

2.0 DESCRIPTION DU PROJET

2.1 Introduction

Les travaux de construction du pont d'étagement du boulevard du Souvenir font partie d'un important plan d'amélioration de l'autoroute 15 sur le territoire de la ville de Laval. Ce plan comprenait la construction de quatre nouvelles structures, l'ajout de nouveaux collecteurs et de bretelles ainsi que le prolongement et l'amélioration de boulevards existants. Ce projet était financé conjointement par le ministère des Transports et la ville de Laval. La ville de Laval agissait comme donneur d'ouvrage.

Le pont du boulevard du Souvenir devait remplacer un pont existant enjambant l'autoroute 15. La préparation des plans et devis et la surveillance des travaux pour ce nouveau pont avaient été confiées à la firme Dessau-Soprin et l'entrepreneur général pour ce projet était la compagnie Beaver Asphalte.

2.2 Description du pont

2.2.1 Structure

Le pont du boulevard du Souvenir est une structure en béton à quatre travées qui est orientée ouest-est. La figure 2.1 montre une vue en plan et l'élévation principale de l'ouvrage, dans l'état d'avancement des travaux juste avant l'accident.

Les travées d'extrémité (travées 1 et 4, respectivement entre les axes 1 et 2 et entre les axes 4 et 5) font 38.5 m de longueur alors que les deux travées centrales (travées 2 et 3) mesurent 33.5 m. Les voies sud et nord de l'autoroute 15 passent respectivement sous les travées 2 et 3 de la structure. En élévation, le profil du pont est en pente de chaque côté à partir du centre de la structure. La pente des poutres des travées 1 et 4 est de 4% alors que la pente dans les travées 2 et 3 est de 1.3%.

La construction de ce pont devait se faire en deux phases. Dans un premier temps, on construisait une première largeur de pont au sud du pont existant. Une fois cette étape complétée, on déviait la circulation de l'ancienne structure vers la nouvelle. On pouvait alors démolir l'ancien pont pour procéder à la deuxième phase de construction du nouveau pont. Au moment de l'effondrement, on travaillait à compléter la première phase des travaux. La figure 2.2 montre la coupe transversale du pont projeté (phases I et II) et de la phase I du pont. Les principales caractéristiques du pont projeté sont résumées au tableau 2.1.

Le tablier du pont (poutres et dalle) repose sur cinq unités de fondation : deux culées et trois piles. Ces unités sont identifiées par le numéro d'axe correspondant indiqué sur la figure 2.1 : la culée 1 est celle située à l'extrémité ouest du pont, les piles 2 à 4 suivent d'ouest en est et, finalement, on retrouve la culée 5 du côté est. Les culées sont principalement faites de murs en béton qui supportent le tablier et retiennent les remblais d'approche du pont. Les piles comprennent des colonnes qui supportent un chevêtre sur lequel on dépose les poutres. Ces unités structurales reposent sur une semelle en béton armé qui transfère les charges au sol. Le sol en place est de bonne capacité portante.

Le tablier du pont est fait d'une dalle de béton et de poutres préfabriquées en béton précontraint. Un total de 32 poutres (4 travées x 8 rangées) ont été installées lors de la phase I des travaux. L'espacement transversal entre les poutres est le même sur toute la largeur du pont (1850 mm).

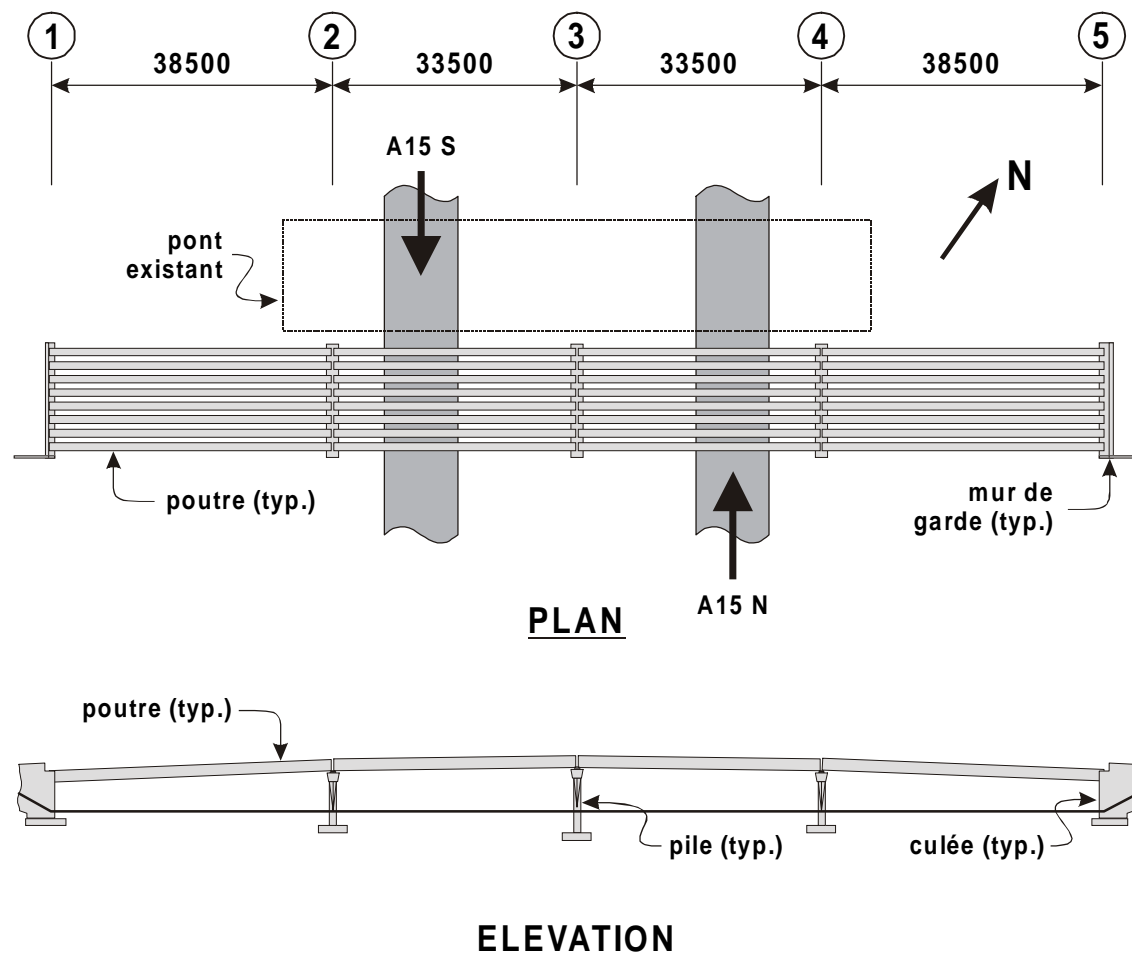
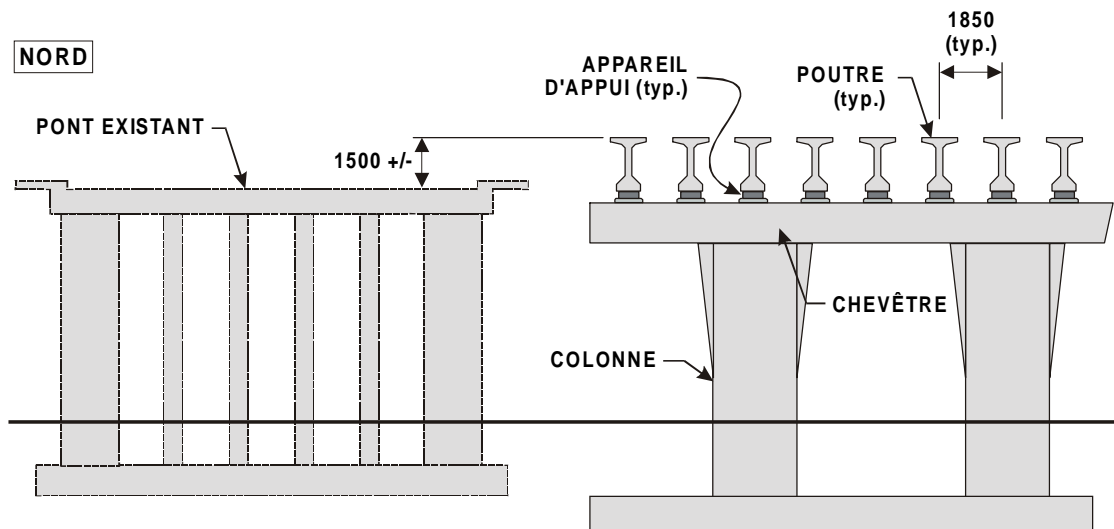
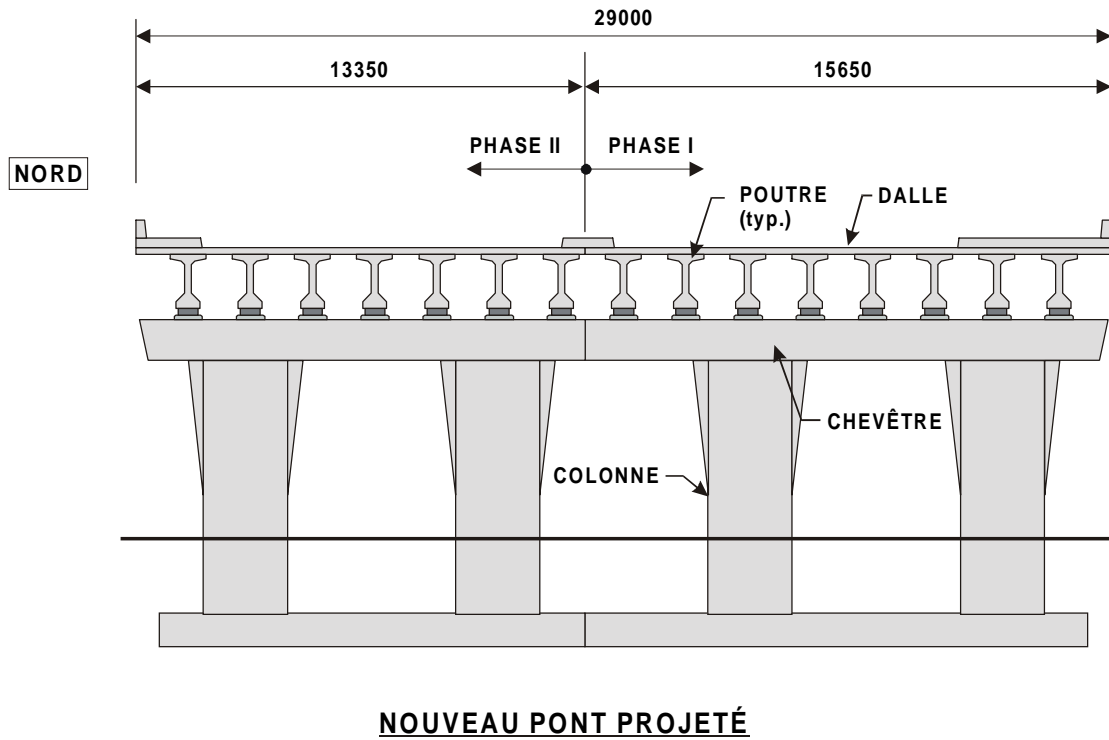


Figure 2.1 Éléments de la structure du pont en place le 18 juin 2000



ÉTAT DES TRAVAUX AU 18 JUIN 2000

Figure 2.2 Coupe transversale de la structure à la pile 3
(haut : phases I et II projetées; bas : phase I)

Tableau 2.1 Principales caractéristiques du pont

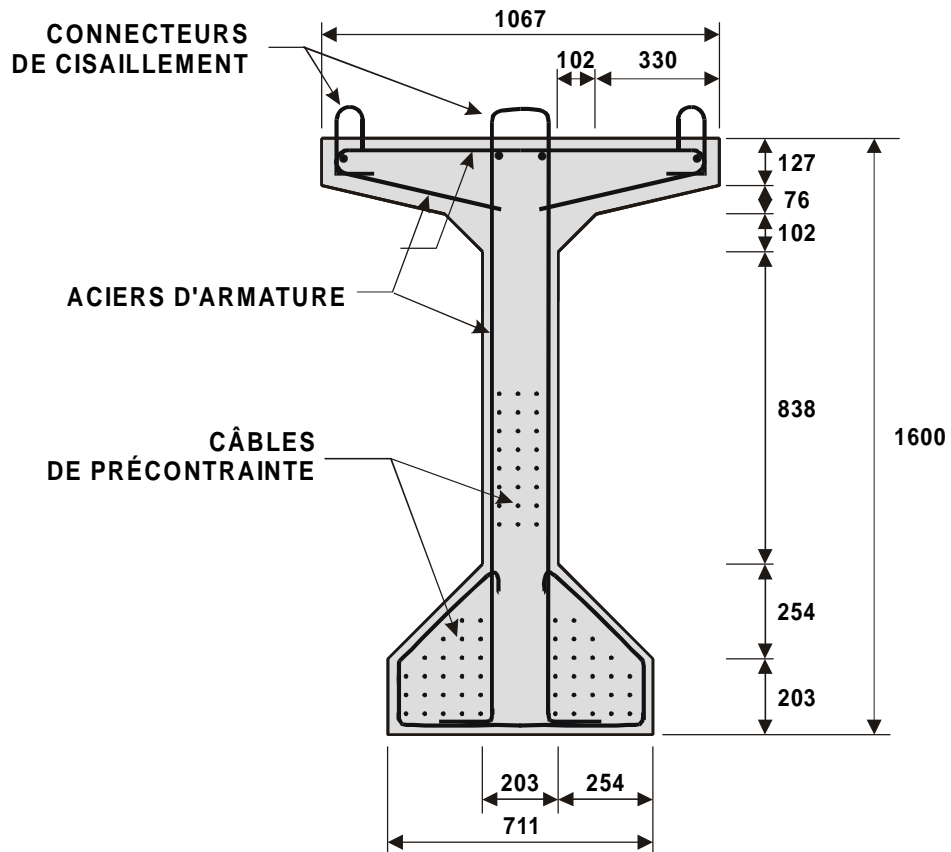
Type de pont	Poutres préfabriquées en béton précontraint avec dalle participante
Longueur totale	$38.5 + 33.5 + 33.5 + 38.5 = 144$ m
Largeur totale	29.0 m
Largeur de la voie carrossable	22.5 m (incluant la bande médiane)
Nombre de voies	4 (2 voies dans chaque direction)
Nombre de trottoirs	2
Largeur des trottoirs	Sud : 4205 mm, nord : 1575 mm
Largeur de la bande médiane	1500 mm
Nombre de poutres	4 travées x 15 = 60 poutres
Type de poutres	AASHTO Type V (voir figure 2.3)
Type de fondation	Fondation superficielle sur sol (till brun)
Dégagement vertical sous les poutres	5.5 m au-dessus de l'autoroute 15

Les poutres du pont étaient des éléments normalisés AASHTO de type V. Ces éléments sont fabriqués en usine et transportés au chantier. Une coupe type de ces poutres est montrée à la figure 2.3. Elles ont une hauteur totale de 1600 mm et leur largeur maximale est de 1067 mm au niveau de la semelle supérieure. La résistance en flexion de ces poutres provient essentiellement de la présence de nombreux câbles d'acier à haute résistance (acier de précontrainte) qui sont mis sous tension avant la coulée du béton. Des aciers d'armature passive sont aussi utilisés dans les poutres. Certains de ces aciers, que l'on désigne connecteurs de cisaillement, excèdent le dessus de la semelle supérieure pour créer un lien mécanique avec la dalle de béton.

Deux longueurs différentes de poutres sont utilisées pour s'adapter aux travées du pont. Une vue en élévation et les caractéristiques nominales de ces deux types de poutres (longueur et masse) sont données à la figure 2.3. Au chantier, les poutres sont déposées sur des appareils d'appui qui sont préalablement placés sur des socles en béton construits à même le chevet des piles et l'assise des culées. Ces appareils d'appui sont décrits plus en détail dans la prochaine section.

Une fois les poutres installées et stabilisées, on construit la dalle ainsi que les entretoises. La dalle est en béton coulé sur place et son épaisseur est de 200 mm. Les entretoises sont des poutres en béton qui sont coulées en place entre les poutres principales du pont, dans la direction transversale. Leur rôle principal est de stabiliser les poutres et de répartir latéralement les charges sur celles-ci. Tel qu'illustré à la figure 2.4, une entretoise est placée à chaque culée et au droit de chacune des piles. De plus, des entretoises intermédiaires sont placées à intervalle régulier le long des travées. Pour le pont du boulevard du Souvenir, il y avait quatre entretoises intermédiaires dans les travées 1 et 4 et trois dans les travées 2 et 3. Des aciers d'armature font le lien entre les entretoises et la dalle et entre les entretoises et les poutres principales, tout comme entre la dalle et les poutres principales. La dalle, les poutres et les entretoises forment un ensemble monolithique une fois que tous ces éléments sont en place.

Ce type de structure est très fréquent sur les réseaux routiers nord-américains puisqu'il constitue souvent la solution la plus économique pour la construction de ponts ayant des travées d'une longueur variant entre 20 et 40 m. Au Québec, on compte plus de 700 structures de ce type.



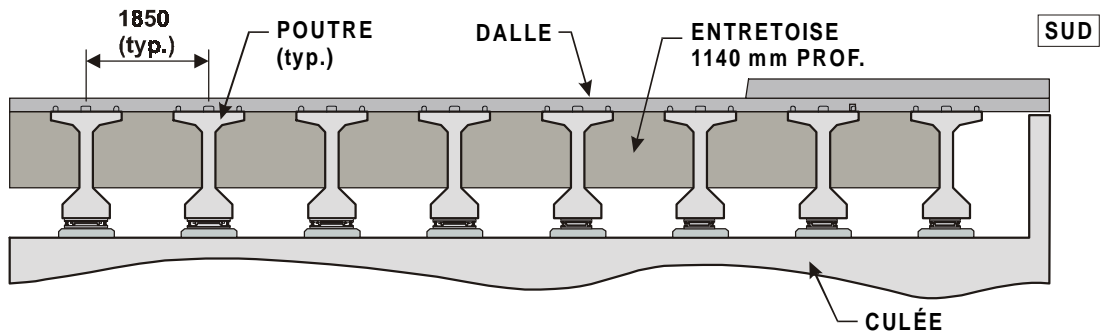
TRAVÉES 1-2 ET 4-5 : longueur = 38 680 mm - masse = 60 700 kg



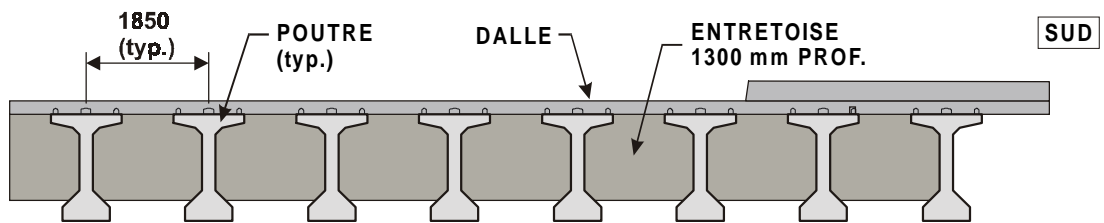
TRAVÉES 2-3 ET 3-4 : longueur = 33 200 mm - masse = 52 100 kg



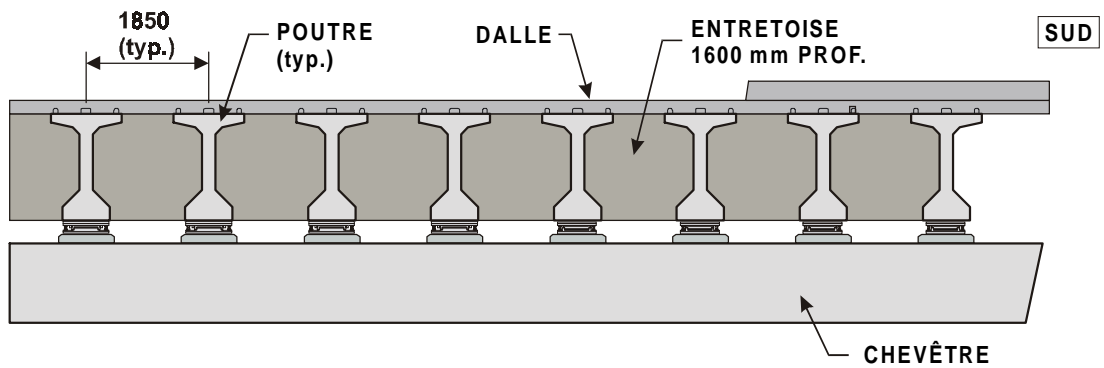
Figure 2.3 Dimensions nominales des poutres préfabriquées en béton



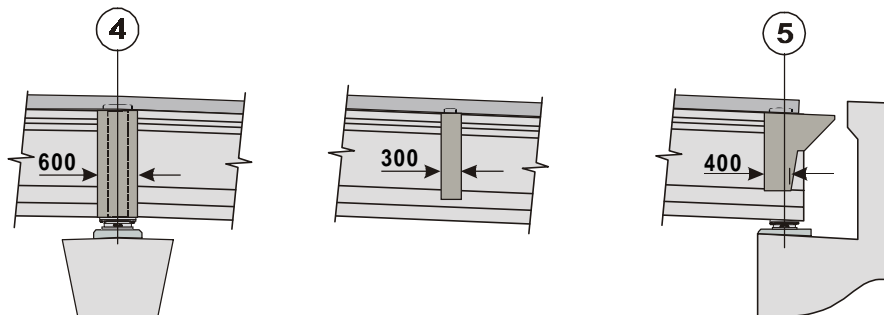
ENTRETOISE AUX CULÉES (CULÉE 5 MONTRÉE)



ENTRETOISE INTERMÉDIAIRE



ENTRETOISE AUX PILES



COUPE LONGITUDINALE PARTIELLE (PILE 4 À CULÉE 5)

Figure 2.4 Entretoises et dalle du tablier

2.2.2 Appareils d'appui

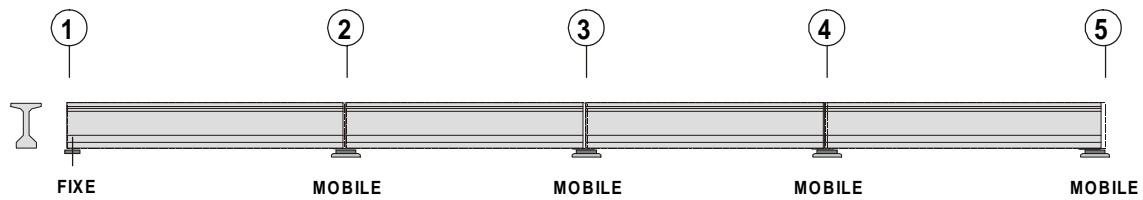
Les appareils d'appui assurent le transfert des charges du tablier aux piles et culées. Ces charges comprennent des charges verticales, dont le poids du tablier et celui des véhicules circulant sur le pont, et des charges horizontales dont celles dues aux vents, aux séismes, au freinage des véhicules, etc.

Les appareils d'appui doivent en plus permettre les mouvements anticipés du tablier. Ceux-ci comprennent la rotation des poutres à leurs extrémités, lorsqu'elles fléchissent sous l'action des charges de gravité. Les déformations horizontales du tablier dues au retrait et au fluage du béton et celles dues aux variations de température doivent également être accommodées par les appareils d'appui. Pour permettre ces mouvements horizontaux, on doit aussi prévoir des joints de dilatation dans le tablier mais, dans la mesure du possible, on cherche à minimiser le nombre de ces joints car ils requièrent de l'entretien et peuvent causer des difficultés au niveau de la durabilité de l'ouvrage.

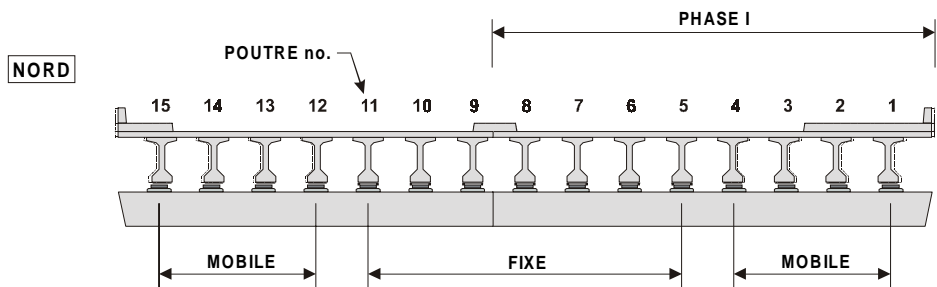
Le concept utilisé au niveau des appuis du pont du boulevard du Souvenir est illustré à la figure 2.5. Le pont fait 144 m de longueur et le concepteur a prévu un seul joint de dilatation à la culée 5 pour permettre les mouvements dans la direction longitudinale. Les appareils d'appui à la culée 1 ont été posés fixes alors que tous ceux localisés aux piles 2 à 4 et à la culée 5 sont mobiles pour permettre le mouvement longitudinal du tablier.

Dans la direction transversale, le tablier est d'un seul bloc, sans joint de dilatation. Pour permettre les déformations du tablier dans cette direction, on a spécifié des appareils mobiles transversalement pour les poutres 1 à 4 et pour les poutres 12 à 15, tel qu'illustré à la figure 2.5. Cette configuration permet le rétrécissement et la dilatation transversales du tablier lorsqu'il subit un changement de température et elle est valable aux deux culées et aux trois piles. On notera que dans ce rapport, les rangées de poutres ont été numérotées de 1 à 15 du sud vers le nord.

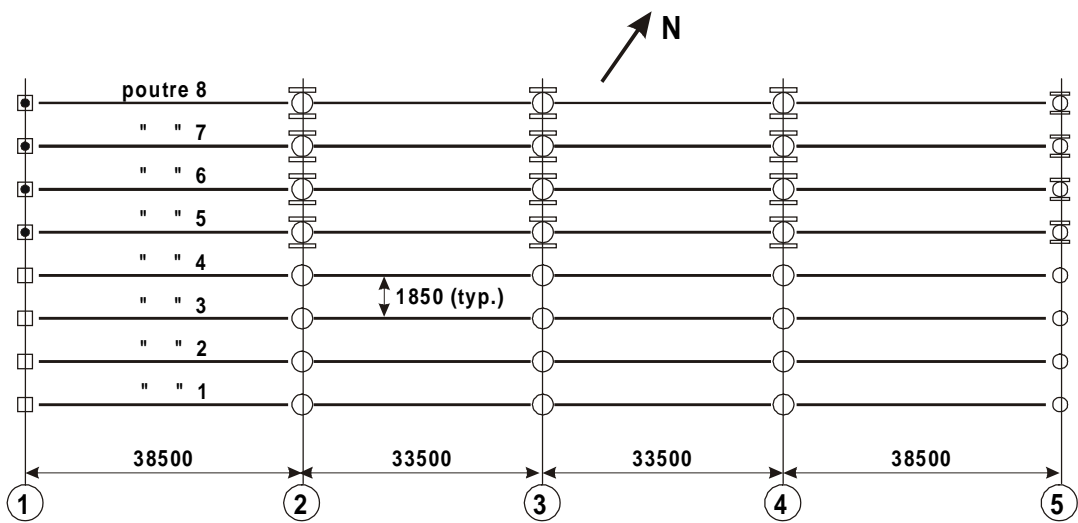
Selon cette configuration, les charges horizontales s'exerçant dans la direction transversale (nord-sud) sont reprises par les appareils d'appui des poutres 5 à 11 sur toutes les unités de fondation. Les charges horizontales qui agissent dans la direction longitudinale (ouest-est) sont reprises par les appareils d'appui des poutres 5 à 11 de la culée 1.



DIRECTION LONGITUDINALE
(dalle, entretoises et pentes non montrées, échelle verticale exagérée)



DIRECTION TRANSVERSALE (PHASES I ET II)



- appui élastomère (GOODCO série ER)
- appui élastomère (GOODCO série ER) avec tige de fixation
- appui à élastomère confiné multi-directionnel (GOODCO série PM)
- ⊗ appui à élastomère confiné unidirectionnel (GOODCO série PMG)

VUE EN PLAN DU SYSTÈME D'APPUIS (PHASE I)

Figure 2.5 Types d'appareils d'appui

Les différents types d'appareils qui ont été utilisés dans la phase I sont montrés au bas de la figure 2.5. À la culée 1, on a retenu un coussin en élastomère. Pour les poutres 5 à 8, une tige d'ancrage verticale en acier a été ajoutée pour assurer le transfert des charges horizontales dans les deux directions. Aux piles 2 à 4 et à la culée 5, des appuis à élastomère confiné ont été choisis. Ces appareils étaient munis d'un mécanisme de glissement pour permettre le mouvement horizontal. Pour les poutres 5 à 8, les appareils comportaient des guides longitudinaux pour empêcher les mouvements horizontaux dans la direction transversale.

2.2.2.1 Coussin en élastomère

La figure 2.6 illustre l'appareil d'appui utilisé à la culée 1. Il s'agit d'un coussin en élastomère renforcé de fibres synthétiques de 25 mm d'épaisseur. Une plaque d'acier biseautée (plaque d'épaisseur variable) est ajoutée pour compenser la pente des poutres. Des barres guide sont soudées sur la plaque biseautée en périphérie du coussin.

Pour les poutres 5 à 8 (phase I), on remarque la tige d'acier de 50 mm de diamètre qui est ajoutée pour reprendre les charges horizontales. Une niche de 54 mm de diamètre x 300 mm de hauteur est aménagée dans les poutres pour insérer la tige.

Le mouvement transversal des poutres 1 à 4 pouvait se produire par déformation en cisaillement du coussin en élastomère. Pour ce coussin, le manufacturier permet une déformation de 19 mm, ce qui excède les mouvements anticipés spécifiés aux plans (+10 mm, -5 mm).

Toutes les poutres sont munies à leurs extrémités d'une plaque d'assise en acier qui est incorporée dans le béton au moment de la fabrication. Cette plaque est ancrée au béton des poutres par l'intermédiaire de goujons. Les poutres reposaient donc sur les coussins en élastomère via la plaque d'assise.

La figure 2.6 illustre l'appareil et la poutre tels qu'ils ont été installés au chantier. Le coussin en élastomère a été placé sur la plaque biseautée alors que l'on spécifiait l'inverse aux plans. Également, les appareils avec tige ont été déplacés d'environ 90 mm vers l'est, principalement parce que les poutres de la travée 1 étaient plus courtes que prévues.

2.2.2.2 Appuis à élastomère confiné

Les deux modèles d'appareil à élastomère confiné utilisés dans le projet sont illustrés à la figure 2.7. L'appareil non guidé (schéma de droite sur la figure) comprend un pot circulaire en acier dans lequel on place un coussin de caoutchouc naturel sur lequel on vient déposer un piston en acier. Le caoutchouc est confiné dans le pot et trois anneaux de laiton sont utilisés pour sceller le piston. Ces anneaux empêchent le caoutchouc de fuir en périphérie sous l'effet de la pression. Un scellant en caoutchouc mousse compressible est aussi placé sur le dessus de la paroi du pot pour prévenir la contamination du piston. Le pot est fixé sur une plaque de base en acier, laquelle est déposée sur les socles de béton de la structure.

Sous une charge verticale, le caoutchouc confiné se comporte comme un liquide, c'est-à-dire qu'il ne change pas de volume, ou très peu, et qu'il permet la rotation (inclinaison) du piston dans toutes les directions, tel que montré à la figure 2.8. Dans les appareils fournis dans le projet, le disque de caoutchouc était lubrifié avec une graisse pour minimiser la friction entre le caoutchouc et le pot et ainsi faciliter davantage la rotation du piston.

Pour permettre le mouvement horizontal, on place sur le dessus du piston un disque fait d'un polymère de tétrafluoréthylène (PTFE) et on ajoute une plaque supérieure sous laquelle on a soudé une mince plaque d'acier inoxydable poli. Dans les appareils fournis pour le projet, on a employé un PTFE vierge (non renforcé), le disque était lubrifié avec un produit à base de silicone et on a utilisé de l'acier inoxydable ayant un fini de catégorie *miroir*. Toutes ces caractéristiques permettaient d'obtenir un coefficient de friction très bas.

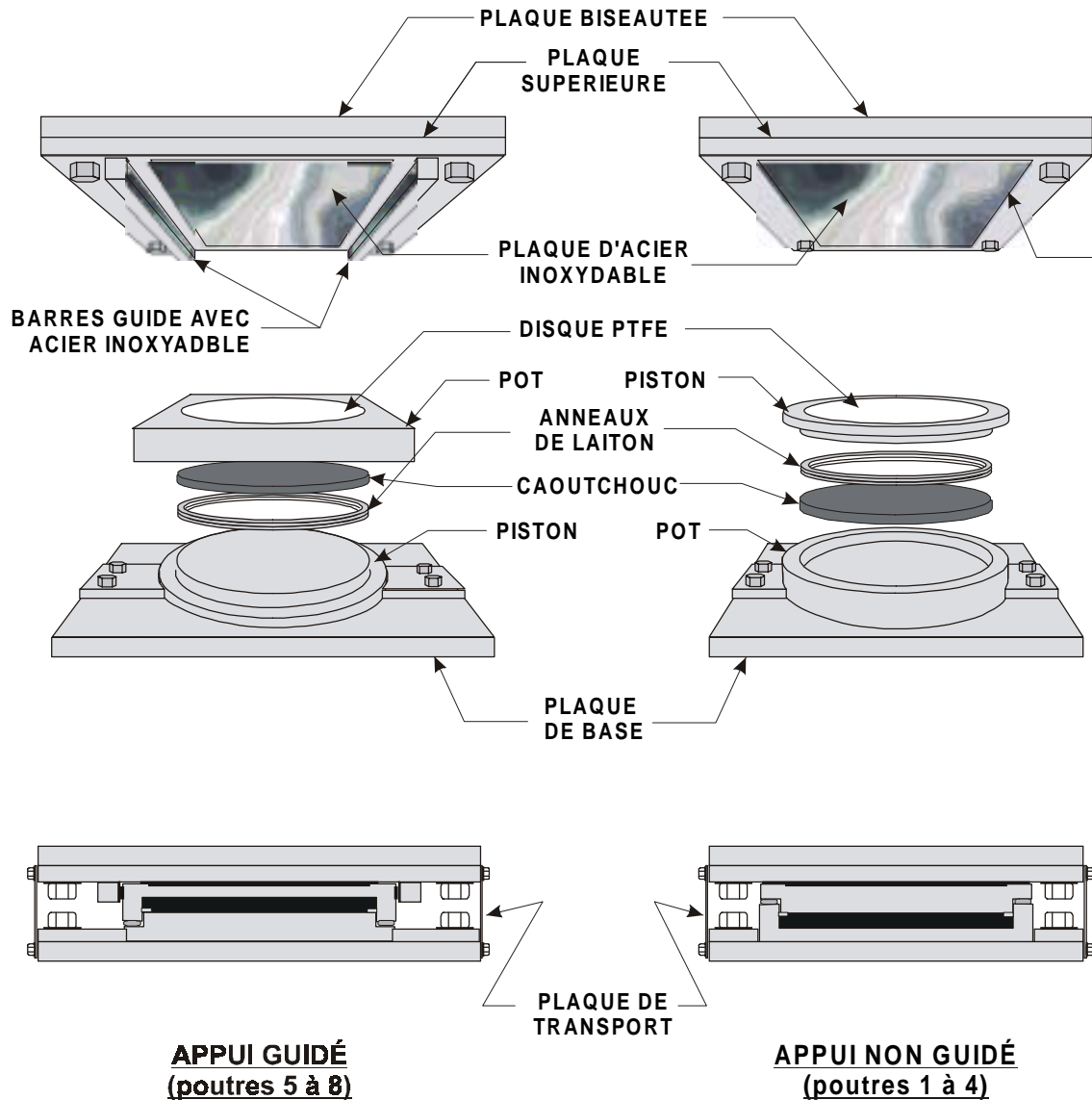


Figure 2.7 Appuis à élastomère confiné (vue de l'ouest sur le pont)

L'appui unidirectionnel (ou appui guidé, montré à gauche sur la figure 2.7) a été employé pour les poutres 5 à 8 de la phase 1. Pour cet appui, l'ensemble pot caoutchouc piston est inversé par rapport à celui de l'appui non guidé : le piston est maintenant fixé à la plaque de base, le pot est placé à l'envers sur le caoutchouc et le disque de PTFE est placé sur la face supérieure du pot. Le principe de l'appareil est cependant le même que dans l'appui non-guidé, c'est-à-dire qu'il permet la rotation dans toutes les directions de la poutre qu'il supporte et le mouvement horizontal de la plaque supérieure. Des barres guide sont toutefois ajoutées pour empêcher le mouvement dans la direction transversale du pont. L'interface entre les barres guide et les bords du pot est aussi une combinaison PTFE et acier inoxydable pour minimiser la friction au mouvement longitudinal.

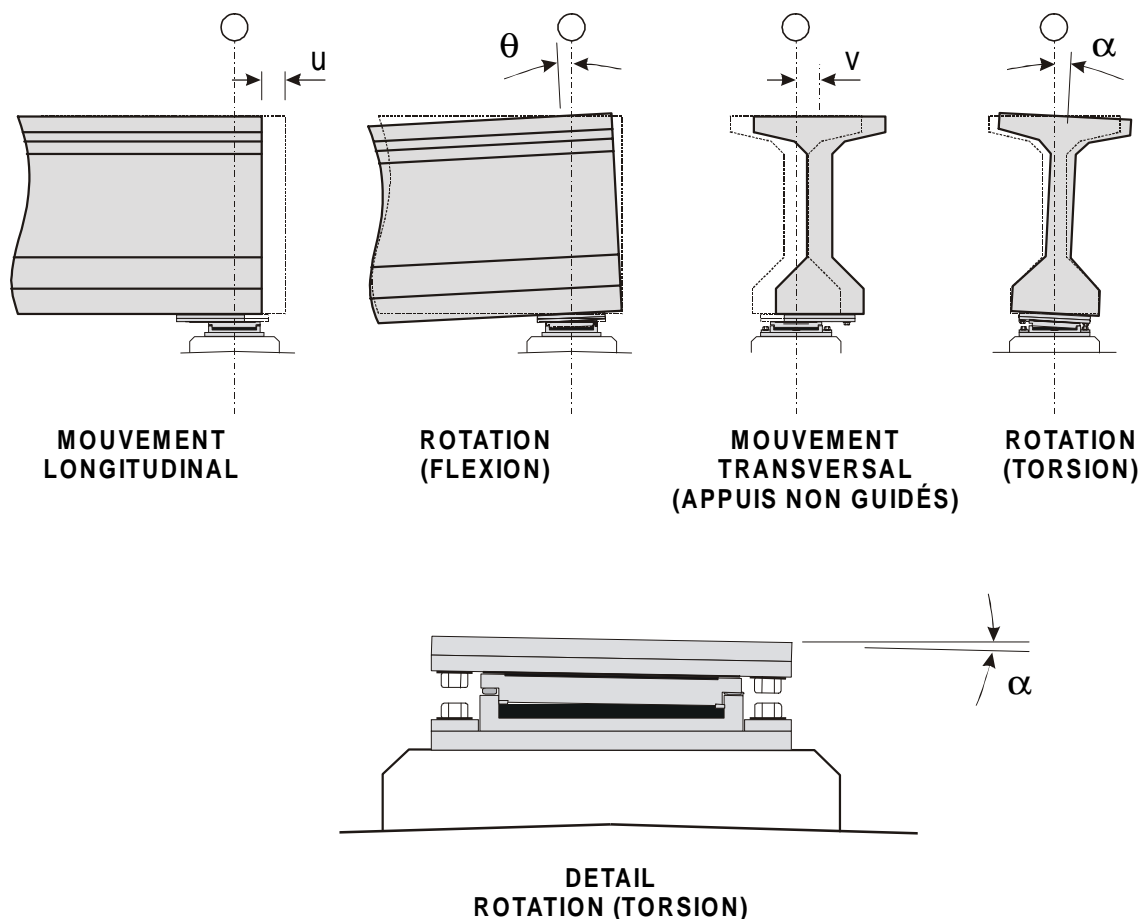


Figure 2.8 Mouvements des poutres permis par les appareils d'appui à élastomère confiné

Des appareils identiques ont été utilisés aux piles 2 à 4 alors que des appareils de plus petites dimensions ont été choisies pour la culée 5. Les principales caractéristiques des appuis sont données au tableau 2.2. Les identifications PM (Pot Mobile) et PMG (Pot Mobile Guidé) s'appliquent respectivement aux appuis non guidés et guidés.

Tous les appareils ont été entièrement assemblés en usine et les parties inférieure et supérieure de chaque appareil étaient maintenues en position par deux plaques verticales que l'on désigne plaques de transport. Ces deux plaques étaient placées sur les côtés de l'appareil qui sont parallèles à la longueur du pont (figure 2.7). Elles avaient une épaisseur de 3 mm et étaient fixées à la plaque de base et à la plaque supérieure au moyen de 2 boulons de 9.5 mm de diamètre (deux boulons en haut et deux boulons en bas). Ces plaques doivent être enlevées lorsque l'installation des poutres sur les appareils est complétée.

Tableau 2.2 Caractéristiques des appuis à élastomère confiné

Paramètre	Piles 2, 3 et 4 Modèles PM300 et PMG300	Culée 5 Modèles PM150 et PMG150
Critères de calcul (selon les plans de conception)		
Charge verticale totale en service (kN)	1815	975
Charge transversale en service (kN) ⁽¹⁾	250	150
Mouvement longitudinal (mm)	+20, -90	+25,-125
Mouvement transversal (mm) ⁽²⁾	+10, -5	+10, -5
Rotation (rad.)	0.02	0.02
Dimensions (selon les plans d'atelier)		
Diamètre intérieur du pot (mm)	360	255
Diamètre du PTFE (mm)	340	230
Épaisseur de l'élastomère (mm)	25	20

⁽¹⁾ Appuis guidés seulement (poutres 5 à 8)

⁽²⁾ Appuis non guidés seulement (poutres 1 à 4)

Piles 2 à 4

Aux piles 2 à 4, le concepteur a retenu une solution avec un seul appareil d'appui pour asseoir les deux poutres présentes. Cette façon de faire est valable mais diffère de la pratique utilisée au Québec qui consiste à utiliser un appareil pour chacune des deux poutres, tel que montré à la figure 2.9.

Le détail proposé prévoit un espace de 300 mm entre les deux poutres et que des aciers d'armature en U excèdent l'extrémité des poutres au niveau de la semelle inférieure. Lors de la coulée de l'entretoise, qui fait 600 mm de largeur au-dessus des piles, cet espace est rempli de béton et la continuité entre les deux poutres à la semelle inférieure est alors assurée par les barres qui sont noyées dans le béton.

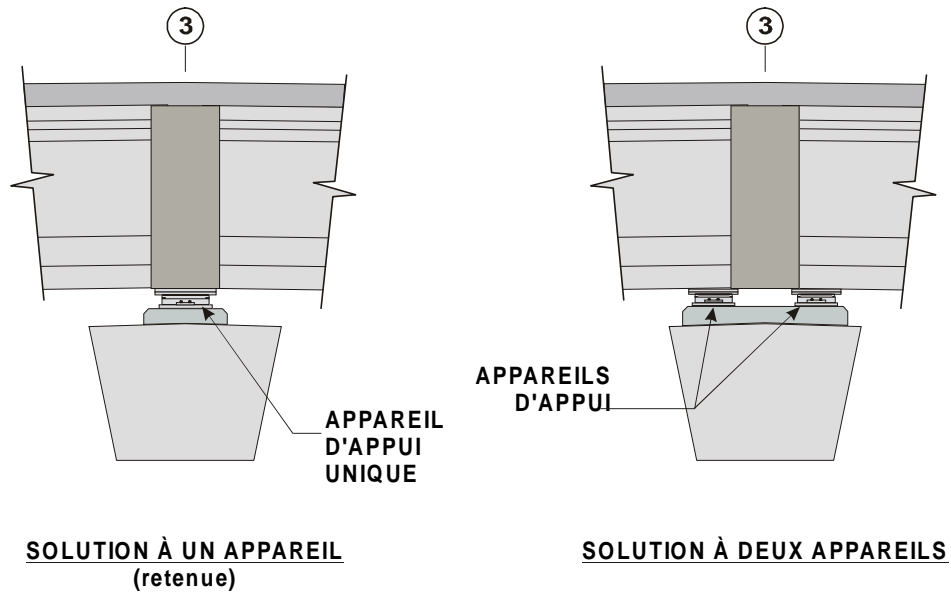


Figure 2.9 Concept d'appui pour les piles 2 à 4 (pile 3 montrée)

Les plaques d'assise des poutres excèdent l'extrémité des poutres de façon à pouvoir les joindre bout à bout par le biais d'une soudure à rainure (soudure en V). Les plaques d'assise devaient aussi être soudées à la plaque supérieure de l'appareil d'appui sur tout le périmètre de cette dernière.

On notera qu'à la pile 3, la plaque biseautée est en fait d'épaisseur constante puisque la pile se trouve au point sommet de la courbe verticale du pont. La figure 2.11 montre le même détail à la pile 4 où, cette fois la plaque biseautée est d'épaisseur variable. Sur cette photo, la soudure des plaques n'est pas effectuée et on voit la taille inclinée du bout des plaques d'assise pour permettre la soudure en V.

Les poutres sont mises en place une à la fois. Afin d'éviter de soumettre l'appareil d'appui à une charge excentrique lors de l'installation des poutres, ce qui pourrait causer une rotation excessive de la partie supérieure de l'appareil, on doit utiliser des appuis temporaires sous les poutres. Dans le cas du pont du boulevard du Souvenir, on a utilisé des pièces de bois, tel que montré à la figure 2.10.

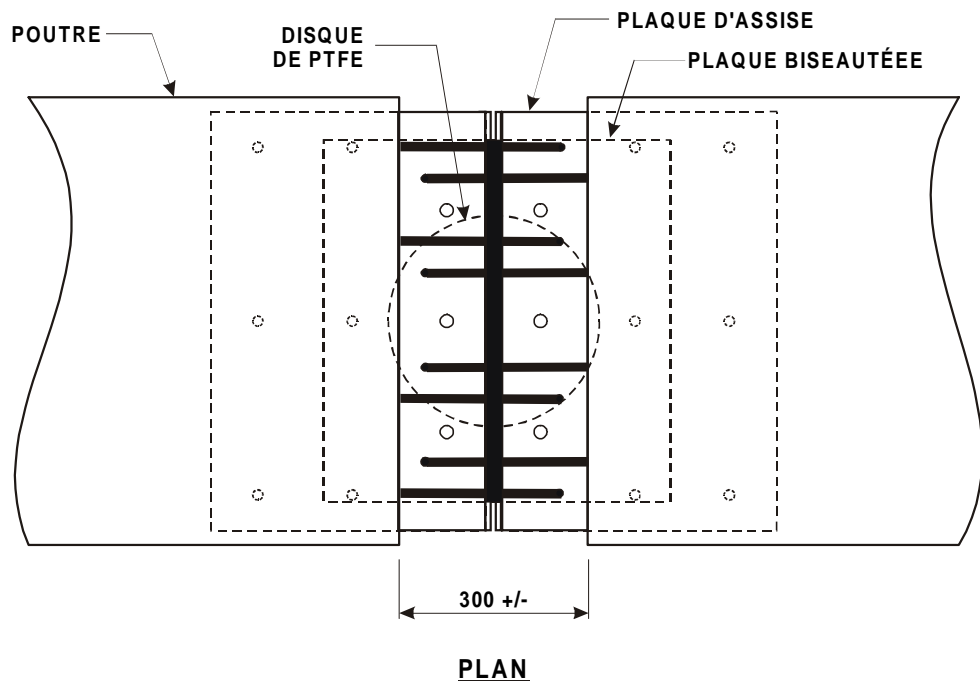
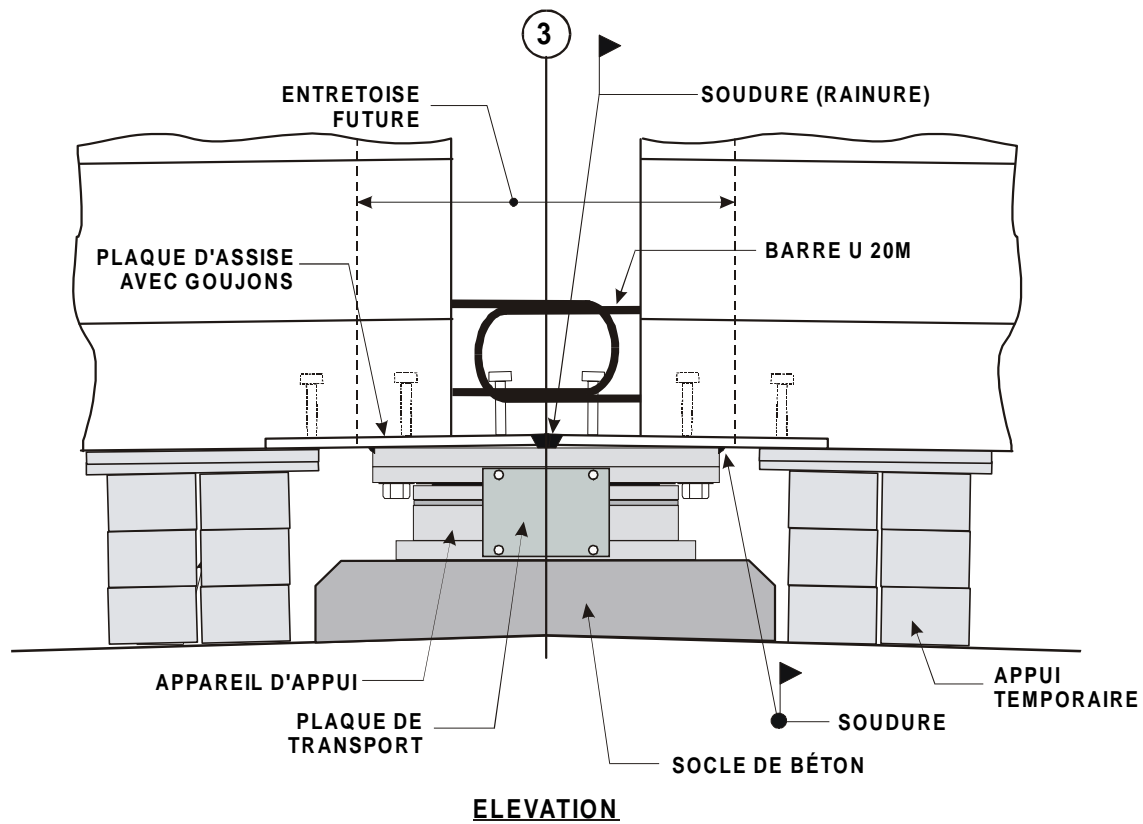


Figure 2.10 Détail des appuis aux piles 2 à 4
(poutres 1 à 4 à la pile 3 montrées)



Figure 2.11 Vue vers le sud de l'appui des poutres 8 à la pile 4
(Photo 330.1.21¹)

On remarque enfin sur les figures 2.10 et 2.11 les plaques de transport utilisées pour les appareils. Aux piles 2 et 3, les trous pour les boulons de fixation des plaques de transport étaient circulaires (voir aussi figure 2.19). À la pile 4, comme à la culée 5, on a utilisé des trous ovalisés pour la fixation des plaques de transport à la plaque supérieure (figures 2.11 et 2.12), dans le but de permettre un ajustement final au chantier de la position longitudinale de la plaque supérieure à ces deux appuis.

¹ La numérotation des photos dans le rapport est celle établie par la Police de Laval.

Culée 5

À la culée 5, les poutres sont déposées sur la plaque biseautée de l'appareil d'appui, sans recours à un appui temporaire, tel qu'illustré à la figure 2.12. La plaque d'assise devait être soudée sur tout le périmètre de la plaque biseautée.

La figure montre la position approximative d'une poutre sur l'appui telle qu'observée au chantier. Les poutres de la travée 4 étaient plus courtes que prévu et l'écart a été entièrement repris à la culée 5 en modifiant la distance entre le centre de l'axe 5 et le bout de la poutre (les appareils d'appui n'ont pas été déplacés).

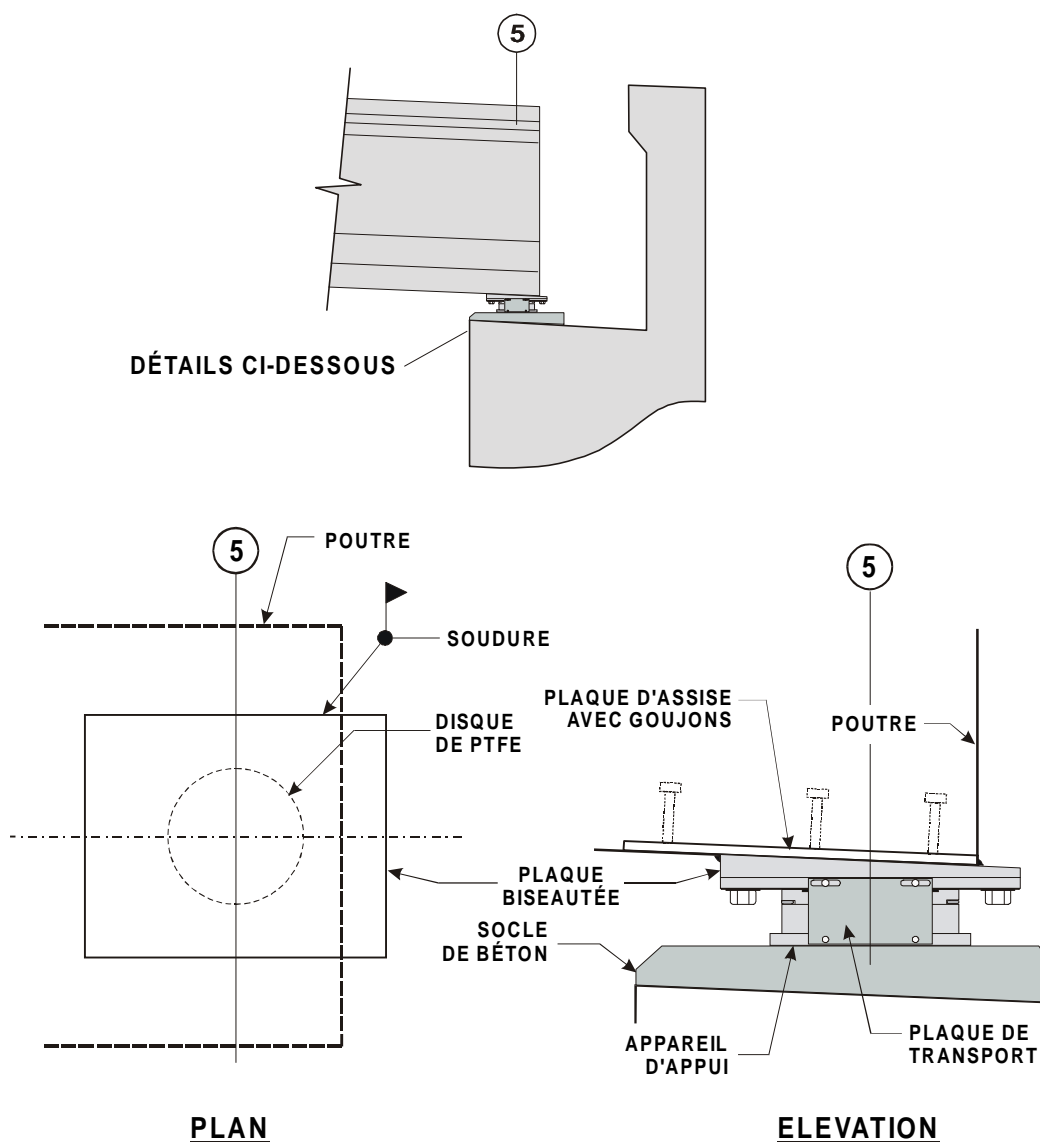


Figure 2.12 Appareil d'appui à la culée 5
(Position des poutres telles qu'installées)

2.3 Construction du pont

Les travaux de la phase I ont débuté en octobre 1999. Durant l'automne et l'hiver, on a réalisé les travaux d'excavation et procédé à la construction des culées et des piles. Les appareils d'appui ont été mis en place au début du mois d'avril 2000 et l'installation des poutres s'est faite du 3 mai au 5 juin 2000. Les travaux de coffrage des entretoises et de la dalle ont débuté au début du mois de mai et étaient en voie d'être achevés au moment de l'accident. Les phases d'installation des poutres et du coffrage des éléments du tablier sont décrites dans les deux prochaines sous-sections.

2.3.1 Fabrication et installation des poutres

2.3.1.1 Calendrier des travaux

Le tableau 2.3 présente les principales étapes de la fabrication et de l'installation des poutres. Les poutres ont été fabriquées en usine puis transportées au chantier par camion. Elles ont été déposées à l'aide de grues sur les appareils d'appui aux culées 1 et 5 et sur les appuis temporaires aux piles 2 à 4. Deux difficultés sont survenues lors de la pose des poutres :

- Les poutres des travées 1 et 4 étaient trop courtes d'environ 90 mm par rapport à la longueur requise. Pour la travée 1, on ne réalise le problème qu'au moment de l'installation des poutres. À la culée 1, on a positionné l'extrémité des poutres à l'endroit prévu, en raison de la restriction imposée par les tiges d'ancrage verticales qui devaient s'insérer dans les poutres, et on constate que la position de l'extrémité à la pile 2 ne coïncide pas avec la position prévue. Dans les jours qui suivent, on soulève les poutres et on déplace les appareils d'appui de la culée 1 vers la pile 2 et on replace les poutres de façon à ce que leurs extrémités soient bien placées à la pile 2. Pour la travée 4, l'erreur est absorbée à la culée 5, tel que décrit précédemment. La figure 2.13 illustre la pose de la première poutre (no. 8) de la travée 1 et le mauvais alignement de son extrémité sur l'appareil à la pile 2.
- Les huit socles de la pile 3 étaient localisés environ 250 mm au sud de la position prévue. On se rend compte de l'erreur une fois que toutes les poutres de la phase I sont posées. Pour corriger le problème, on soulève l'extrémité des 16 poutres appuyées à la pile 3, on allonge les socles d'environ 250 mm vers le nord, on déplace les appareils d'appui et on dépose les poutres sur les appareils d'appui qui sont maintenant en bonne position. Pendant la levée des poutres, on utilise des profilés tubulaires carrés en acier pour supporter temporairement les poutres et les glisser vers leur position finale. La figure 2.14 illustre le rallongement des socles et le déplacement des appareils d'appui à la pile 3.

Tableau 2.3 Calendrier de fabrication et d'installation des poutres de la phase I

Date	Activité
1 novembre au 29 novembre 1999	Fabrication des poutres des travées 1 et 4
9 février au 2 mars 1999	Fabrication des poutres des travées 2 et 3
30 mars au 7 avril 2000	Installation des appareils d'appui sur les socles
Nuit du 3 au 4 mai 2000	Installation des huit poutres de la travée 1
Nuit du 4 au 5 mai 2000	L'extrémité des poutres 5 à 8 à la culée 1 est déplacée à côté de l'appareil d'appui Installation des huit poutres de la travée 2
5 mai 2000	Déplacement vers la pile 2 de quatre appareils d'appui de la culée 1 (poutres 5 à 8)
Nuit du 5 au 6 mai 2000	Déplacement des poutres 5 à 8 de la travée 1 Installation des huit poutres de la travée 3
6 mai 2000	Installation des huit poutres de la travée 4
26 mai 2000	Soulèvement des poutres 6 à 8 à la pile 3 Début des modifications aux socles de la pile 3
29 mai 2000	Soulèvement des poutres 1 à 5 à la pile 3
30 mai 2000	Enlèvement des appuis temporaires aux piles 2 à 4
2 juin 2000	Déplacement des appareils d'appui à la pile 3
5 juin 2000	Mise en place finale de l'extrémité des 16 poutres des travées 2 et 3 à la pile 3 Enlèvement des appuis temporaires à la pile 3
13 juin au 16 juin 2000	Soudure des plaques d'assise des poutres aux appareils d'appui de la pile 2
17 juin 2000	Soudure des plaques d'assise des poutres aux appareils d'appui de la pile 3



Figure 2.13 Installation de la poutre no.8 de la travée 1 (Photo CSST.4)



Figure 2.14 Allongement des socles de béton et déplacement des appareils d'appui à la pile 3 (Photo DES.151)

2.3.1.2 Conditions d'appui des poutres

La figure 2.15 illustre les conditions d'appui des poutres qui ont prévalu à partir de leur installation jusqu'au 18 juin. On remarque qu'à partir du 30 mai, il n'y a plus d'appuis temporaires aux piles 2 et 4 et qu'à partir du 5 juin, les appuis temporaires à la pile 3 sont enlevés à leur tour.

2.3.1.3 Retenue latérale des poutres

Lors de leur installation, les poutres ont été reliées entre elles, dans la direction transversale, par des tirants en acier. Ces tirants étaient localisés aux extrémités des poutres, au niveau de leur semelle supérieure, et étaient faits d'une tige métallique à filetage sans fin de 13 mm de diamètre nominal. Ce type de tige, que l'on désigne couramment «tige lagstud» ou «tige LAGCT», est fréquemment utilisé dans la fabrication de coffrages pour les structures en béton. Ces tiges étaient insérées dans les connecteurs de cisaillement situés en bordure de la semelle supérieure des poutres et elles étaient bloquées à chaque bout au moyen d'une plaque d'acier et d'un écrou.

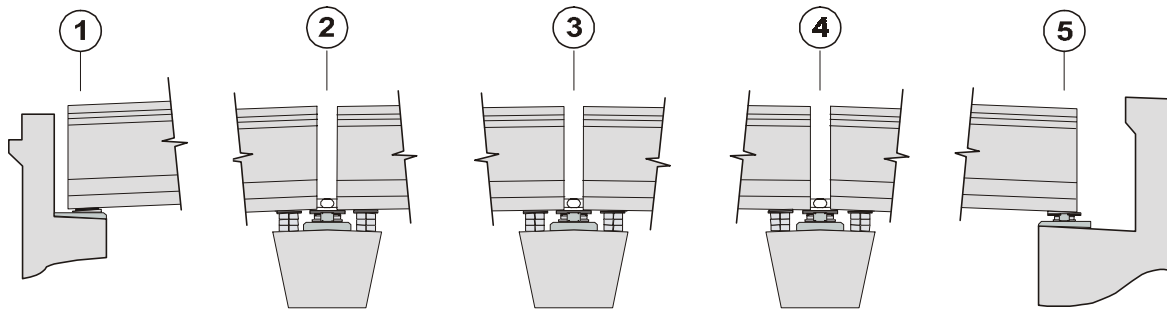
Tel qu'illustré à la figure 2.16, les tiges devaient être préalablement courbées à leurs extrémités pour réaliser cet assemblage. À proximité de chaque tige, on plaçait une pièce de bois de 89 mm x 89 mm de section pour bloquer les poutres entre elles.

2.3.1.4 Soudure des plaques d'assise des poutres aux appareils d'appui

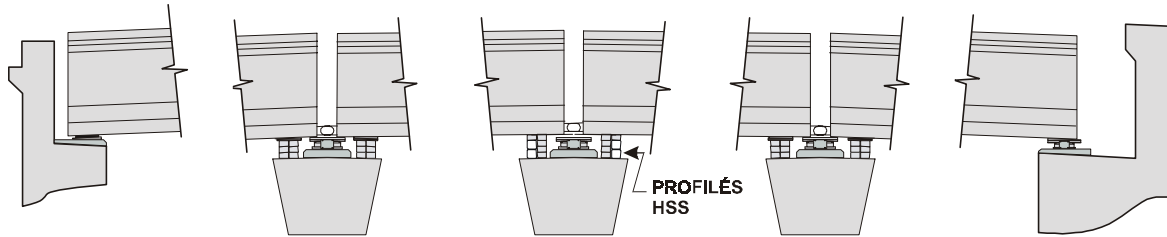
Les travaux de soudage des plaques d'assise des poutres à la plaque biseautée des appareils d'appui à élastomère confiné ont débuté le 13 juin 2000 et n'étaient pas complétés au moment de l'accident. Les soudures étaient terminées à la pile 2 et étaient en cours à la pile 3 (figure 2.18). Aucune soudure n'avait été réalisée à la pile 4 et à la culée 5. Les soudeurs ont quitté le chantier le samedi 17 juin, vers 15h.

Au moment de réaliser les soudures, les boulons de toutes les plaques de transport avaient été enlevés à la pile 3 et, probablement, à la pile 2. Les appuis temporaires avaient été enlevés aux piles 2 à 4.

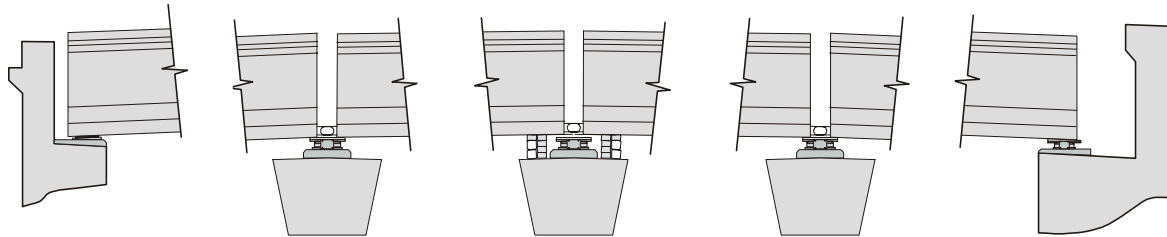
La figure 2.19 illustre la soudure à un des appuis à la pile 3. On remarque la soudure à rainure au centre et on note que les boulons entre la plaque de transport et la plaque supérieure sont enlevés avant le soudage.



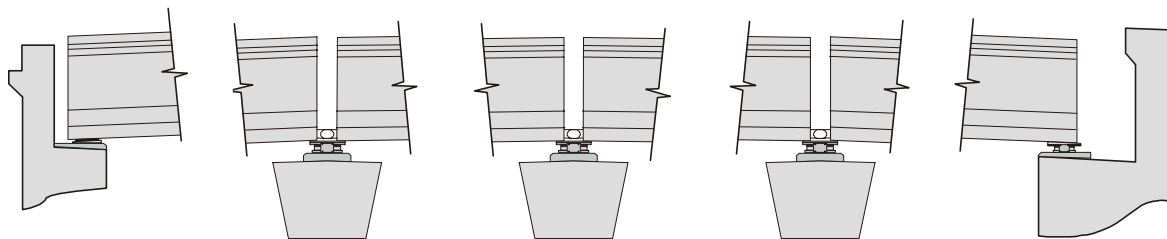
DE LA POSE DES POUTRES AU 26 MAI



26 MAI - 30 MAI



30 MAI - 5 JUIN



5 JUIN - 18 JUIN

Figure 2.15 Évolution des conditions d'appui des poutres de leur installation jusqu'au 18 juin

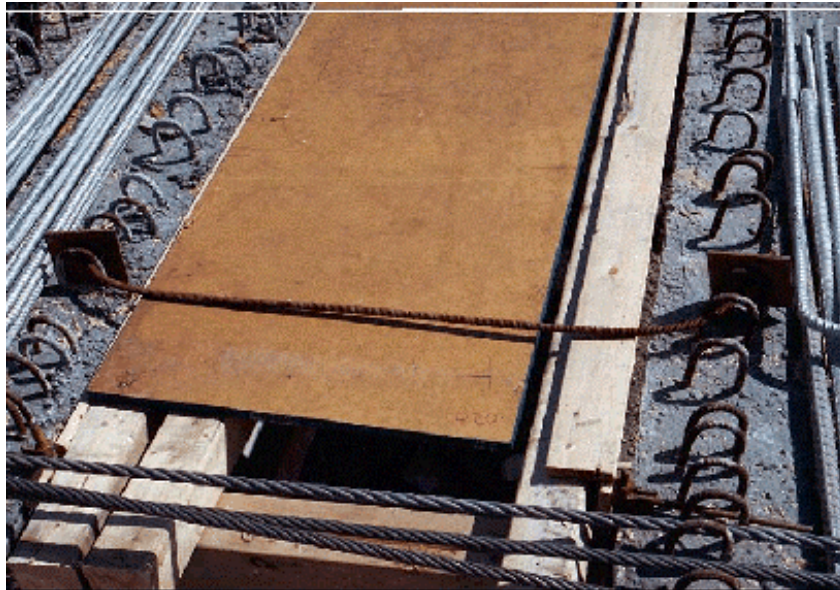


Figure 2.16 Tige entre les poutres du pont
(photo 330.8.15, prise après le 18 juin, une fois que les poutres en place ont été stabilisées avec des câbles d'acier)

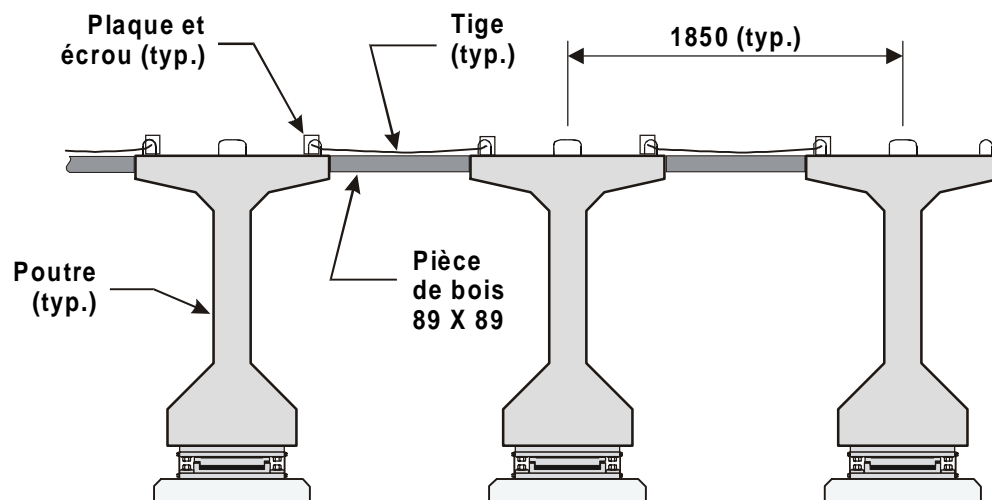


Figure 2.17 Schéma montrant les tirants et les pièces de blocage en bois posés aux deux extrémités des poutres

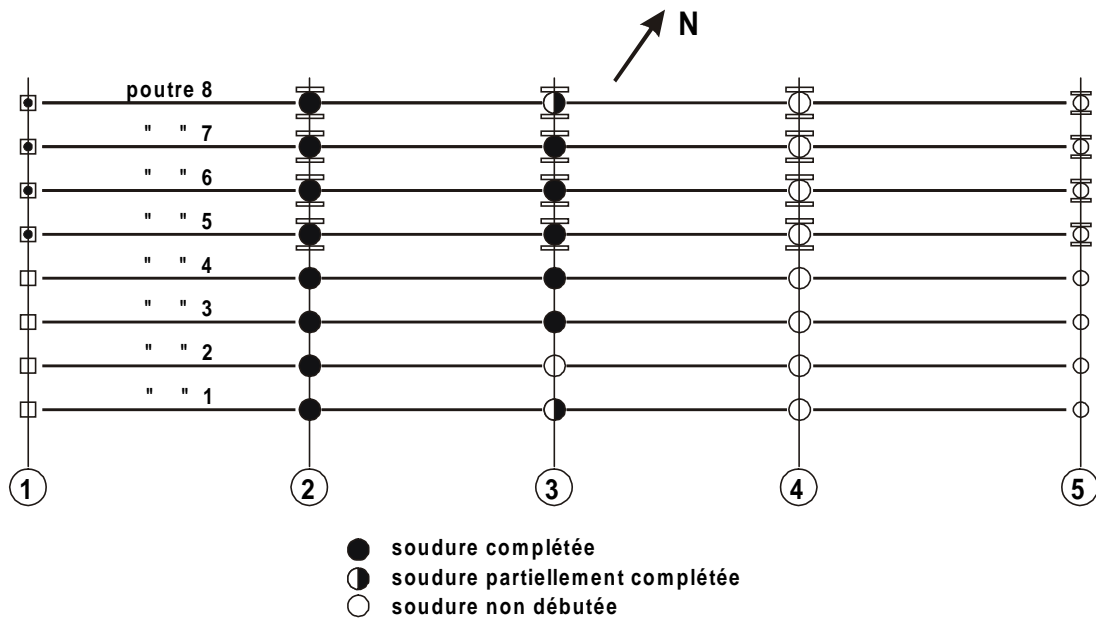


Figure 2.18 Avancement des travaux de soudure des appareils d'appui aux piles 2 à 4 et à la culée 5



Figure 2.19 Soudure des plaques d'assise des poutres à un appui à la pile 3 (Photo DES.212)

2.3.2 Travaux de coffrage des entretoises et de la dalle

Les travaux de coffrage ont débuté dès la mise en place des poutres. Ces travaux comprenaient :

- la mise en place des planchers de sécurité au-dessus des voies de l'autoroute;
- le coffrage des entretoises intermédiaires et des entretoises aux appuis;
- le coffrage de la dalle entre les poutres et des sections de dalle en porte-à-faux le long des côtés sud et nord du pont.

2.3.2.1 Plancher de sécurité et entretoises

Les figures 2.20 et 2.21 illustrent la construction des planchers de sécurité et des coffrages des entretoises intermédiaires à la travée 3. La même construction a été utilisée à la travée 2. On remarque que le plancher (feuilles de contreplaqué supportées sur des pièces de 89 mm x 89 mm) repose sur le dessus incliné de la semelle inférieure des poutres.

Les parois verticales du coffrage des entretoises intermédiaires sont faites de planches individuelles de 19 mm d'épaisseur. Ces planches sont fixées à des pièces de bois verticales individuelles de 38 mm x 89 mm, lesquelles sont maintenues par deux membrures horizontales faites d'une pièce de 38 mm x 89 mm et d'une pièce de 89 mm x 89 mm. L'espacement entre les deux parois verticales est maintenu à l'aide de tiges d'acier reliant les deux membrures horizontales. Le fond du coffrage est fait en renforçant localement le plancher de sécurité.

La figure 2.22 montre les coffrages utilisés pour la construction des entretoises intermédiaires dans les travées 1 et 4. La construction est similaire à celle des travées 2 et 3 sauf le fond des coffrages qui est fait de façon indépendante.

Dans les quatre travées, les coffrages des entretoises intermédiaires reposent sur le dessus incliné de la semelle inférieure des poutres. Il n'y avait pas de fixation mécanique (boulons d'ancrages) entre ces coffrages et les poutres de béton.

La paroi verticale des coffrages des entretoises aux culées qui est placée entre les poutres est construite de la même manière, tel qu'illustré sur la figure 2.23.



Figure 2.20 Plancher de travail et coffrage des entretoises intermédiaires à la travée 3 (photo DES.216, vue vers l'ouest)

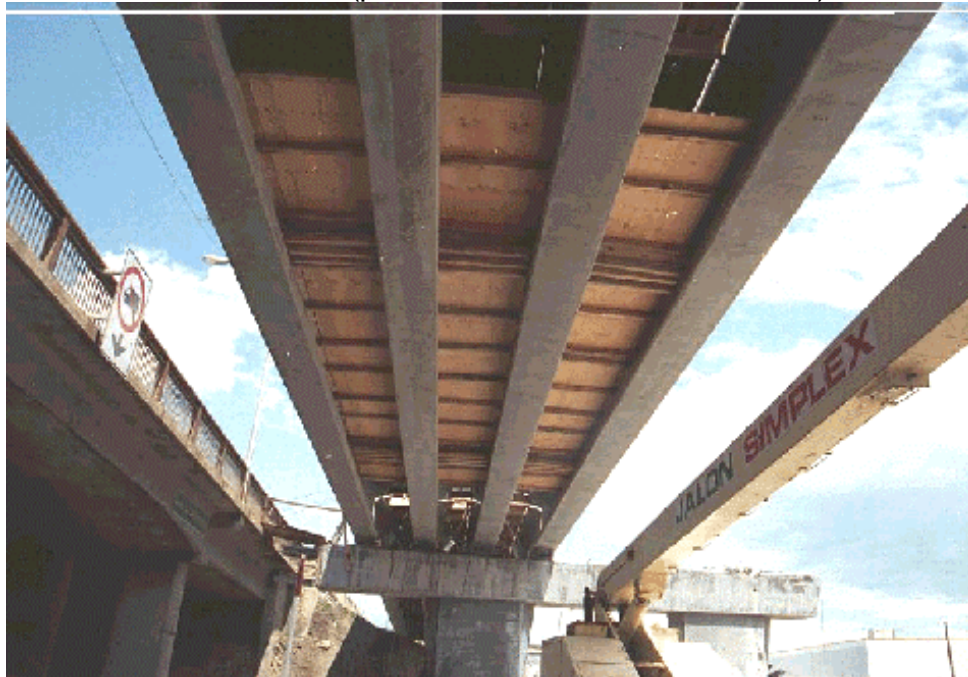


Figure 2.21 Plancher de sécurité et fond du coffrage des entretoises intermédiaires sur la travée 3 (photo 280.2.23, prise après l'accident)



Figure 2.22 Coffrage de la dalle et des entretoises intermédiaires de la travée 4 (Photo 280.2.22, prise après l'accident)



Figure 2.23 Coffrage de l'entretoise à la culée 1 (photo 330.1.04, prise après l'accident)

2.3.2.2 Coffrage de la dalle

Le coffrage des parties de la dalle situées entre les poutres est principalement fait de feuilles de contreplaqué supportées par trois pièces de bois 89 mm x 89 mm qui sont parallèles aux poutres. Les pièces de 89 mm x 89 mm sont appuyées sur des poutrelles régulièrement espacées le long des poutres (figures 2.24 et 2.25).



Figure 2.24 Construction du coffrage du tablier entre les poutres sur la travée 4 (photo DES.159)



Figure 2.25 Coffrage de la dalle entre les poutres
(photo 280.8.20, prise après l'accident)

Le schéma de la figure 2.26 illustre la construction des poutrelles. Elles sont faites de 2 pièces parallèles 38 mm x 235 mm assemblées par l'intermédiaire de petites pièces de contreplaqué. Les poutrelles sont supportées verticalement à chaque bout par une tige métallique à filetage sans fin de 13 mm de diamètre nominal, ce qui permet d'ajuster le niveau du coffrage par rapport à celui du dessus des poutres. Les tiges filetées sont insérées dans un collet soudé aux bouts de tiges de 10 mm de diamètre qui sont déposées sur la semelle supérieure des poutres (figure 2.27).

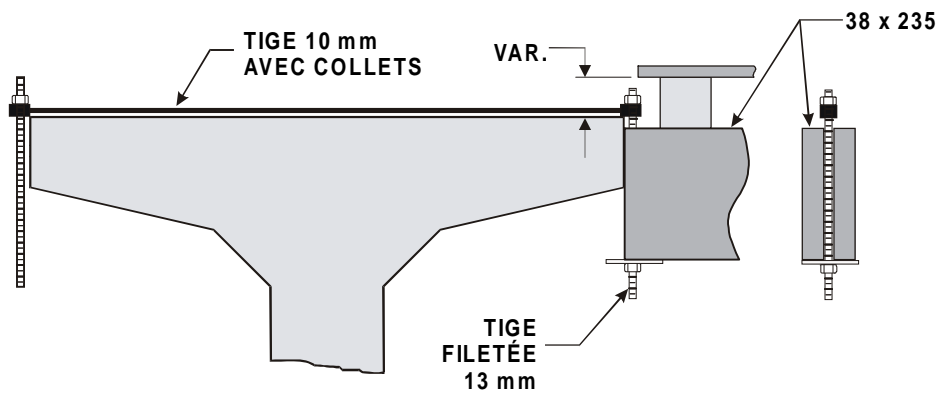


Figure 2.26 Fixation des poutrelles aux poutres



Figure 2.27 Coffrage de la dalle terminé dans la partie ouest (photo DES.186)

La figure 2.28 montre la construction du coffrage de la partie de la dalle en porte-à-faux du côté sud du pont. Ce coffrage comprenait des feuilles de contreplaqué déposées sur des membrures longitudinales 89 mm x 89 mm, elles-mêmes étant supportées par des équerres en acier fixées sur le côté des poutres. Le même type de construction a été utilisé du côté nord.



Figure 2.28 Coffrage du porte-à-faux du côté sud, sur la travée 1
(photo DES.204)

2.3.2.3 État d'avancement des travaux

Au 18 juin, l'état d'avancement des travaux de coffrage du tablier peut se résumer comme suit :

- le plancher de travail au-dessus des voies de l'autoroute 15 est terminé;
- le coffrage des entretoises intermédiaires est terminé;
- le coffrage des entretoises aux culées 1 et 5 est en construction;
- le coffrage des entretoises aux piles 2 à 4 n'est pas commencé (prévu après le soudage des plaques d'assise des poutres);
- le coffrage de la dalle entre les poutres est terminé;
- le coffrage de la dalle en porte-à-faux du côté sud est terminé sur la travée 1 (surface horizontale seulement);
- le coffrage de la dalle en porte-à-faux du côté nord est en cours, il est complété sur environ 15% de la travée 1 à partir de la culée 1 (surface horizontale seulement) , les équerres métalliques sont placées sur le reste de la travée 1 et à proximité de la pile 3.

Les ouvriers travaillant à la préparation des coffrages ont quitté le chantier vers midi le samedi 17 juin.