n'avoir pas renforcé en cet endroit les poutres en augmentant la section des arcs et en ajoutant des bras convenablement. Mais ce n'est pas là un défaut auquel on ne puisse remédier. Le rapport général le constate et les auteurs déclarent qu'ils y ont pensé.

On doit se rappeler que, bien que les lunettes, au point de jonction, s'élèvent à une hauteur de 80 pieds (24<sup>m</sup>384) au-dessus du plancher, 90 pieds (27<sup>m</sup>431) dans le second dessin, le point d'attache des suspensions du plancher est généralement comparativement bas, ne s'élevant seulement à sa hauteur extrême que dans un

court intervalle, près du milieu du pont; d'où il résulte qu'en réalité le poids du plancher (y compris le poids vif total) n'est pas porté très-haut.

3° Un reproche fait au plan, dans le rapport général, est qu'une grande partie du plancher, dans sa longueur, est suspendue et sujette par suite des effets du vent à des vibrations dangereuses.

Il est notoire que l'on ne s'était pas rendu compte de l'intensité de ces effets dans les premiers temps de la construction des ponts suspendus, et l'énumération des ponts anglais, français et américains, qui en ont souffert ou même qui ont été détruits, est fort longue. Le pont de Mayence même en a souffert, peu de temps après avoir été construit. Il fut renforcé par la suite, et sa chaussée et son plancher pour les passagers, de 580 pieds (176<sup>m</sup>784) de longueur et de 28 pieds (8<sup>m</sup>534) seulement de largeur, ne pesant que 950 livres (430<sup>k</sup>913) par pied (0<sup>m</sup>305) et suspendu par 800 barres de fer de 1 pouce carré (625 millim. carrés), variant de 10 (3<sup>m</sup>050) à 53 pieds (16<sup>m</sup>154) de longueur, s'est depuis maintenu pendant un demi-siècle. Les longues demi-travées du plancher des ponts suspendus de Covington et de Brooklyn, ces dernières de 800 pieds (243<sup>m</sup>726) de long, présentèrent de plus grandes difficultés. Dans le cas qui nous occupe, on croit que le but est absolument atteint en construisant le plancher sur une poutre horizontale à grandes mailles de 57 pieds (17<sup>m</sup>373) de largeur. De plus, en remplaçant les tiges de suspension par des pièces rigides à treillis, réunies dans le sens transversal du pont avec des poutres à treillis. La longueur suspendue n'est, dans le premier dessin, que de 400 pieds (121<sup>m</sup>918) seulement, et, dans l'autre, que de 480 pieds (146<sup>m</sup>302).

4° J'ai été tout d'abord porté à accepter comme plus fondé le reproche fait à propos de la difficulté d'ériger. J'ai été informé cependant, par les auteurs responsables, que ce point avait été l'objet de mûres considérations, que le coût du montage était compris dans leurs estimations, et qu'ils étaient disposés à entreprendre la construction du pont, en raison de ces estimations.

5° Enfin, je ferai allusion à un autre point sur lequel on a beaucoup insisté, et qui consiste en ce que l'arc à charnières de la première épure ne donnait pas, comme dans les autres projets, un passage aussi libre sur toute la portée. La seconde épure donne la même ouverture que celle donnée par le pont d'East River; et, par le fait, il en donne davantage, car les haubans de la parabole renversée du pont suspendu de l'East River partent à 22 pieds (6<sup>m</sup>705) au-dessous du niveau du plancher aux piles, et s'étendent sur près de deux cents pieds (60<sup>m</sup>959), réduisant les 120 pieds (36<sup>m</sup>575), aux piles, à moins de 100 pieds (30<sup>m</sup>50). Mais les auteurs du projet, en le soumettant, ont déclaré qu'ils l'exécuteraient à la hauteur qu'on voudrait. Je ne crois pas qu'on doive donner une hauteur supérieure à celle indiquée dans le second projet; et, en même temps, j'affirme qu'aucun des ponts qui nous ont été

proposés ne peut donner une plus grande hauteur que celui-ci pour un grand espace central, un espace bien assez ouvert pour le libre passage de tous les grands vaisseaux qui éviteront d'approcher les rives. On n'aurait en tout cas qu'à élever le plancher de quinze pieds ( $4^m572$ ) pour obtenir une ouverture absolue de près de 150 pieds ( $45^m719$ ) de hauteur sur 300 pieds ( $91^m438$ ) de largeur dans le premier plan, et de 370 pieds ( $112^m774$ ) de largeur dans le second.

*Signé : J.-G. BARNARD,*

*Membre du Comité des Ingénieurs consultants.*

---

RAPPORT SUPPLÉMENTAIRE DU GÉNÉRAL GILLMORE

New-York, 26 février 1877.

*Aux directeurs de la C<sup>ie</sup> du pont de New-York et Long-Island*

Dans le rapport de votre Comité d'ingénieurs consultants, qui vous a été soumis récemment, je suis indiqué comme ayant exprimé ma préférence pour les trois meilleurs projets de ponts dans l'ordre suivant, avec cette réserve que ces plans doivent être jugés strictement, sans modification, selon les stipulations et les calculs de force les accompagnant, à savoir :

1. Le plan de Messieurs Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>.
2. » la C<sup>ie</sup> des ponts de la Delaware.
3. » Edward W. Serrell et fils.

Avec certaines modifications qui s'imposent d'elles-mêmes et dont les plans sont susceptibles, sans apporter un changement radical dans le caractère des constructions, l'ordre de mérite, selon moi, serait :

- 1<sup>o</sup> Le plan de la C<sup>ie</sup> des ponts de la Delaware.
- 2<sup>o</sup> » Messieurs Clarke, Reeves et C<sup>ie</sup>.
- 3<sup>o</sup> » Edw. W. Serrell et fils.