



Étude de pré faisabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

Rapport sectoriel no 4 Les solutions «Pont»

Contrat PJCCI No 61100

Révision 01 | Mars 2011



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated

Canada

Transports
Québec





Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated
Canada

Ministère
des Transports
Québec 

Étude de pré faisabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

Contrat PJCCI N° 61100

Rapport sectoriel no 4 Les solutions « Pont »

Date : 29 mars 2011

CONSORTIUM BCDE



CIMA

DESSAU

egis



CONSORTIUM BCDE



Ministère
des Transports
Québec



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorpoée
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated
L'usagé

Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorpoée
Ministère des Transports du Québec

Étude de préféabilité portant sur le remplacement de l'actuel pont Champlain

Rapport sectoriel no 4
Les solutions « Pont »
Mars 2011

Préparé par :

Christian Lemay, ing. M.Sc.

N° OIQ: 32917

Avec la collaboration de Michel Virlogeux, consultant, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées
E.R.

Véifié par

Jean-Claude Therrien, ing. M.S.E

N° OIQ : 16880

Consortium BCDE
1060, rue University, bureau 600
Montréal (Québec) Canada H3B 4V3
Téléphone : 514.281.1010
Télécopieur : 514.281.1060

CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE EXÉCUTIF	1
EXECUTIVE SUMMARY	3
1 INTRODUCTION	5
2 GÉOMÉTRIE ROUTIÈRE	5
2.1 Profil en travers fonctionnel	6
2.2 Profil longitudinal.....	8
3 CONTRAINTES.....	9
3.1 Contraintes hydrauliques	9
3.2 Contraintes environnementales	10
3.2.1 Zones de contamination.....	10
3.2.2 Faune et flore.....	10
3.2.3 Site archéologique	11
3.3 Contraintes de la voie maritime	12
3.3.1 Gabarit	12
3.3.2 Exploitation.....	13
3.4 Contraintes aériennes.....	14
4 MÉTHODES DE CONSTRUCTION	14
4.1 Structure hissée	15
4.2 Pont lancé	17
4.3 Pont construit par encorbellements successifs.....	19
4.4 Poutre de lancement.....	20
4.5 Montage à la grue	22
5 SOLUTIONS PROPOSÉES.....	23
5.1 Monocaisson en béton précontraint.....	23
5.2 Pont composite acier-béton	24
5.3 Pont en ossature mixte	25
5.4 Pont en ossature mixte avec des piles en V.....	29
5.5 Pont à haubans en ossature mixte	32
5.6 Piles et fondations.....	38
5.7 Autres solutions.....	42
6 COÛTS DE CONSTRUCTION.....	43
6.1 Hypothèses	43
6.2 Estimations.....	44

7	COÛTS GLOBAUX SOLUTION PONT	45
8	COMPARAISON DES VARIANTES	48
8.1	Avantages et inconvénients	48
8.2	Question de la redondance des ouvrages	50
8.3	Esthétique	52
9	ÉTUDES ULTÉRIEURES	53
9.1	Études pour la suite du projet	53
9.2	Largeur du tablier	53
9.2.1	<i>Quatrième voie de circulation</i>	53
9.2.2	<i>Piste cyclable</i>	54
9.3	Matériaux	54
9.4	Surcharges routières applicables	55
9.5	Collecte des eaux	56
9.6	Système d'accès pour l'inspection de la structure	56
9.7	Aspects de durabilité	59
10	RECOMMANDATION	61
	RÉFÉRENCES	63

Tableaux

Tableau 1	Estimation des coûts	44
Tableau 2	– Estimation des coûts	45
Tableau 3	– Coûts – solution pont	46
Tableau 4	Comparaison des variantes	48

Figures

Figure 1	– Tracé du nouveau pont	6
Figure 2	– Profil en travers fonctionnel à trois voies de circulation	7
Figure 3	– Profil en travers fonctionnel à quatre voies de circulation	7
Figure 4	– Profil longitudinal au-dessus de la voie maritime	8
Figure 5	– Implantation des piles	9
Figure 6	– Site archéologique	12
Figure 7	– Principe du hissage	15
Figure 8	– Principe du hissage – Exemple – Pont de Cheviré	16
Figure 9	– Principe du hissage – Exemple – Pont de Normandie	16
Figure 10	– Principe du lancement	17
Figure 11	– Principe du lancement sur une structure déjà en place	18
Figure 12	– Encorbellements successifs – Cinématique de construction	19

Figure 13 – Poutre de lancement	20
Figure 14 – Poutre de lancement – cinématique de construction	21
Figure 15 – Poutre de lancement – Pont de l’Île de Ré	21
Figure 16 – Pose à la grue	22
Figure 17 – Pose à la grue – Bigue	22
Figure 18 – Élévation – Monocaisson en béton précontraint	23
Figure 19 – Coupes transversales – Encorbellements successifs	24
Figure 20 – Élévation – pont composite	24
Figure 21 – Coupes transversales – Pont composite	25
Figure 22 – Élévation – pont mixte	26
Figure 23 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – bipoutre	27
Figure 24 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – bicaisson	27
Figure 25 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – monocaisson ouvert	28
Figure 26 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – monocaisson fermé	29
Figure 27 – Élévation – Pont en ossature mixte avec des piles en V	29
Figure 28 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – bipoutre	30
Figure 29 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – bicaisson	30
Figure 30 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – monocaisson ouvert	31
Figure 31 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – monocaisson fermé	31
Figure 32 – Élévation – Pont à haubans	32
Figure 33 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution bipoutres	32
Figure 34 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution bicaissons	33
Figure 35 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution caisson fermé	33
Figure 36 – Pylône – Pont à haubans	34
Figure 37 – Pylône à 3 mâts – Pont à haubans	35
Figure 38 – Élévation – Pont à haubans-2 pylônes	36
Figure 39 – Pylône – Pont à haubans-2 pylônes	37
Figure 40 – Piles	38
Figure 41 – Piles en V – Grand Canal du Havre	39
Figure 42 – Batardeau préfabriqué – Étape 1	40
Figure 43 – Batardeau préfabriqué – Étape 2	41
Figure 44 – Batardeau préfabriqué – Étape 3	41
Figure 45 – San Francisco Oakland Bay Bridge	50
Figure 46 – Inspection	58
Figure 47 – Protections de rive de dalle	60

Annexes

Annexe 4-1 Note d’orientation (55 pages)

Annexe 4-2 Plans (24 pages)

Annexe 4-3 Esquisses architecturales (10 pages)

Propriété et confidentialité

« Ce document d'ingénierie est l'œuvre du consortium BCDE et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée et du ministère des Transports du Québec. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
No de révision	Date	Description de la modification et/ou de l'émission
01	2011-03-29	Rapport final révisé
00	2011-02-21	Rapport final
0A	2010-11-15	Rapport final (émission préliminaire)

Ce rapport a été préparé par Christian Lemay, ing. M.Sc., avec la collaboration de Michel Virlogeux, consultant, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées E.R. et vérifié par Jean-Claude Therrien, ing. M.S.E. Guy Richard, ing. M.Sc.A, Bertrand Voutaz, ing. et Claudia M.Bolainez Aguilar, ing. ont également participé à l'élaboration de ce rapport.

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le présent rapport sectoriel traite d'un éventuel nouveau pont devant remplacer l'actuel pont Champlain.

Surtout pour des raisons d'implantation aux approches, le nouveau pont Champlain est proposé à environ 10 mètres en aval (côté nord) du pont existant. Sa longueur est de l'ordre de 3,5 km et peut être décomposée en trois tronçons :

- ▶ Le franchissement du fleuve Saint-Laurent, entre l'île des Sœurs et la voie maritime, sur environ 2 300 mètres;
- ▶ Le franchissement de la voie maritime, soit environ 400 mètres;
- ▶ Les travées d'accès Est, entre la voie maritime et la route 132, environ 800 mètres.

Le pont est composé de deux tabliers symétriques supportant chacun trois voies de circulation automobile et une voie en site propre pour le transport collectif (TCSP).

Les contraintes de conception les plus importantes sont celles engendrées par la voie maritime, qui sont d'ordre géométrique (respect du gabarit, en regard du profil du pont) et d'exploitation lors de la construction de l'ouvrage au-dessus de celle-ci. Une demande a été adressée aux autorités de la Voie maritime dans le but d'alléger les contraintes liées à l'exploitation; une réponse est toujours en attente.

L'élaboration des concepts de structures, en particulier au-dessus du canal de la Voie maritime, est principalement influencée par les méthodes de construction admissibles. Pour le franchissement dudit canal, trois méthodes ont été identifiées :

- ▶ Le hissage de la travée centrale, en un seul ou en plusieurs segments, depuis le canal;
- ▶ Le lançage de l'ossature par dessus le canal;
- ▶ La construction par encorbellements successifs au-dessus du canal.

Les études structurales ont abouti à cinq concepts pour la réalisation du nouveau pont Champlain, soit :

1. Un pont monocaisson en béton précontraint;
2. Un pont composite acier-béton : l'ouvrage est constitué par une travée en ossature mixte ou en acier, supportée par des travées en béton précontraint de part et d'autre de la voie maritime. Les travées courantes sont soit en béton précontraint, soit en ossature mixte;
3. Un pont à ossature mixte (tablier en béton reposant sur une charpente d'acier);

4. Un pont à ossature mixte avec des piles en V sur chaque rive de la voie maritime;
5. Un pont à haubans, en ossature mixte.

Les trois premiers concepts sont qualifiés de solutions de base, alors que les deux derniers sont identifiés comme étant des solutions « signature ». À ce stade de l'étude de préféabilité, les cinq concepts sont retenus. En effet, dans un contexte de contraintes aussi complexes et parfois encore mal définies – en particulier les restrictions de construction au-dessus de la voie maritime – il est prématuré d'écartier des options intéressantes sans les avoir analysées plus en détail dans des études ultérieures.

Les coûts de construction des cinq solutions sont estimés entre 775 M\$ et 910 M\$. La largeur du tablier doit être déterminée de façon optimale, sachant qu'un élargissement de un mètre de tablier dans chaque direction coûte entre 32 M\$ et 38 M\$.

Sachant que cet ouvrage majeur est soumis à une circulation très intense et que sa durée de vie est fixée à 125 ans, certains aspects de conception liés à la durabilité de l'ouvrage devront être étudiés de façon approfondie lors des études ultérieures.

EXECUTIVE SUMMARY

This segment of the report discusses a possible new bridge to replace the existing Champlain Bridge.

Mainly in order to locate it near the approaches, the new Champlain Bridge is proposed to be located about 10 metres downstream (to the north) of the existing bridge. Its proposed length is in the order of 3.5 km and it can be broken down into three sections:

- ▶ The St. Lawrence River crossing, between Île des Sœurs and the seaway, which is about 2,300 metres;
- ▶ The seaway crossing, or about 400 metres;
- ▶ The Eastern access spans, between the Seaway and Highway 132, about 800 metres.

The bridge consists of two symmetrical decks, each with three lanes for vehicular traffic and one exclusive lane public transport system (ELPT).

The largest design constraints are those due to the seaway. These are geometric (respect for clearance, with regard to the bridge profile) and operational, during construction over the seaway. A request was sent to the seaway authorities to moderate the operational constraints but no response has yet been received.

Development of the structural concepts, especially the crossing of the seaway channel, is mainly affected by the construction methods allowed. For crossing the channel, three methods have been identified:

- ▶ Hoisting the central span in one or more segments from the channel;
- ▶ Launching the steel bridge over the channel;
- ▶ Balanced cantilever construction above the channel.

The structural studies resulted in five concepts for execution of the new Champlain Bridge, i.e.:

1. A prestressed concrete box girder bridge;
2. A hybrid steel-concrete bridge: the structure consists of a steel or composite span, supported by prestressed concrete spans on either side of the Seaway. The standard spans are either prestressed concrete or composite;
3. A composite bridge (concrete deck of resting on a steel girder);
4. A composite bridge with V-shaped piers on both shores of the seaway;
5. A composite cable-stayed bridge.

The first three concepts are described as basic solutions while the last two are identified as being “signature” solutions. At this stage of the prefeasibility study, all five concepts are considered. In fact, in a context of constraints that are highly complex and to some extent still poorly defined, it would be premature to eliminate interesting options without having analyzed them in greater detail in a preliminary phase.

The construction costs of five solutions are estimated at between \$775 and \$910 million. The width of the deck must be optimized, given that a 1-metre enlargement of the deck in each direction costs between \$32 and \$38 million.

Since this major structure will be subject to very intense traffic and its service life is to be 125 years, certain design aspects linked to the durability of the structure must be examined more extensively in later studies.

1 INTRODUCTION

Le volet technique de cette étude de préféabilité vise le remplacement de l'actuel pont Champlain par une nouvelle structure répondant aux besoins en transport des usagers de la grande région métropolitaine de Montréal. Ce volet ne traite que de la construction du nouveau pont. Les structures existantes et leurs vocations futures, incluant leur démolition si requise, sont traitées dans le rapport sectoriel sur « L'avenir des structures existantes ».

Le nouveau pont Champlain, dont la longueur sera de l'ordre de 3.5 km, peut être décomposé en trois tronçons :

- ▶ Le franchissement du fleuve Saint-Laurent : entre l'Île des Sœurs et la Voie maritime, environ 2 300 mètres;
- ▶ Le franchissement de la voie maritime, environ 400 mètres;
- ▶ Les travées d'accès Est : entre la voie maritime et Brossard, environ 800 mètres.

Le nouveau pont doit, notamment, avoir une durée de vie minimale de 125 ans et être construit selon les tendances nationales et internationales.

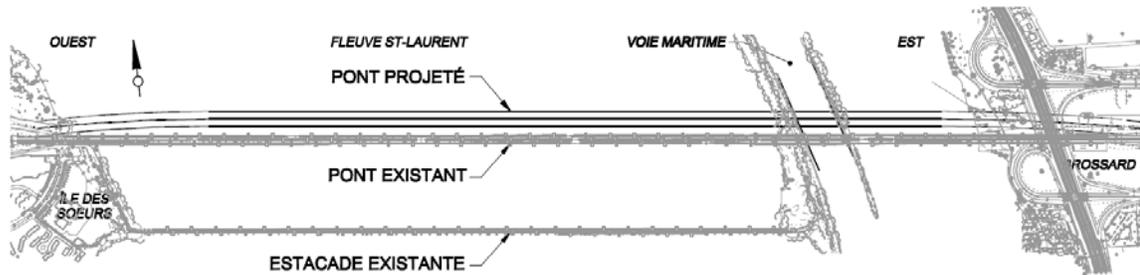
Le présent rapport résume les données d'entrée dont la géométrie routière au chapitre 2 et les contraintes au chapitre 3. Par la suite, le chapitre 4 présente les méthodes de constructions envisagées pour les différentes zones du nouveau pont. Le chapitre 5 énumère les solutions retenues dont les coûts sont évalués au chapitre 6. La comparaison des variantes est faite au chapitre 7 et les recommandations sont formulées au chapitre 8. Finalement, le chapitre 9 traite des études subséquentes qui seront nécessaires pour la suite du projet.

2 GÉOMÉTRIE ROUTIÈRE

Le volet géométrie routière est traité dans le rapport sectoriel « La géométrie et la voirie ». Les principaux points liés au nouveau pont sont résumés ci-dessous.

Le tracé envisagé pour le nouveau pont prend place au nord du pont actuel, côté aval. Ce choix résulte de considérations liées aux contraintes d'implantation et aux emprises possibles.

Figure 1 – Tracé du nouveau pont



2.1 PROFIL EN TRAVERS FONCTIONNEL

Lors de la réunion du 9 février 2010, il a été convenu avec Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée (PJCCI) que les études soient menées en considérant un profil en travers fonctionnel comportant trois voies de circulation dans chaque direction ainsi qu'un sens de circulation d'un TCSP*. Ce profil en travers a été arrêté lors de la réunion du 13 avril 2010. Par la suite, début juillet 2010, il a été demandé que des solutions à quatre voies de circulation soient également considérées, en particulier lors de l'estimation des coûts.

Le profil en travers fonctionnel a été élaboré de concert avec les responsables de la conception de la géométrie routière et de la voirie, de façon à prendre en considération les critères des différentes disciplines, sur le pont et aux approches. Différentes configurations des voies ont été analysées, qui ont conduit aux décisions suivantes :

- ▶ Un pont à trois tabliers, avec un TCSP sur le tablier central, a été écarté du fait du grand nombre de piles à construire dans le fleuve, qui ne favorise ni l'écoulement hydraulique ni l'esthétique du pont. De plus, lors d'un incident d'exploitation du TCSP sur le pont, une intervention physique depuis les voies routières adjacentes ne serait pas possible, ce qui représente un inconvénient au niveau de la sécurité et de l'exploitation.
- ▶ Deux tabliers de largeur identique sont préférables à deux tabliers asymétriques car leur largeur est déjà très importante, et un tablier plus large compliquerait singulièrement la structure. Aussi, deux tabliers identiques confèrent une certaine homogénéité et une efficacité structurale à l'ensemble de l'ouvrage - en particulier pour la traversée de la voie maritime - et un net avantage sur le plan esthétique.

Le chapitre 2.2 du rapport sectoriel no 3 « La géométrie et la voirie » présente l'étude des différents agencements des voies de circulation dans le détail, avec croquis à l'appui.

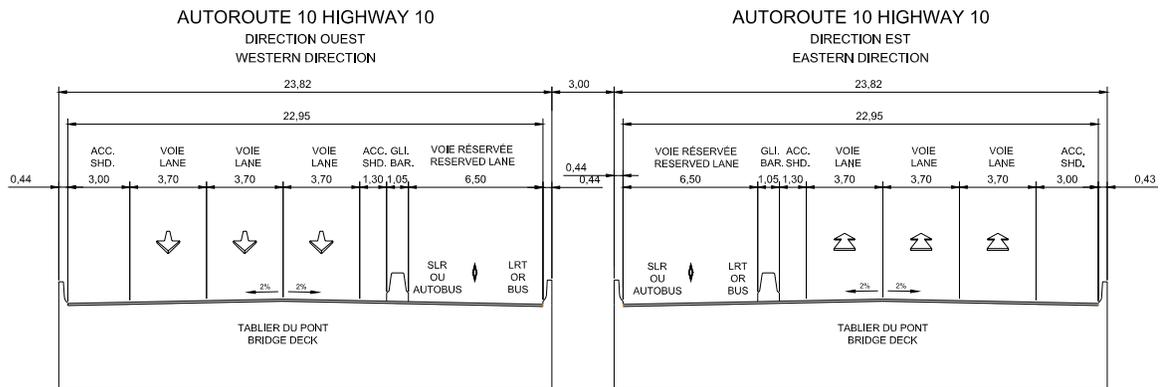
Profil avec trois voies de circulation et TCSP dans chaque sens

La section transversale est composée de deux tabliers symétriques, d'une largeur hors tout de 23.82 m chacun.

Il est considéré que les voies réservées au TCSP seront a priori destinées à des autobus (transport en commun) dans un premier temps et pourraient être affectées à un système léger sur rail (SLR) dans un deuxième temps.

La section transversale à l'étude avec les différentes voies de circulation est présentée à la Figure 2.

Figure 2 – Profil en travers fonctionnel à trois voies de circulation

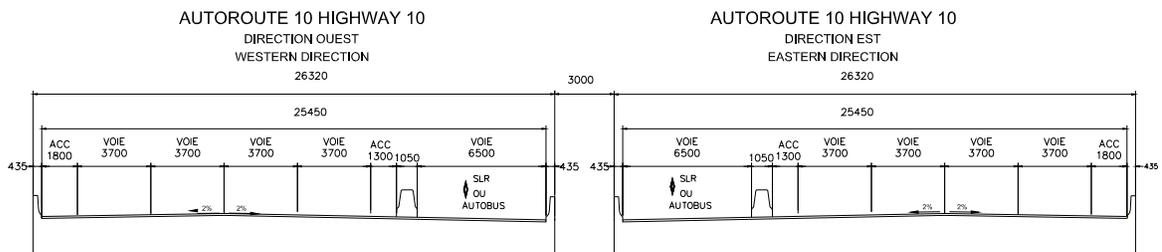


Profil avec quatre voies de circulation et TCSP dans chaque sens

En date du 7 juillet 2010, PJCCI a demandé à ce que les études prennent également en considération un profil en travers fonctionnel comportant une quatrième voie de circulation dans les deux sens, et bien sûr le TCSP.

Les études de l'ouvrage étant déjà avancées, et afin de limiter le nombre de variantes de structure, les tabliers à quatre voies ne sont pas représentés dans le présent document. Toutefois, les concepts et solutions présentés ne sont pas remis en cause par l'ajout d'une quatrième voie.

Figure 3 – Profil en travers fonctionnel à quatre voies de circulation



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

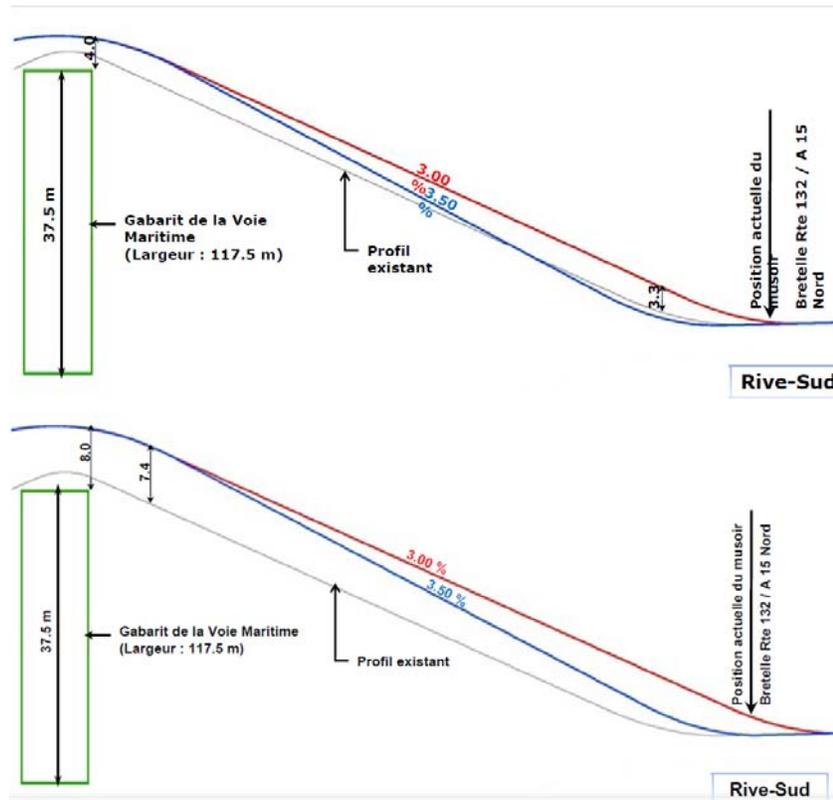
4 - LES SOLUTIONS « PONT »

2.2 PROFIL LONGITUDINAL

Le profil longitudinal final, tant pour la traversée du fleuve que pour la traversée de la voie maritime, sera étroitement lié à la solution retenue pour le pont. Selon les méthodes de construction et la hauteur de la structure, les pentes longitudinales, tout comme les points de raccordement avec le réseau routier existant, seront modifiés.

Pour les premières réflexions, il a été admis que le profil était inclus dans un « fuseau » de profils dégageant un espace au-dessus du gabarit de la voie maritime compris entre 4 m et 8 m. Ce fuseau inclut les différentes hauteurs de construction du tablier en fonction du type de structure envisagée.

Figure 4 – Profil longitudinal au-dessus de la voie maritime



3 CONTRAINTES

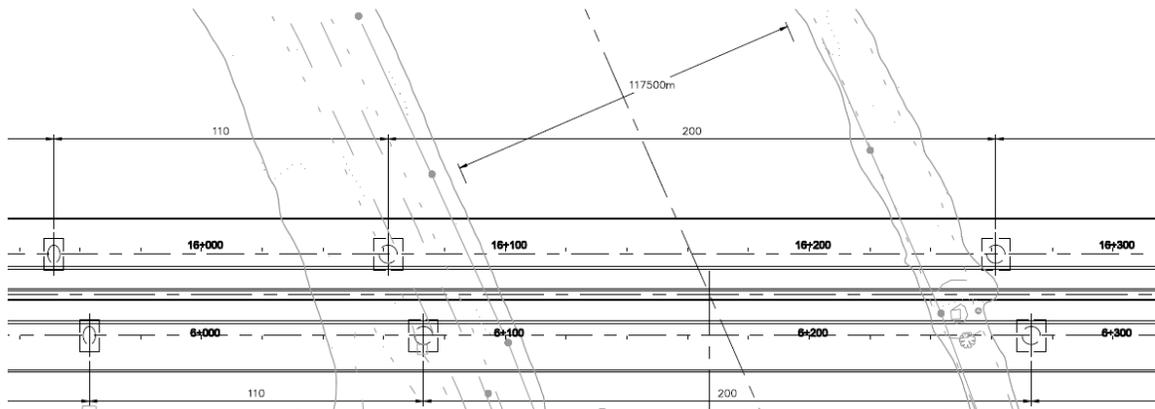
3.1 CONTRAINTES HYDRAULIQUES

À ce stade des études, aucune étude hydraulique n'a été menée. Les concepts ont été élaborés selon la contrainte suivante : le nombre de piles doit être au plus égal à celui du pont existant.

Les piles présentent une géométrie similaire aux piles existantes, ce qui ne devrait pas avoir de conséquences particulières au niveau de l'écoulement hydraulique.

Comme pour le pont actuel, les appuis sont disposés perpendiculairement au tablier (ouvrage mécaniquement droit). Les piles des deux tabliers ne sont cependant pas sur un axe perpendiculaire au pont, mais décalées selon le biais de la voie maritime (Figure 5). Cette implantation pourrait toutefois être modifiée si des raisons d'écoulement hydraulique ou des raisons esthétiques le demandaient, ou pour certaines solutions. Une telle modification serait sans conséquence majeure sur la conception de l'ouvrage.

Figure 5 – Implantation des piles



Estacade

L'estacade du pont Champlain a été construite en 1964-1965, soit trois ans après la construction du pont, terminé en 1962. Contrairement à une idée répandue, elle n'a pas été construite pour protéger les piles et les fondations du pont, mais pour protéger les berges des îles de l'expo '67, dont l'île Notre-Dame, construite avec les matériaux d'excavation du métro de Montréal en 1965. C'est un ouvrage de régulation des glaces, qui en contrôle la formation et le mouvement.

Puisque l'estacade n'a pas été construite pour le pont Champlain existant, il est probable qu'elle pourrait être démolie sans conséquence pour le pont. À ce stade des études, il est légitime de supposer qu'il en sera de même avec le nouveau pont, si celui-ci présente une géométrie de piles similaires. Par la suite, une fois la conception plus avancée, une étude hydraulique devrait toutefois être réalisée pour connaître l'impact réel du courant et des glaces sur les nouvelles piles et fondations, en fonction de leur géométrie précise.

3.2 CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

Le volet environnemental est traité dans le rapport sectoriel « Aspects environnementaux ». Les principaux points liés au nouveau pont sont résumés ci-dessous.

3.2.1 Zones de contamination

Des zones contaminées sont présentes le long de la rive nord, à proximité de l'Autoroute Bonaventure et près du pont Victoria. Aucune donnée complète n'est disponible sur les sédiments du fleuve Saint-Laurent et de la Voie maritime, il est toutefois possible que des sédiments contaminés soient présents. Dans les éventuelles zones concernées, les appuis seront, autant que possible, en nombre limité. Lors de l'implantation dans la zone relativement étendue du fleuve, des appuis seront probablement implantés dans les zones polluées. Des précautions particulières seront alors à prévoir afin de limiter l'impact des travaux de fondation sur l'environnement, en particulier les milieux naturels sensibles

3.2.2 Faune et flore

Sur le territoire du projet ou à l'intérieur de son périmètre d'influence, il n'y a rien de particulier en ce qui concerne la flore. En revanche, plusieurs espèces animales font l'objet d'une attention particulière dans la zone d'étude :

- ▶ faucon pèlerin anatum – espèce vulnérable;
- ▶ tortue géographique – espèce vulnérable;
- ▶ couleuvre brune – espèce susceptible d'être désignée;
- ▶ chevalier de rivière – espèce vulnérable.

D'un point de vue habitat, la présence de trois (3) herbiers aquatiques, qui abritent des zones de frai, d'un refuge d'oiseaux migrateurs et d'une zone de concentration d'oiseaux aquatiques, a été notée. Ces habitats constituent des milieux sensibles à préserver et protéger.

Ainsi, les travaux en eaux devraient être réalisés du 1^{er} août au 20 décembre de chaque année pour protéger l'habitat du poisson. De plus, il est interdit de déranger le refuge d'oiseaux migrateurs du 1^{er} avril au 31 octobre, ce qui imposera des contraintes aux travaux dans ce secteur.

La présence de piles dans le fleuve entraînera des pertes permanentes de milieux naturels sensibles et d'habitat du poisson. De plus, la présence de batardeaux, d'enrochement ou de ponts temporaires pour la construction des piles et des fondations dans le fleuve, dont les frayères et herbiers aquatiques, entraînera des pertes temporaires de milieux naturels sensibles et d'habitat du poisson. Ainsi, des mesures de compensation seront à prévoir. Néanmoins, cette contrainte ne devrait pas représenter une contrainte majeure dans l'implantation des piles.

De plus, il est important de souligner que le pont Champlain actuel abrite un site de nidification répertorié de faucons pèlerins (*anatum*), une espèce vulnérable. Comme cette espèce fait l'objet d'un programme de protection et de réinsertion depuis de nombreuses années, des mesures seront sans doute requises pour que la solution de remplacement du pont Champlain recrée des opportunités de nidification pour cette espèce.

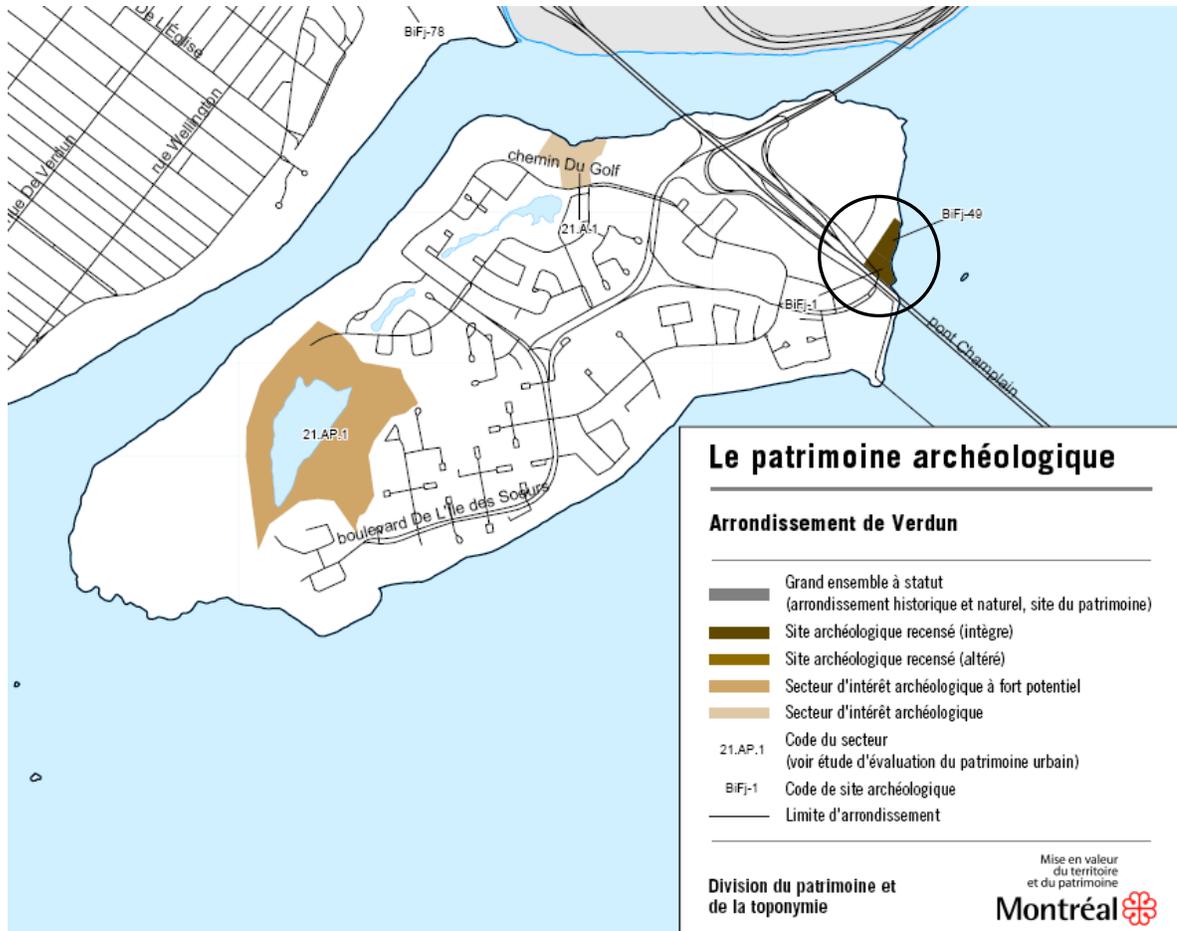
Dans le cas d'une structure à haubans, l'obstacle créé par les faisceaux de haubans ne devrait pas être un problème pour les oiseaux, toutefois, une étude plus approfondie peut s'avérer nécessaire si cette option est retenue.

3.2.3 Site archéologique

Plusieurs sites archéologiques existent sur la pointe de l'île des Sœurs, dont la ferme Jacques LeBer (BiFj-1) et un site amérindien préhistorique (BiFj-49). Cette zone est située sur le tracé du nouvel ouvrage, comme montré à la Figure 6. Sa présence doit donc être prise en compte. La nature des vestiges est délicate : la sépulture d'un enfant amérindien y a été retrouvée, conférant à cette terre un statut sacré pour les Mohawks de Kahnawake.

Les sites ne sont pas classés au sens de la Loi sur les biens culturels du Québec. Toutefois, comme les sites sont répertoriés autant par le ministère des Affaires culturelles, des Communications et de la Condition féminine du Québec (MACCCQ) et la Ville de Montréal, il serait souhaitable que PJCCI entame des démarches auprès de ces autorités, ainsi de la communauté Mohawk pour convenir des méthodes de protection et de mise en valeur à mettre en œuvre avant le début des travaux.

Figure 6 – Site archéologique



3.3 CONTRAINTES DE LA VOIE MARITIME

Le pont franchit la voie maritime selon un biais d'environ 23.50°.

3.3.1 Gabarit

La Voie maritime n'ayant pas fourni de réponse officielle avant la rédaction du présent rapport, le gabarit pris en compte est défini comme suit :

- ▶ Largeur : 117.50 m;
- ▶ Hauteur totale : 37.50 m, fixée par PJCCI lors de la réunion d'étape no 6 du 13 mai 2010;
- ▶ Niveau des hautes eaux navigables : 11.88 m. Cette élévation correspond aux hautes eaux à la hauteur du pont Champlain admis lors des études du SLR. Il a été corroboré par les données transmises par les autorités de la Voie maritime en date du 12 août 2010.

Le respect du gabarit impose de construire les piles en dehors du canal. De plus, le noyau étanche de la digue doit être préservé. En tenant compte du biais, ces contraintes d'implantation mènent à une portée de la travée au-dessus de la voie maritime de l'ordre de 200 mètres, soit proche de la portée du pont actuel qui est de 215 mètres.

3.3.2 Exploitation

Les autorités de la Voie maritime ont limité les travaux à la période de fermeture de la voie maritime, soit en période hivernale entre le 1^{er} janvier et le 1^{er} mars. La période des travaux est donc très courte dans le temps, alors que le climat à cette période est peu favorable à la construction.

Étant donné l'importance de la reconstruction du pont Champlain, une demande a été adressée aux autorités de la Voie maritime afin de discuter de la possibilité d'alléger certaines contraintes de construction.

Lors de la réunion tenue avec les autorités de la Voie maritime du Saint-Laurent, le 24 mars 2010, plusieurs questions clés ont été soulevées, et des éléments de réponse ont été fournis, sous réserve de confirmation officielle. Au moment de la rédaction du présent rapport, aucune réponse officielle n'est parvenue au consortium.

Les principaux points en suspens sont :

- Période de travaux : le protocole technique pour le projet de prolongement de l'A30 permet les travaux au-dessus de la Voie maritime entre le 1^{er} janvier et le début du mois de mars. Toutefois, un rapport de stabilité de la structure doit être remis et approuvé avant la réouverture de la Voie maritime. Les délais d'approbation de ce rapport de stabilité sont estimés à quinze jours, ce qui ramène la fin des travaux au 15 février.

Le consortium a demandé aux autorités de la Voie maritime du Saint-Laurent s'il était possible d'obtenir, à titre d'exemple, ce protocole. Cela semblait possible, sous réserve de l'accord des différentes parties prenantes, mais il n'est toujours pas disponible.

Cette restriction quant à la période de travail conduit à d'importantes contraintes pour la construction. Ces contraintes ont en effet une très forte influence sur le type de structure, les méthodes de construction, la durée des travaux envisagés et conséquemment sur le coût de l'ouvrage.

- Mise en place de palées provisoires non protégées contre les chocs : le canal étant en légère courbe à la hauteur du pont, le risque de perte de contrôle des navires est accru : des accidents sont d'ailleurs signalés chaque année. La Voie maritime est donc très réservée vis-à-vis d'une solution de ce type.

- ▶ Arrêt complet de la circulation maritime : la possibilité d'arrêter la circulation pendant une période d'environ 24 heures est évoquée. Puisque la nouvelle structure sera en place pour de nombreuses années, la Voie maritime manifeste une certaine ouverture à permettre un arrêt de la navigation sur un nombre très limité de périodes de ce genre.
- ▶ Travaux au-dessus de la voie maritime : le consortium demande s'il est envisageable de faire certains travaux au-dessus du canal lorsque ce dernier est ouvert à la circulation. La demande est basée sur les pratiques d'autres pays qui autorisent soit la circulation maritime, soit la circulation ferroviaire lorsque certains travaux sont en cours.

Recommandation 1 : Une étude de risque devra être effectuée dans le cas où les autorités de la Voie maritime du Saint-Laurent répondent positivement à la demande d'arrêt temporaire de la circulation maritime ou de travaux au-dessus du canal en maintenant la circulation maritime.

3.4 CONTRAINTES AÉRIENNES

En effet, l'aéroport de Saint-Hubert est situé à une distance d'environ 7 km du pont à vol d'oiseau. En admettant que le couloir aérien puisse passer au-dessus du pont, nous prenons en compte que les avions en phase d'approche de l'aéroport volent en suivant une pente minimale de 2 %. Ainsi, la hauteur minimale des avions au-dessus du sol à l'endroit du pont est de l'ordre de 140 m. Cette contrainte sera donc prise en compte dans le cas d'un pont à haubans, avec la hauteur limite correspondante. De plus, les signaux des équipements de contrôle aéroportuaires pouvant être perturbés par de hautes structures, NavCanada devra être consulté.

4 MÉTHODES DE CONSTRUCTION

Le franchissement du fleuve Saint-Laurent et celui de la Voie Maritime seront réalisés avec des méthodes de construction distinctes. Comme les contraintes liées à la Voie maritime sont particulièrement exigeantes, les solutions ont été travaillées en fonction de celles-ci. Trois méthodes de construction possibles ont été identifiées :

- ▶ Le hissage de la travée centrale, en un seul ou en plusieurs segments;
- ▶ Le lançage de l'ossature;
- ▶ La construction par encorbellements successifs.

Pour le franchissement du fleuve, les méthodes de construction envisagées sont :

- ▶ Le montage avec une poutre de lancement;
- ▶ Le lançage de l'ossature;
- ▶ Le montage à la grue.

Les solutions sont présentées dans les chapitres suivants.

4.1 STRUCTURE HISSÉE

Lorsque le franchissement d'une voie navigable de gabarit important est nécessaire, une méthode souvent employée est le hissage. Cette méthode, maintes fois éprouvée, consiste à fabriquer la section centrale à terre et à transporter cette dernière sur une barge par le canal au pied du pont. La section est alors hissée par des équipements fixés sur la partie déjà construite du tablier, ou par des grues situées sur des barges. Lorsque la nouvelle section est en place, elle est connectée au tablier existant.

Le principal avantage de cette méthode est qu'elle permet de minimiser les interruptions du trafic maritime. En effet, les équipements permettent de lever des charges importantes, limitant ainsi le nombre d'interventions. La Figure 7 illustre cette méthode de construction. Le principal inconvénient de cette méthode est sa dépendance à la météo, les vents devant être modérés afin de contrôler les opérations de montage.

Figure 7 – Principe du hissage

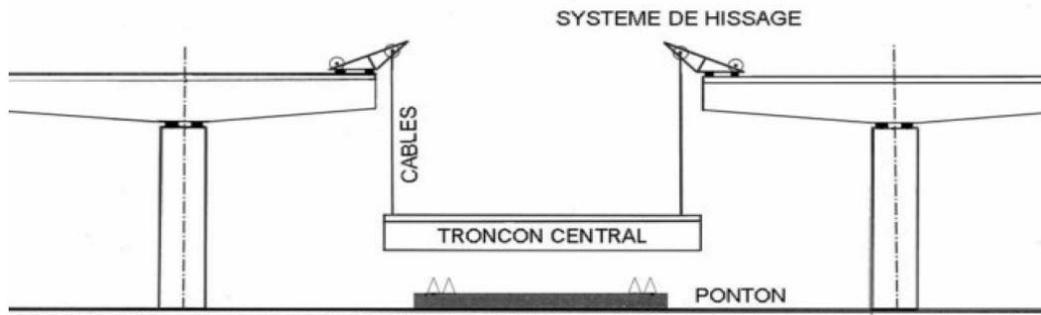


Figure 8 – Principe du hissage – Exemple – Pont de Cheviré



Il est aussi possible de décomposer l'opération en hissant plusieurs éléments de tablier, de plus petite taille et de poids plus faible.

Figure 9 – Principe du hissage – Exemple – Pont de Normandie



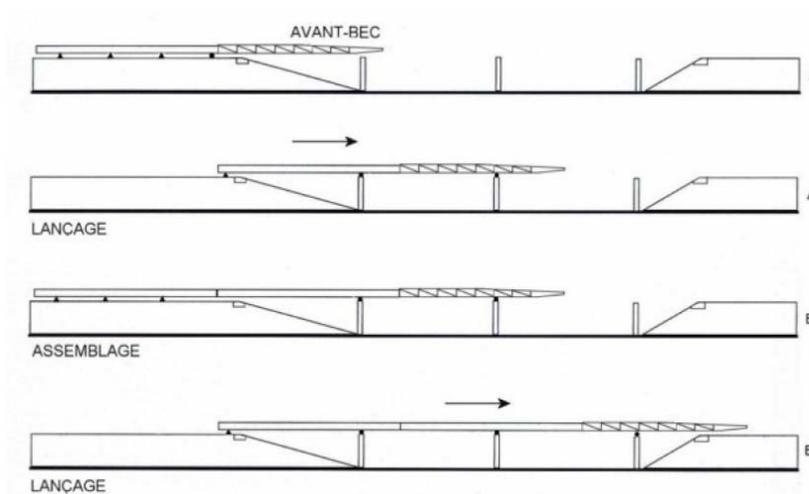
4.2 PONT LANCÉ

Comme il est peu probable que la mise en place de palées provisoires dans le canal soit autorisée par les autorités de la Voie maritime, il faut envisager le lançage depuis les deux côtés en raison de la portée importante de cette travée. En effet, la portée maximale pour un lançage est de l'ordre de 140 m, soit, bien au-dessous de la portée d'environ 200 m imposée par le canal.

Le lançage pourrait être effectué durant la période d'exploitation de la voie maritime, comme cela se fait à de nombreux endroits à travers le monde. Cette technique est en effet utilisée de façon courante dans de nombreux pays pour franchir des voies de circulation – routières, ferroviaires, maritime – sans restrictions particulières vis-à-vis de l'exploitation de ces voies.

Le lançage est une des méthodes les plus utilisées à travers le monde pour le montage des charpentes métalliques. Le principe d'un lançage est de faire avancer la structure en la faisant rouler ou glisser sur des appuis jusqu'à sa position définitive une fois qu'elle a été reconstituée sur une aire d'assemblage derrière une des culées (Figure 10). L'avant-bec, structure métallique provisoire légère fixée à l'avant de la charpente, est requis pour réduire les efforts de porte-à-faux, et faciliter l'accostage sur la pile suivante.

Figure 10 – Principe du lançage

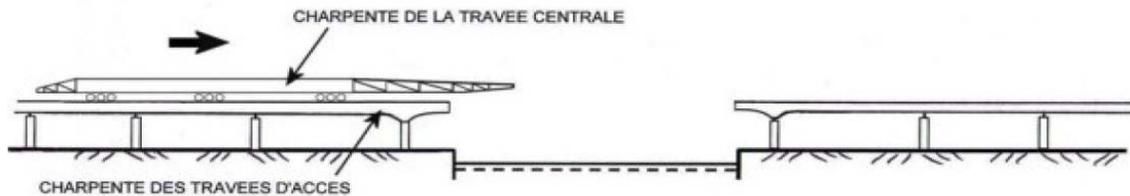


Afin de faciliter le lançage, une structure doit généralement répondre aux critères suivants :

- ▶ Un tracé en plan qui est une courbe superposable à elle-même par rotation ou translation (droite ou cercle notamment);
- ▶ Un rayon de courbure constant (souhaitable);
- ▶ Une hauteur et une largeur constantes, ou faiblement variables.

Lorsque les conditions du site l'imposent, aire d'assemblage insuffisante par exemple, il est possible de lancer la structure à partir de la structure déjà en place, comme démontré à la Figure 11.

Figure 11 – Principe du lançage sur une structure déjà en place



Le grand nombre de ponts lancés à travers le monde a permis d'établir des délais d'exécution moyens. On peut résumer les opérations comme suit (source : SETRA*, voir référence [1]) :

- ▶ reconstitution de la charpente sur l'aire d'assemblage : pour les bipoutres à entretoises, une semaine en moyenne par tronçon pour la réalisation des deux joints de rabotage des poutres et la mise en place des entretoises; pour les bipoutres à pièces de pont, de 1,5 à 2 semaines pour la réalisation des deux joints soudés entre les poutres principales et l'assemblage des pièces de pont;
- ▶ lançage : une semaine par lançage, sachant que le lançage proprement dit ne dure qu'une journée pour franchir une travée de 50 à 70 m et deux jours pour lancer un pont à trois travées de 100 à 150 m de longueur, mais qu'il faut tenir compte du temps d'installation du treuil, de réglage du niveau des chaises, des opérations de vérinage intermédiaires, etc.;
- ▶ descente sur les appuis provisoires : devant être réalisée par étapes successives et alternées d'un appui à l'autre, sa durée est évidemment fonction du nombre d'appuis et de la hauteur des calages de lancement. On peut l'estimer en jours ouvrés en divisant la hauteur cumulée à descendre sur l'ensemble des lignes d'appui par 50 cm. Au préalable, il faut avoir évacué les appareils de lançage et y avoir substitué les calages, ce qui nécessite un délai supplémentaire d'environ une semaine par ligne d'appui.

En rythme de croisière et hors manœuvres spécifiques, la vitesse de lançage avoisine 50 cm par minute, soit 30 m par heure, étant entendu que la vitesse instantanée peut atteindre 45 voire 60 m/h. La vitesse moyenne est cependant beaucoup plus faible du fait des phases délicates que

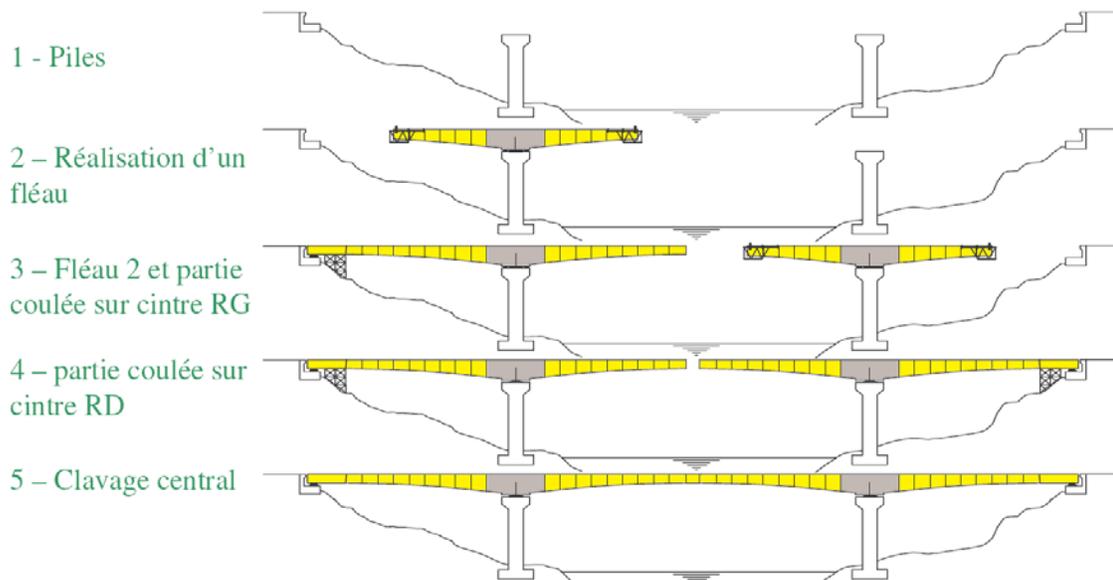
* Service d'Étude sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements (France)

sont l'accostage d'une pile, l'échappement d'une chaise à l'arrière, les dénivellations d'appui intermédiaires ou encore les reprises de câbles du système de poulies du treuil de traction.

4.3 PONT CONSTRUIT PAR ENCORBELLEMENTS SUCCESSIFS

L'ouvrage est constitué d'un tablier en béton qui est construit par encorbellements successifs. Les éléments du tablier, appelés voussoirs, sont soit coulés en place, soit préfabriqués et assemblés les uns aux autres par de la précontrainte pour constituer une partie de tablier que l'on appelle fléau (comme sur une balance, le tablier se présentant, en phase constructive, comme un gigantesque fléau en équilibre sur sa pile). Dans la pratique, la construction commence par la réalisation du voussoir sur pile qui constitue la prolongation naturelle de la pile et le premier élément du tablier. C'est une pièce hybride, complexe à réaliser, qui assure la transition des efforts entre le tablier et la pile. Une fois ce premier élément achevé, la construction se poursuit symétriquement par rapport à la pile, afin d'assurer l'équilibre de la gigantesque balance, les voussoirs étant bétonnés à l'avancement, à l'aide d'un outil appelé équipage mobile. Comme les travaux s'effectuent en miroir, à chaque extrémité de fléau, la progression nécessite deux équipages mobiles qui sont déplacés une fois chaque voussoir terminé. Le bétonnage s'effectue par l'intermédiaire d'une grue, qui assure l'approvisionnement par benne, ou à l'aide de pompes à béton, les voussoirs étant reliés les uns aux autres par précontrainte afin de rigidifier le tablier. Chaque pile voit ainsi ses demi-fléaux progresser pour rejoindre ceux des piles voisines, l'opération de jonction des deux parties de tablier, baptisée clavage, s'effectuant par l'intermédiaire d'un élément dénommé, logiquement, voussoir de clavage, comme démontré à la Figure 12.

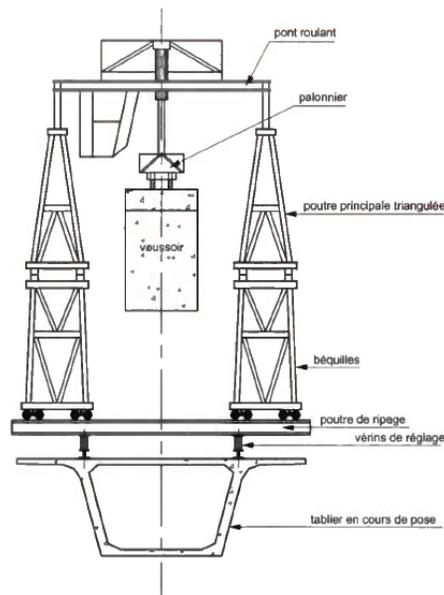
Figure 12 – Encorbellements successifs – Cinématique de construction



4.4 POUTRE DE LANCEMENT

La méthode construction la plus répandue pour la mise en place de voussoirs préfabriqués par encorbellements successifs est la poutre de lancement. La poutre de pose, ou lanceur (Figure 13), est un engin de manutention auto déplaçable, qui s'appuie sur le tablier et sur les piles, et qui s'affranchit donc de presque toutes les contraintes du franchissement.

Figure 13 – Poutre de lancement



La construction commence par la pose des voussoirs sur pile. À cette étape, le lanceur repose sur ses deux pylônes et sur la béquille avant. Une fois les deux demi-voussoirs sur pile assemblés, réglés et cloués, la béquille arrière est sortie et le pylône avant coulisse pour venir se placer sur le dessus du voussoir sur pile. La poutre peut alors avancer de façon à ce que le pylône arrière se place au bout du fléau centré sur la pile précédente. La béquille avant se met alors en bout de pylône, du côté de la pile suivante, pour ne pas gêner la pose des voussoirs courants, qui peut alors commencer. Pendant la construction d'un fléau, les deux voussoirs symétriques sont posés généralement l'un après l'autre. Sur certains chantiers, une méthode dite de pose en symétrie a été utilisée. Cette méthode, qui consiste à synchroniser la libération des voussoirs à gauche et à droite de la pile par les deux chariots, limite les sollicitations subies par les appuis en supprimant les situations de déséquilibre non accidentelles. La cinématique de construction est illustrée à la Figure 14.

Figure 14 – Poutre de lancement – cinématique de construction

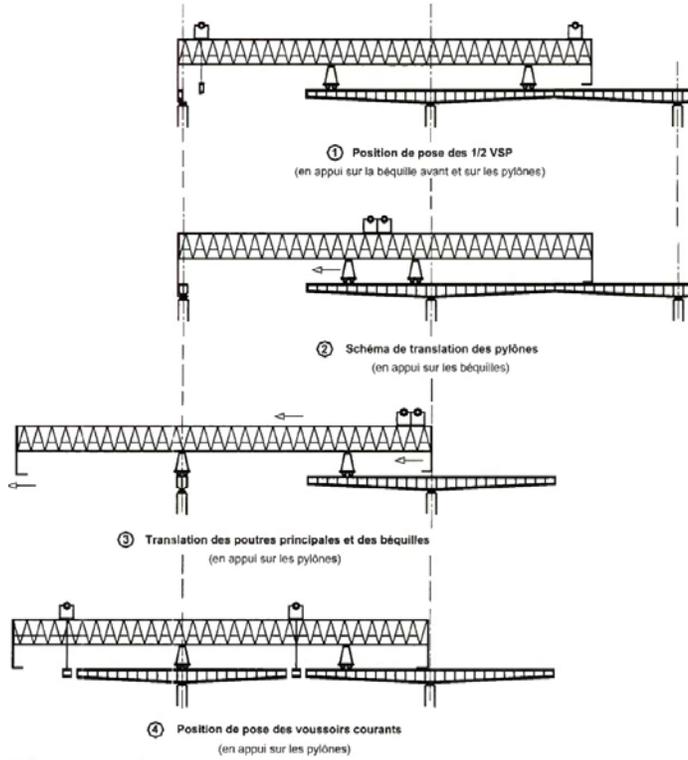


Figure 15 – Poutre de lancement – Pont de l'Île de Ré



CT 61100

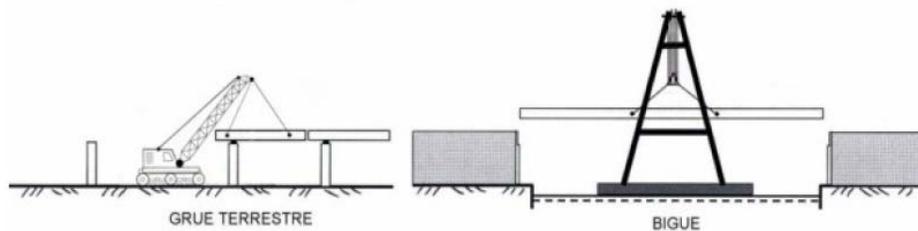
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

4.5 MONTAGE À LA GRUE

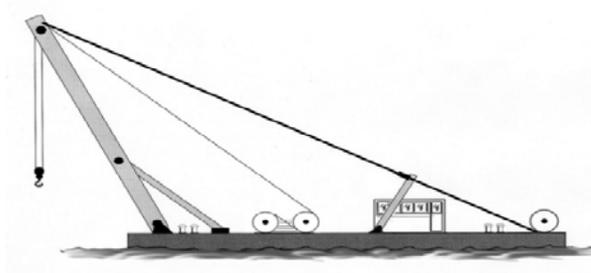
Pour le franchissement du fleuve, une méthode de construction intéressante est le montage à la grue (Figure 16). Le principe consiste à lever la charpente et à la poser sur ses appuis à l'aide d'un ou plusieurs engins de levage. La dimension des éléments à lever découle de l'optimisation entre la limitation du nombre d'opérations de grutage, le poids des éléments et l'équipement nécessaire pour effectuer le levage.

Figure 16 – Pose à la grue



L'utilisation de grues se fait aussi bien en site terrestre qu'en site aquatique. Dans ce dernier cas, des bigues sont utilisées. Une bigue est une barge automotrice sur laquelle est fixé un appareil de levage formé d'un bâti articulé en pied, d'inclinaison variable, portant un palan à son extrémité supérieure (Figure 17). Ce type d'équipement permet de lever des éléments d'une centaine de mètres. Selon le site, la pose de chaque tronçon est assurée par une ou deux grues positionnées dans le prolongement de l'ouvrage ou sur la voie à franchir.

Figure 17 – Pose à la grue – Bigue



En fonction des dimensions des pièces et de la capacité des grues, la charpente peut être levée par tronçons complets préalablement assemblés, donc en une seule pièce, ou levée par éléments qui sont ensuite assemblés en hauteur.

La position de la bigue doit être déterminée pour faciliter au maximum le levage tout en tenant compte des interactions avec le trafic fluvial et en s'assurant de l'existence d'un tirant d'eau suffisant, ce qui nécessite un relevé bathymétrique.

5 SOLUTIONS PROPOSÉES

La recherche des solutions envisageables a été menée avec la collaboration de Michel Virlogeux. Les premières esquisses ont été établies sur des données préliminaires, celles disponibles au début des études qui ont ensuite été retouchées en fonction de l'évolution normale du projet. Les propositions présentées dans les sections suivantes sont basées sur les dernières données connues. Elles peuvent par conséquent comporter, par rapport à la note d'orientation de Michel Virlogeux jointe en annexe 4-1, des écarts mineurs, mais qui ne remettent pas en cause le contenu de cette note d'orientation. Les plans des différentes solutions proposées sont présentés à l'annexe 4-2.

Les solutions globales proposées dans les sections subséquentes sont le résultat d'un travail d'intégration des solutions possibles pour chaque tronçon de l'ouvrage, soit le franchissement de la voie maritime, le franchissement du fleuve et les travées d'accès Est.

Le franchissement de la voie maritime nécessite une travée d'au moins 200 m afin de respecter le gabarit de navigation en tenant compte du biais entre la structure et le canal.

Recommandation 2 : La longueur des travées choisie pour le franchissement du fleuve et les travées d'accès Est est de 80 m. Ceci a été déterminé en se basant sur :

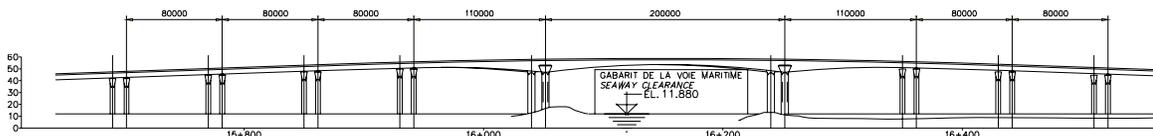
- ▶ la réduction du nombre de piles par rapport aux piles existantes (élimination d'une pile sur trois);
- ▶ longueurs économiques pour le type de structure envisagé.

Compte tenu de la largeur totale de la structure, deux tabliers indépendants sont prévus.

5.1 MONOCAISSON EN BÉTON PRÉCONTRAIT

Un pont composé d'un monocaisson en béton précontraint est présenté à la Figure 18. Les travées courantes ont une longueur de 80 m tandis que la voie maritime est franchie par une travée de 200 m. Les travées de transition ont une portée de 110 m.

Figure 18 – Élévation – Monocaisson en béton précontraint



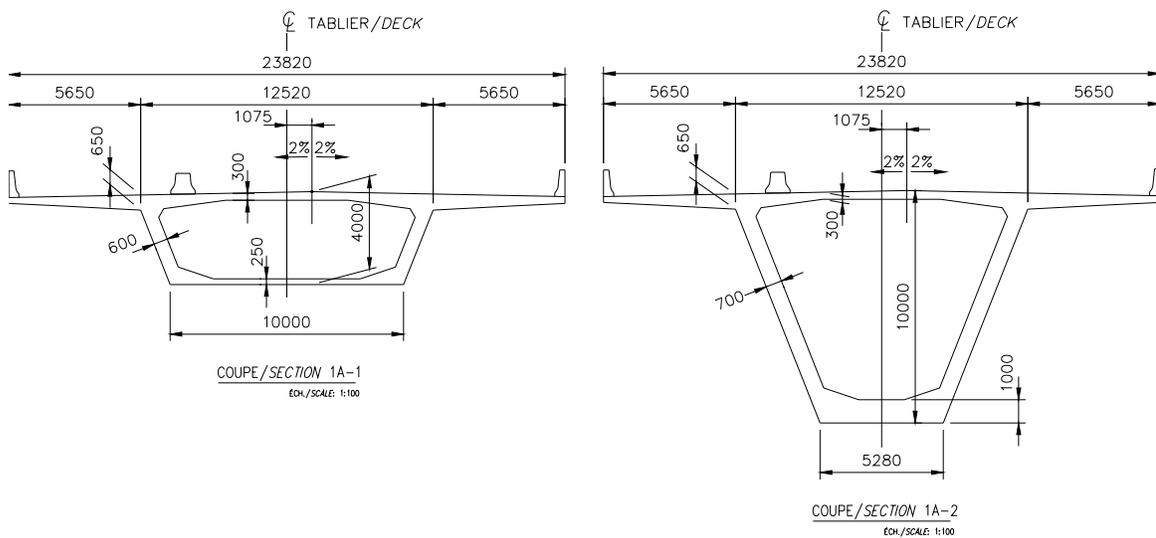
CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Un monocaisson d'une hauteur constante de 4.00 m permet de franchir les travées courantes de 80 m. Pour le franchissement de la voie maritime, la hauteur sur pile est de l'ordre de 10 m, la hauteur à la clef étant, pour des raisons géométriques, égales à celles des travées courantes. La travée au-dessus de la voie maritime est construite par encorbellements successifs, coulée en place, tandis que les travées courantes, en voussoirs préfabriqués, peuvent être mises en place de différentes façons, posées à l'aide d'un lanceur par exemple. La Figure 19 présente les coupes transversales proposées.

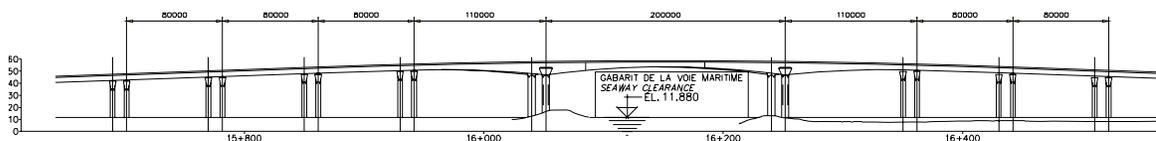
Figure 19 – Coupes transversales – Encorbellements successifs



5.2 PONT COMPOSITE ACIER-BÉTON

L'ouvrage est constitué par une travée en ossature mixte, ou en acier, supportée par deux travées en béton précontraint de part et d'autre de la voie maritime. Les travées courantes peuvent alors être soit en béton précontraint, soit en ossature mixte. La travée principale est composée d'une section métallique de 120 m prenant place entre deux parties en béton de 40 m à partir des piles, comme montré à la Figure 20. Les travées courantes ont une portée de 80 m, et les travées de transition une portée de 110 m

Figure 20 – Élévation – pont composite



CT 61100

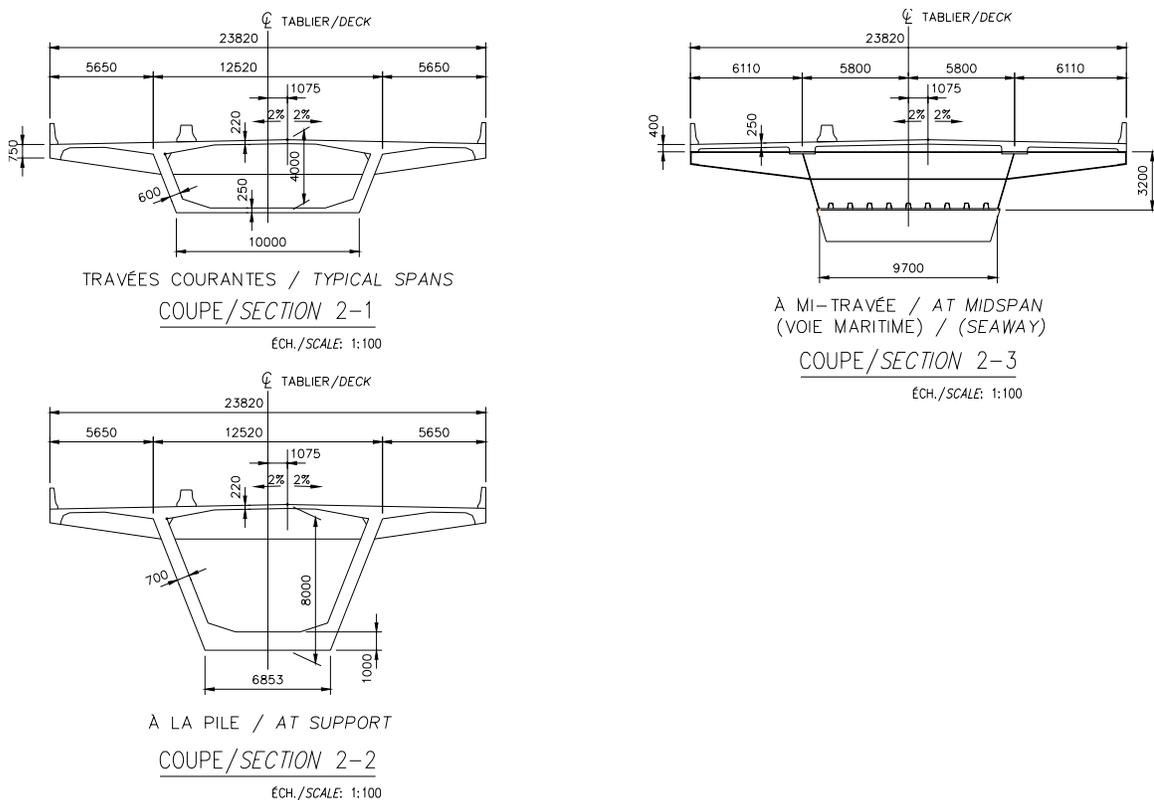
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

La section métallique est hissée à partir de la voie maritime. Elle est par la suite clavée et clouée par précontrainte à la partie en béton construite par encorbellements successifs. La section métallique est donc encastrée à ses extrémités, évitant ainsi la construction d'appui de type chaise dont la durabilité est problématique.

La coupe transversale des travées courantes est similaire à celle envisagée pour la solution par encorbellements successifs. Au droit des piles principales, l'ouvrage a une hauteur de 8.00 m se réduisant à 3.20 m, pour la charpente métallique, à la clef de la partie en acier de la travée principale.

Figure 21 – Coupes transversales – Pont composite



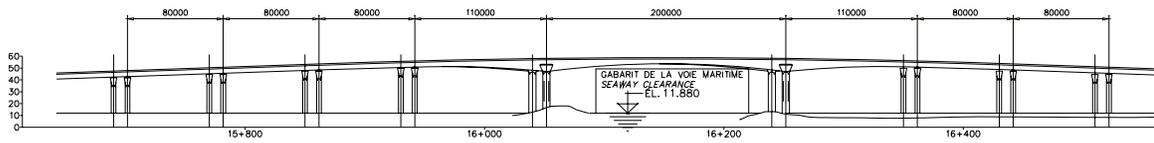
5.3 PONT EN OSSATURE MIXTE

Plusieurs solutions mixtes sont envisageables : bipoutres, bicaissons et monocaissons. Dans un effort d'uniformisation, les différentes solutions ont, pour la charpente métallique, des hauteurs de

l'ordre de 3.20 m pour les travées courantes de 80 m et de l'ordre de 8.00 m au droit des piles encadrant la voie maritime.

Compte tenu de la portée importante à franchir, la travée principale devra être lancée de part et d'autre de la voie maritime afin de limiter le porte-à-faux à 100 m au-delà des piles principales. Une fois le lançage terminé, les deux parties seront connectées. Les travées courantes peuvent quant à elles être mises en place soit par lancement, soit par pose à la grue.

Figure 22 – Élévation – pont mixte



Section en bipoutres

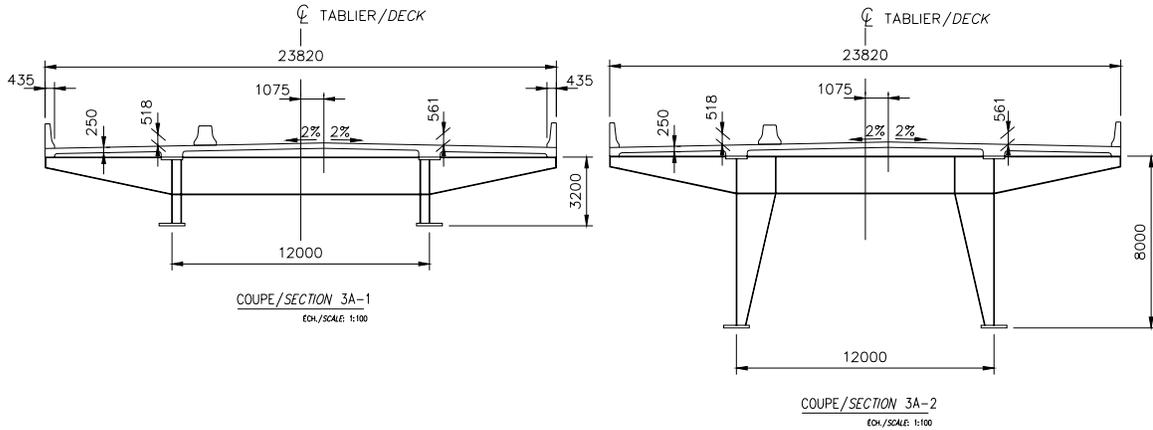
Une solution de pont bipoutre est proposée plutôt qu'une solution multipoutres classique puisque la solution bipoutre offre plusieurs avantages :

- ▶ Solution économique et durable;
- ▶ Réduction importante de la quantité de soudures;
- ▶ Réduction du nombre d'appareils d'appui;
- ▶ Entretien aisé;
- ▶ Limitation du nombre d'opérations lors de la construction et du temps de construction :
 - Lancement de 2 poutres seulement au lieu de multiple lancement de 2 poutres
 - Nombre d'opérations réduit si les poutres sont posées à la grue
 - Meilleure maîtrise des réactions d'appui pour les ouvrages lancés ou montés par grue.

Pour toutes ces raisons, ce type de construction s'est fortement répandu à travers le monde. Cependant, la construction de ponts bipoutres est moins répandue en Amérique du Nord, essentiellement pour une raison de redondance structurale. Ce point est abordé plus en détail au chapitre 7.2.

La section en bipoutre envisagée requiert l'utilisation de pièces de pont plutôt que des entretoises vu la largeur du tablier supporté. La principale différence entre les pièces de pont et les entretoises est que les pièces de pont portent la dalle. Il s'agit généralement de poutres assemblées dont l'entraxe se situe aux environs de 4m. Les pièces de pont proposées comportent également des consoles sous les porte-à-faux.

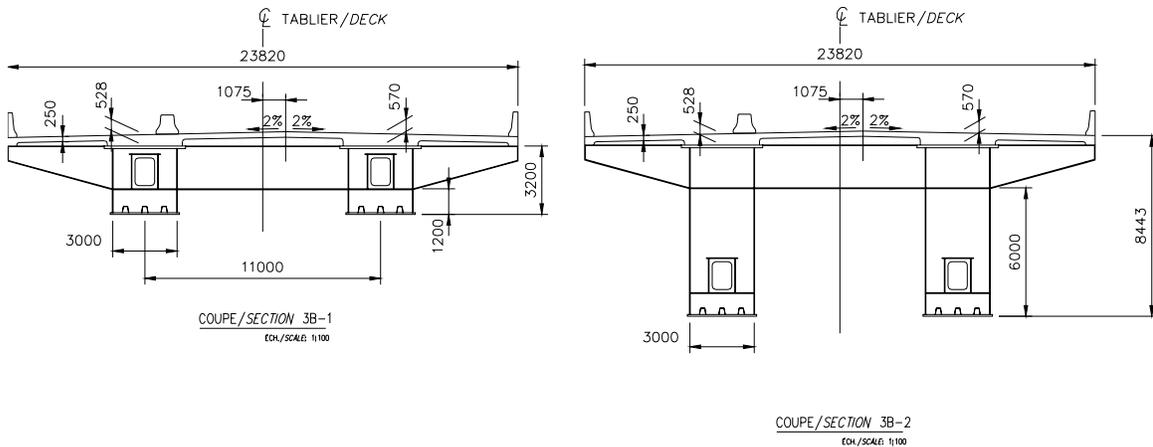
Figure 23 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – bipoutre



Section en bicaissons

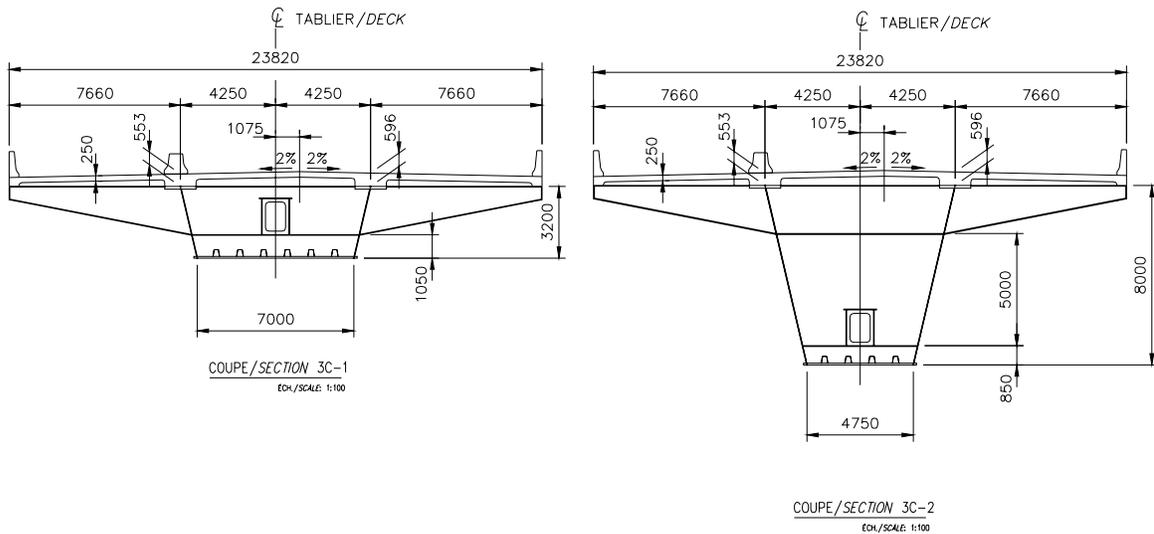
Une alternative aux bipoutres, offrant davantage de redondance, est l'utilisation de bicaissons. Dans ce cas, les poutres sont remplacées par des caissons étroits, qui sont facilement transportables et mis en place.

Figure 24 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – bicaisson



Section en monocaïsson

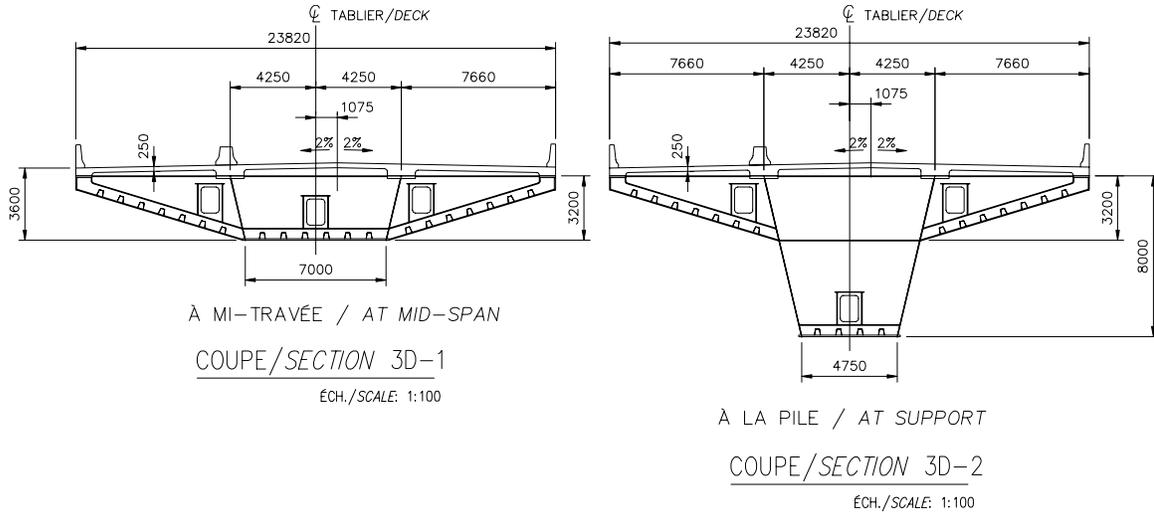
Figure 25 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – monocaïsson ouvert



En alternative au caisson ouvert, un caisson fermé tant dans la partie centrale que sur les côtés, comme celui présenté ci-dessous, offre l'avantage de réduire les zones exposées à l'air, et donc à la corrosion. Une déshumidification des trois alvéoles intérieures limite les surfaces à repeindre à l'extérieur du caisson dont la surface développée est plus faible que celle d'une section ouverte. De plus, les formes simples et lisses, sans recoins, évitent l'accumulation ou la stagnation des agents corrodants, brouillards salins par exemple. Il modifie aussi l'aspect du tablier et peut être intéressant architecturalement.

Enfin, pendant la construction, la continuité de la membrure inférieure d'un bord à l'autre du tablier fournit une protection « naturelle » de la voie maritime pendant le bétonnage de la dalle.

Figure 26 – Coupes transversales – Pont en ossature mixte – monocaisson fermé



5.4 PONT EN OSSATURE MIXTE AVEC DES PILES EN V

Un pont avec des piles en « V » permet de réduire la longueur de la travée principale, facilitant ainsi sa mise en place. Diverses solutions sont envisageables pour le montage de la travée principale. Si un lançage d'un seul côté est a priori possible, une analyse fine du phasage est nécessaire afin de préciser les dispositions particulières à adopter, notamment vis-à-vis des piles en « V ». Dans ce cadre, un lançage des deux côtés est plus avantageux, la solution la plus favorable étant celle consistant à hisser la partie centrale de la travée principale.

La Figure 27 montre la distribution des travées. Les coupes transversales en zone courante sont les mêmes que pour la solution mixte présentée précédemment, seules les coupes aux piles en V sont différentes et sont présentées ci-dessous. De plus, cette forme des piles donne un caractère plus intéressant à l'ouvrage pour la travée principale.

Figure 27 – Élévation – Pont en ossature mixte avec des piles en V



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Figure 28 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – bipoutre

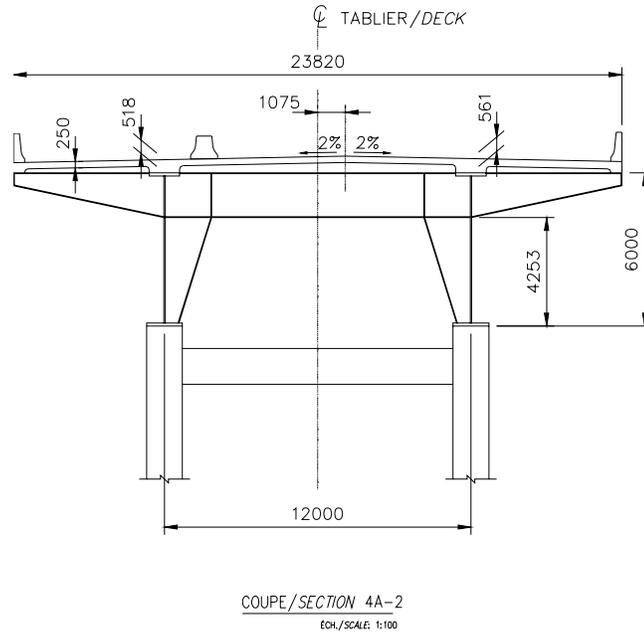


Figure 29 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – bicaisson

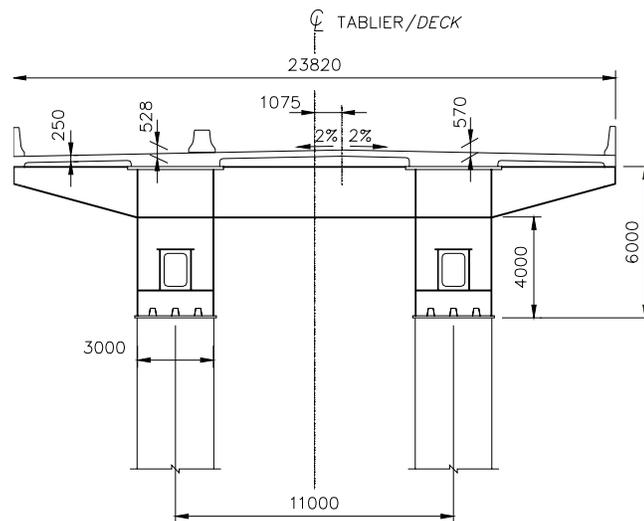


Figure 30 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – monocaissin ouvert

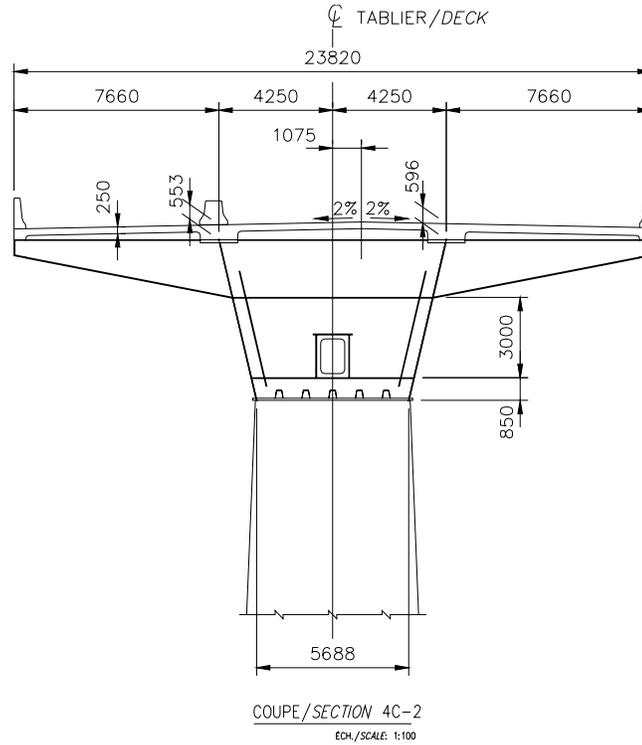
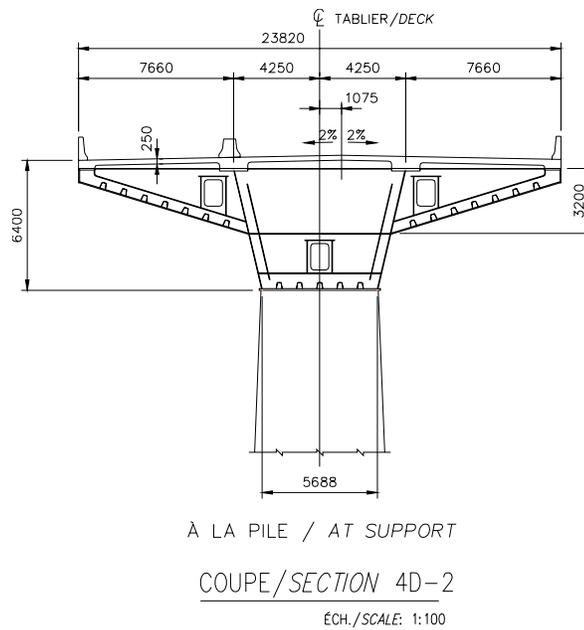


Figure 31 – Coupe transversale – Pont en ossature mixte avec des piles en V – monocaissin fermé



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

5.5 PONT À HAUBANS EN OSSATURE MIXTE

Un pont à haubans représente aussi une solution intéressante pour le franchissement de la voie maritime. Compte tenu de la portée relativement faible de l'ordre de 200 m, un pylône d'un seul côté de la travée principale est suffisant, sachant que la construction des pylônes est dispendieuse (Figure 32). Dans le sens transversal, il y a un pylône par tablier, chaque pylône comportant deux mâts, soit un par tablier (Figure 36). Les pylônes ont une hauteur d'environ 80 m au-dessus du tablier, 124 m au-dessus de l'eau, soit une élévation d'environ 136.00 m, ce qui est moins élevé que les plus hauts bâtiments du centre-ville.

Une solution avec un pylône unique à trois mâts pour les deux tabliers a été envisagée (Figure 37). Cependant la construction du tablier s'en trouve singulièrement compliquée, rendant cette solution peu intéressante. En outre, cela conduisait soit à surdimensionner le mât central pour la construction, soit à monter les deux tabliers simultanément. Enfin, la grande hauteur au-dessus du tablier de mâts verticaux est peu esthétique.

La mise en place du tablier peut être réalisée par lançage ou par hissage.

Figure 32 – Élévation – Pont à haubans

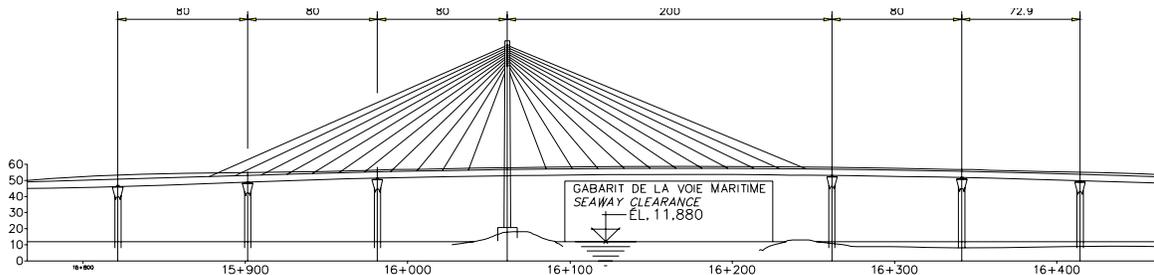
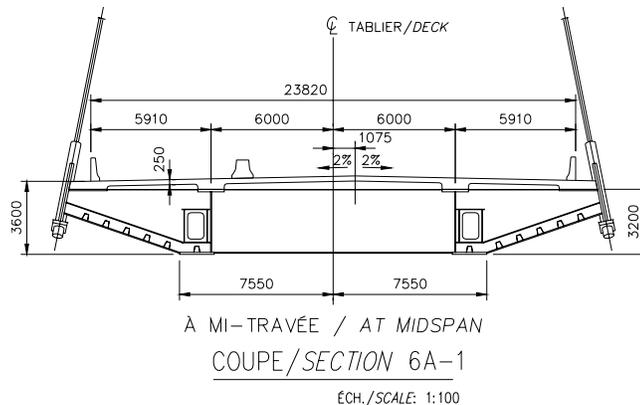


Figure 33 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution bipoutres



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Figure 34 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution bicaissons

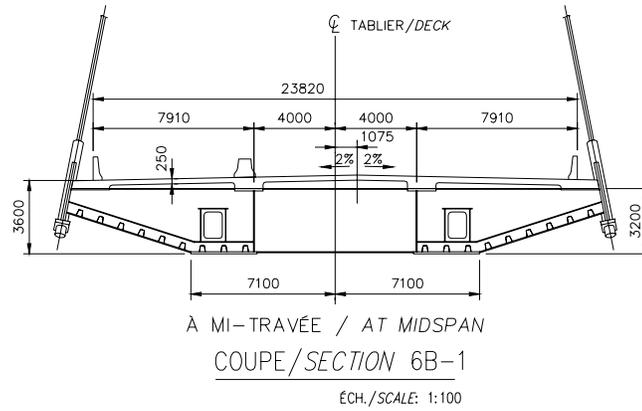
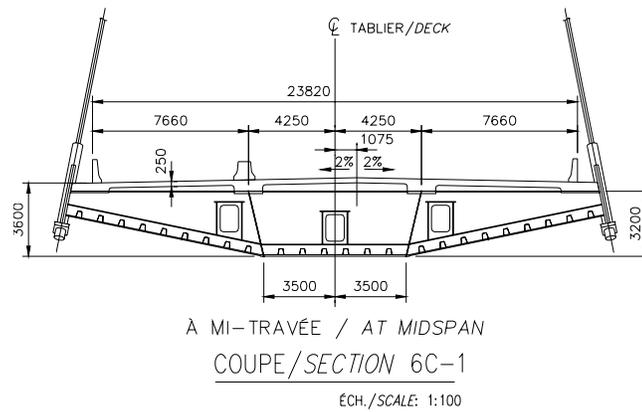


Figure 35 – Coupe transversale – Pont à haubans – Solution caisson fermé

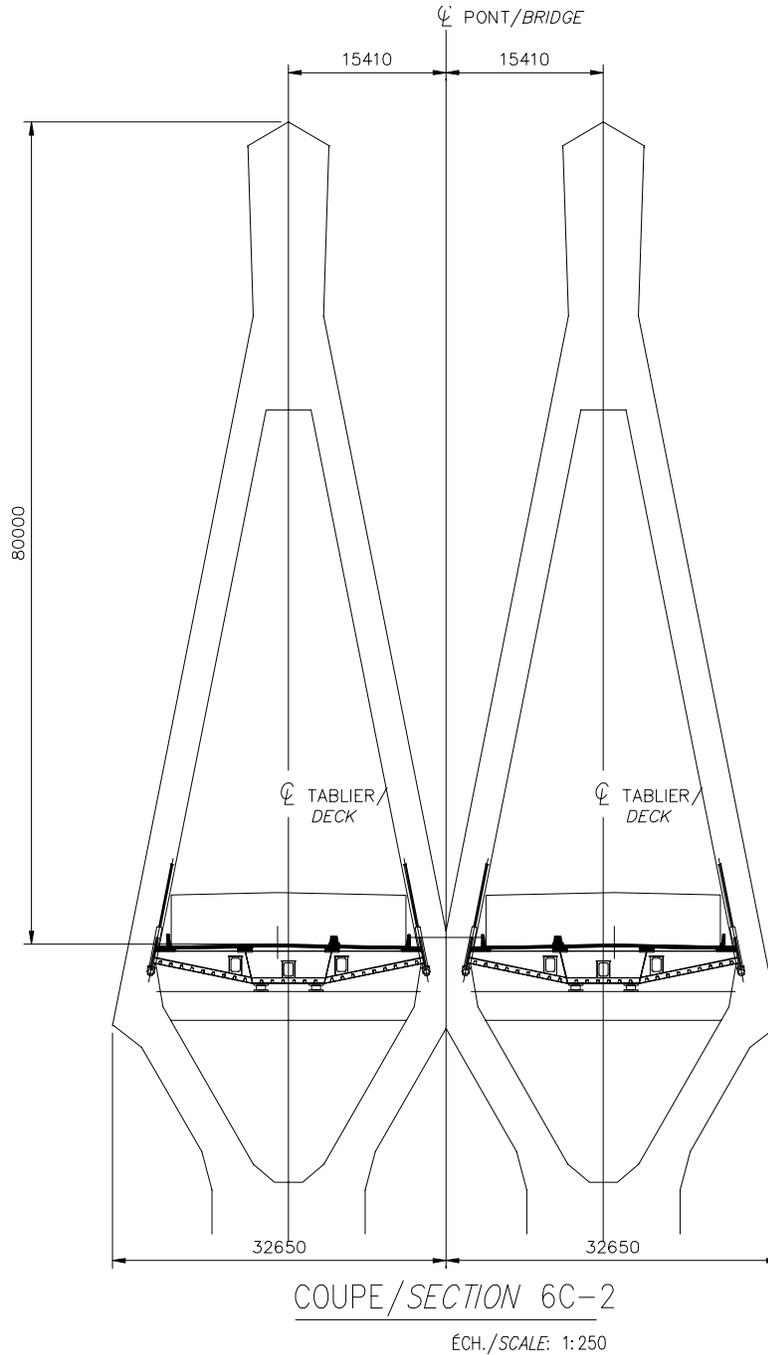


CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Figure 36 – Pylône – Pont à haubans

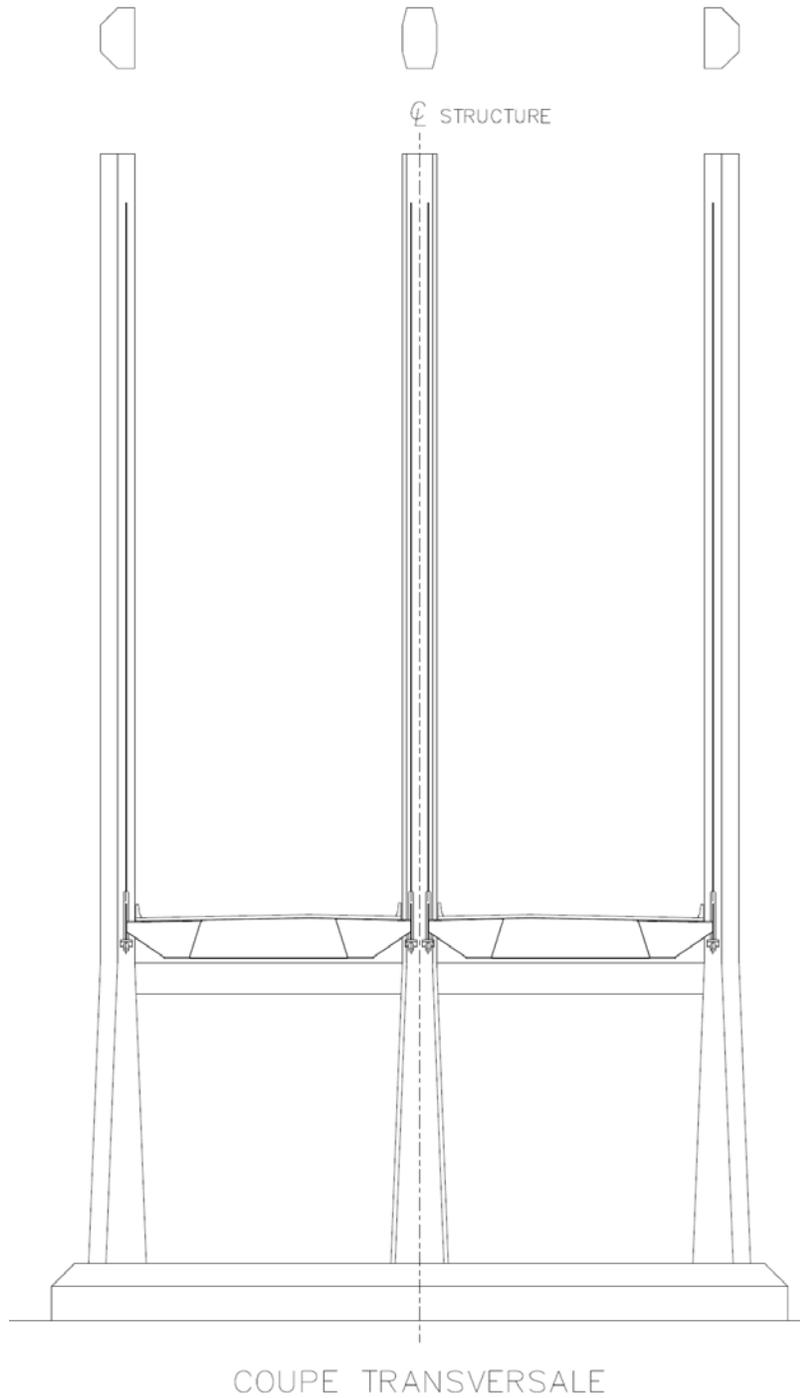


CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Figure 37 – Pylône à 3 mâts – Pont à haubans



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Une variante de cette solution permet de mieux souligner le franchissement de la voie maritime, tout en mettant plus en valeur l'ouvrage. Il y a toujours un seul pylône par tablier, mais ce pylône n'est pas sur la même rive de la voie maritime suivant le tablier considéré. Ainsi, le pylône du sens Montréal vers la rive Sud est au Nord de la voie maritime, alors que celui du sens opposé est au Sud.

Afin d'améliorer l'esthétique, les piles adjacentes à la voie maritime, voisine des pylônes ont été supprimées. Il aurait en effet été difficile de trouver, pour ces piles, une architecture en harmonie avec celle de la base des pylônes. Cette solution permet également de s'affranchir de l'alignement des appuis dans cette zone particulière, et donc de se rapprocher légèrement des berges, d'une quinzaine de mètres environ.

Cela conduit naturellement à augmenter la portée haubanée à 250 m. Cet allongement de la travée reste toutefois sans conséquences appréciables sur l'épaisseur du tablier ou la hauteur des pylônes.

Figure 38 – Élévation – Pont à haubans-2 pylônes

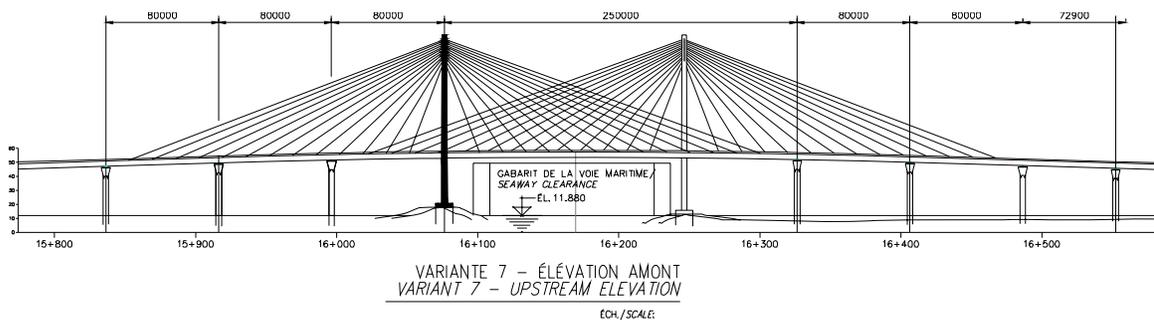
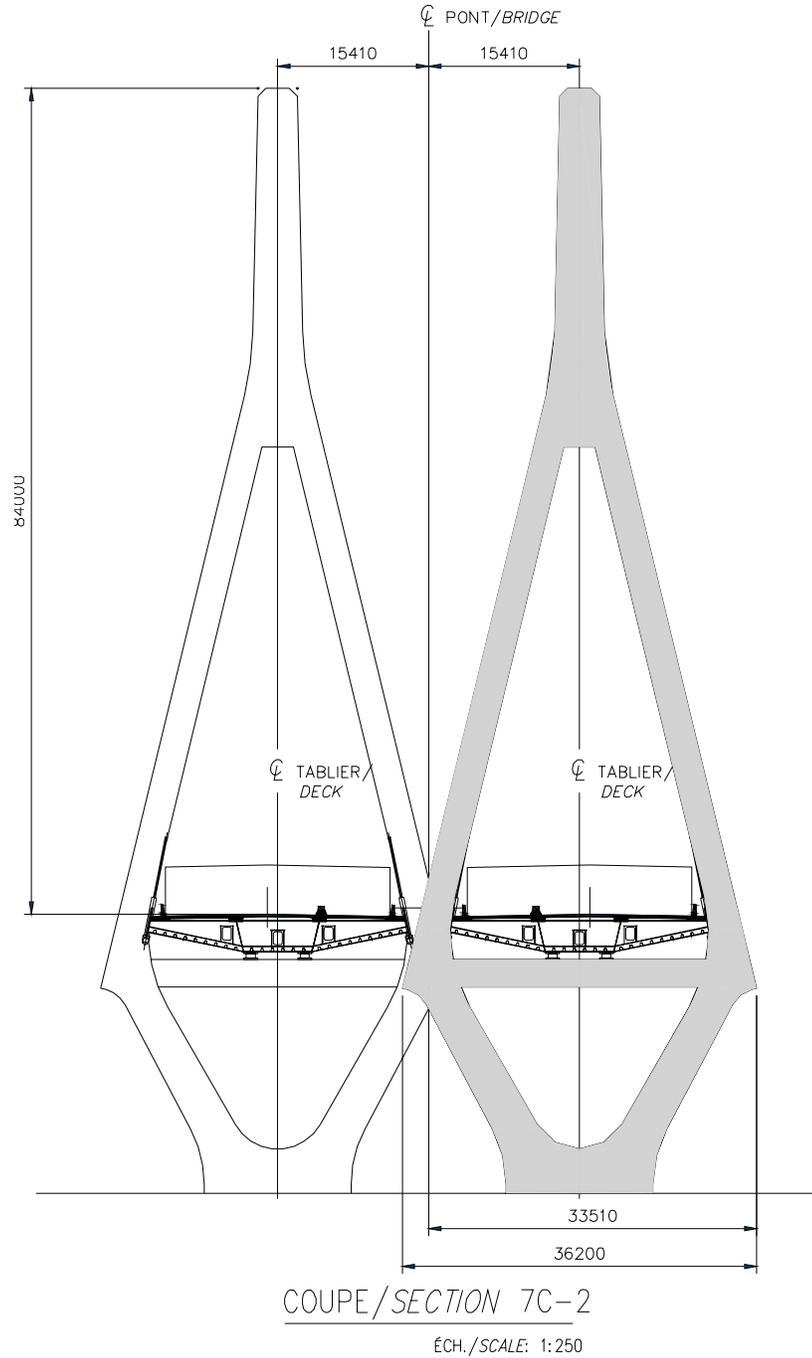


Figure 39 – Pylône – Pont à haubans-2 pylônes



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

5.6 PILES ET FONDATIONS

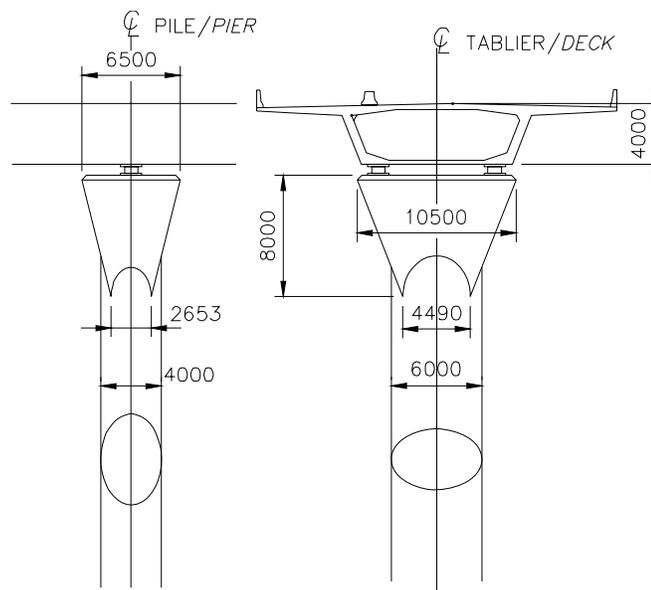
Comme mentionné précédemment, l'implantation des piles a été réalisée dans le but de réduire le nombre de piles par rapport au pont existant, tout en ayant des portées économiquement intéressantes. Les portées étant de l'ordre de 80 m, le nombre de piles est ainsi réduit d'environ un tiers.

Pour les solutions de ponts en encorbellement, composite et mixte, deux options sont possibles pour l'implantation des piles. Comme deux tabliers distincts sont nécessaires, les piles des deux tabliers peuvent être décalées ou non dans l'axe du pont. La solution décalée a été retenue pour l'implantation des piles.

Pour les solutions avec des piles en V et pour le pont à haubans, les piles doivent nécessairement être alignées pour des raisons esthétiques, ce qui augmente légèrement la longueur à franchir pour traverser la voie maritime. Pour ces solutions, si cela s'avère nécessaire, en particulier pour des considérations hydrauliques, il est possible de revenir à des piles décalées pour le franchissement du Saint-Laurent grâce à des travées de transitions de part et d'autre de la travée principale.

Recommandation 3 : Les piles envisagées pour toutes les solutions, sauf pour les piles en V, sont des piles de sections elliptique ou circulaire, creuses, en béton. La section et la hauteur des piles incitent à l'utilisation de piles creuses. En effet, le volume de béton requis tout comme le poids de la pile justifie amplement l'utilisation de piles creuses qui, bien que plus difficiles à mettre en œuvre, offrent un gain intéressant.

Figure 40 – Piles



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Pour les piles en V, des piles métalliques sont envisagées. Ce type de structure a été utilisé notamment au Havre en France comme montré à la Figure 41. Ces piles métalliques ont l'avantage d'être légères et sont mieux adaptées au tablier de cette solution particulière.

Figure 41 – Piles en V – Grand Canal du Havre



L'ouvrage actuel s'appuyant sur des fondations superficielles, il semble envisageable, à ce stade des études, de retenir une solution similaire pour le nouveau pont. Les semelles de fondations seraient réalisées à l'abri de batardeaux en palplanches et viendraient reposer sur le roc, en dessous de la zone altérée de surface. Si les études géotechniques futures devaient conduire à utiliser des pieux, des batardeaux en palplanches seraient aussi nécessaires afin de réaliser les semelles de liaison des pieux au sec.

L'utilisation de batardeaux est bien sûr tout à fait envisageable. Toutefois, cette solution peut présenter certaines difficultés et certains inconvénients qu'il convient de souligner.

Sur le plan constructif, s'il est naturellement possible de battre des palplanches dans un rocher fracturé, le choix du module de palplanches peut être dicté par des considérations de capacité de pénétration et non par la résistance du rideau. Si nécessaire, diverses techniques, comme le préminage, permettent de limiter ce problème, et seront peut-être nécessaires pour les terrassements à effectuer.

On peut également craindre des difficultés pour assécher le batardeau si l'état de fracturation du rocher permet une circulation d'eau facile. Des venues d'eau dans les batardeaux ont d'ailleurs rendu difficiles les travaux de fondations de l'ouvrage actuel. Afin de s'en affranchir, et de garantir la sécurité du personnel, il est possible de prévoir un bouchon de béton immergé.

Ces deux aspects pourront être affinés à partir des données issues de l'étude géotechnique à réaliser dans le cadre des études futures.

Sur le plan environnemental, cette technique génère des nuisances sonores liées au battage de palplanches et aux éventuels préminages. Si ces nuisances sont a priori sans conséquence loin des rives, elles pourraient s'avérer pénalisantes près des rives, compte tenu de la présence d'habitations.

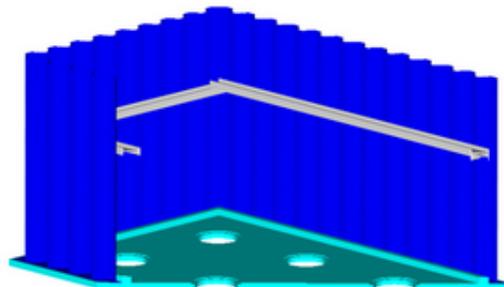
En outre, si des sédiments contaminés sont présents dans certaines zones, il convient naturellement que les travaux n'en favorisent pas la dispersion.

Afin de répondre à ces différents points, une solution particulière peut être envisagée, soit pour toutes les fondations, soit limitée aux zones les plus critiques. De plus, elle permet de limiter les surfaces occupées par la fondation dans le fond de la rivière, et donc les pertes de zones d'habitat du poisson.

Recommandation 4 : L'utilisation de fondations « boîte » est préconisée pour les zones les plus critiques et pour les éventuelles zones contaminées, sous réserve que la profondeur d'eau soit suffisante pour que la semelle ne soit pas visible en période de basses eaux.

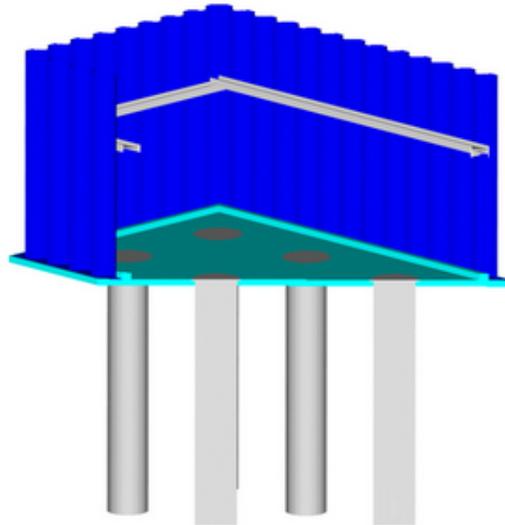
- ▶ Une « boîte », constituée d'un fond en béton supportant un rideau de palplanches, est réalisée sur la rive, au sec. Des réservations – obturées temporairement – sont ménagées dans le fond en vue de la réalisation de pieux forés (Figure 42). Cette boîte est amenée par flottaison au droit de la fondation à réaliser. Elle est alors stabilisée à la position voulue, à une distance définie du lit de la rivière, à l'aide de tubes (non représentés sur les figures) venant reposer sur le fond. Les réservations sont alors retirées, et la boîte se remplit d'eau.

Figure 42 – Batardeau préfabriqué – Étape 1



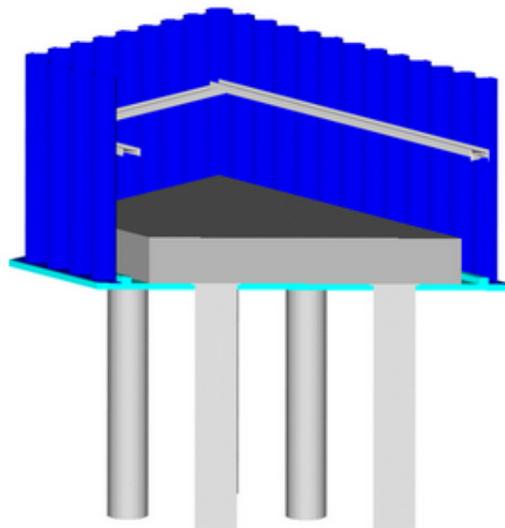
- Des tubes de travail permettant de réaliser les pieux sont alors mis en place au travers de ces réservations. Au fur et à mesure du forage des pieux, ces tubes sont avancés par battage. À la fin du forage du pieu, le tube vient pendre appui par l'intermédiaire d'une collerette métallique et d'un joint sur le fond de boîte (Figure 43).

Figure 43 – Batardeau préfabriqué – Étape 2



- Une fois tous les pieux réalisés, la boîte peut être vidée, et la poussée d'Archimède vient plaquer la boîte sur les collerettes métalliques. La semelle de liaison des pieux peut alors être construite (Figure 44), puis la pile. Le rideau de palplanches peut alors être retiré, et éventuellement réutilisé pour une autre boîte.

Figure 44 – Batardeau préfabriqué – Étape 3



CT 61100

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN

4 - LES SOLUTIONS « PONT »

Cette solution suppose toutefois une hauteur d'eau minimale en période d'étiage, dépendant essentiellement de l'épaisseur de la semelle. À défaut, lors des basses eaux, la semelle serait visible, ce qui n'est pas souhaitable pour des raisons esthétiques.

Pour les piles proches des rives pour lesquelles le niveau d'eau ne permet pas l'utilisation de barges, plusieurs solutions sont envisagées dont la mise en place de jetées ou d'un pont temporaire sur pieux.

5.7 AUTRES SOLUTIONS

D'autres systèmes structuraux, bien qu'utilisés pour des portées semblables, ont été écartés, car ils s'adaptent mal aux contraintes spécifiques de la traversée de la Voie maritime du Saint-Laurent.

Un pont-arc à tablier inférieur (type bow-string), comme la solution retenue par la DOT de New York pour la traversée du Lac Champlain (projet en cours de réalisation), n'a pas été retenu, car le montage d'une structure aussi imposante au-dessus de la voie maritime nécessiterait la fermeture de celle-ci pour une longue période.

L'utilisation de treillis métalliques a également été écartée principalement pour des questions de coût de construction, de coût d'entretien et de durabilité. Les treillis classiques nécessitent l'utilisation extensive de plaques de liaison et de goussets boulonnés. Ces structures demandent un entretien soutenu et un suivi serré des éléments structuraux, particulièrement en ce qui concerne les goussets. La défaillance d'un gousset peut s'avérer catastrophique. Les treillis plus modernes, plus durables et demandant moins d'entretien sont généralement constitués de caissons et de profilés creux soudés, notamment au chantier. Ces structures sont pratiquement inexistantes en Amérique du Nord et demandent une grande expertise, raisons pour lesquelles elles n'ont pas été retenues.

Un pont suspendu n'a pas été retenu dans la présente étude, car ce type d'ouvrage n'est pas adapté aux conditions du franchissement. De tels ouvrages sont en effet réservés aux très grandes portées, en général au-delà de 800 à 1 000 mètres, lorsque d'autres techniques ne sont plus envisageables, ou dans des conditions très particulières.

Des portées plus modestes sont bien sûr envisageables, mais au détriment de l'économie du projet et avec des incidences sur les coûts de maintenance n'existant pas avec d'autres types de structures, comme les ponts à haubans. Dans notre cas, la plus grande portée nécessaire est de 200 mètres, au-dessus du canal de la voie maritime. Elle est donc très éloignée du domaine d'emploi normal des ponts suspendus.

La flexibilité du tablier, plus importante que pour un pont à haubans, rend également ce type de structure peu adapté à la circulation d'un train, bien que quelques exemples existent, notamment au Japon. Rigidifier le tablier est bien sûr possible, mais cela a naturellement une incidence sur le coût.

L'attache des câbles porteurs nécessite d'importants massifs d'ancrage ou des sols de très bonne qualité pour assurer la reprise des efforts de traction. Lorsque ces massifs ne prennent pas naturellement place au niveau des rives de l'ouvrage, dans le terrain naturel, leur aspect massif est très pénalisant pour l'esthétique générale de l'ouvrage.

Enfin, si le remplacement des suspentes est relativement facile, celui des câbles porteurs constitue une opération beaucoup plus délicate, impliquant de fortes restrictions d'exploitation. Par comparaison, le remplacement de haubans est plus facile, avec moins de gêne pour les usagers. C'est entre autres pour cette raison que les ponts à haubans sont désormais utilisés pour des portées jusqu'à 1 100 mètres, en lieu et place des ponts suspendus.

6 COÛTS DE CONSTRUCTION

6.1 HYPOTHÈSES

Les coûts présentés dans cette section sont pour la partie structure uniquement, ils n'incluent pas :

- ▶ La démolition du pont existant;
- ▶ La réfection ou la démolition de l'estacade;
- ▶ Les modifications ou le remplacement du pont de l'île des Sœurs;
- ▶ La réfection et l'élargissement de l'autoroute 15 entre le pont de l'île des Sœurs et l'échangeur Atwater;
- ▶ Les aménagements spéciaux et les équipements fixes associés à un SLR (système léger sur rail) ou à un SRB (service rapide par bus);
- ▶ L'aménagement d'une piste cyclable;
- ▶ Les bâtiments requis pour le centre de contrôle des STI ou pour l'entretien;
- ▶ Les équipements permanents d'inspection;
- ▶ Le maintien de la circulation aux approches;
- ▶ L'acquisition de terrain et expropriations;
- ▶ Les mesures de mitigation environnementale;
- ▶ Les honoraires professionnels et autres études connexes;

- ▶ Les coûts de gestion de projet par le maître d'œuvre (PJCCI et/ou MTQ) pendant les études à venir et pendant la construction.
- ▶ Les taxes.

Les coûts des ouvrages résumés au Tableau 1 comprennent 15 % pour l'organisation de chantier et sont basés sur un mode de réalisation conventionnel. Ces prix ont été déterminés suite à l'analyse de divers projets de même type et envergure réalisés récemment. Lorsque des exemples locaux n'étaient pas disponibles (particulièrement pour le pont à haubans), les prix ont été déduits de ceux de projets internationaux d'envergure similaire qui ont été ajustés au contexte local.

Tableau 1 Estimation des coûts

TYPE DE STRUCTURE	TRAVÉES COURANTES COÛTS (\$/M ²)		VOIE MARITIME COÛTS (\$/M ²)	
	Sans contingences	Avec 25 % de contingences	Sans contingences	Avec 25 % de contingences
Monocaisson en béton	3 840	4 800	4 400	5 500
Pont composite	4 200	5 200	4 620	5 775
Ossature mixte (bipoutre)	3 600	4 500	4 140	5 175
Ossature mixte (bicaissons ou monocaissons)	4 200	5 250	4 880	6 100
Ossature mixte avec piles en V	4 200	5 250	5 040	6 300
Pont en ossature mixte à haubans	-----	-----	5 200	6 500

6.2 ESTIMATIONS

Les coûts des ouvrages résumés au Tableau 2 comprennent 15 % pour l'organisation de chantier.

Le coût du TCSP a été déduit selon le pourcentage de surface de tablier qui lui est dédié, soit 32 %.

Tableau 2 – Estimation des coûts

SOLUTION	COÛT (M\$)	COÛT TOTAL (M\$) AVEC 25 % DE CONTINGENCES	COÛT TCSP (M\$) AVEC 25 % DE CONTINGENCES
Monocaisson en béton	665	830	265
Pont composite	715	895	285
Pont en ossature mixte (bipoutre)	620	775	250
Pont en ossature mixte (caisson)	725	910	290
Piles en ossature mixte avec piles en V	730	910	290
Pont en ossature mixte à haubans	730	910	290

7 COÛTS GLOBAUX SOLUTION PONT

Les coûts présentés dans cette section sont pour les coûts globaux pour la solution « Pont », il s'agit de l'intégration des coûts présentés dans les différents volets. Le détail des coûts autres que ceux du coût de construction du pont se retrouvent dans les volets respectifs. Les coûts présentés n'incluent pas :

- ▶ La réfection ou la démolition de l'estacade;
- ▶ Les modifications ou le remplacement du pont de l'île des Sœurs;
- ▶ La réfection et l'élargissement de l'autoroute 15 entre le pont de l'île des Sœurs et l'échangeur Atwater;
- ▶ Les aménagements spéciaux et les équipements fixes associés à un SLR (système léger sur rail) ou à un SRB (service rapide par bus);
- ▶ L'aménagement d'une piste cyclable;
- ▶ Les bâtiments requis pour le centre de contrôle des STI ou pour l'entretien;
- ▶ Les équipements permanents d'inspection;
- ▶ Les taxes.

Les coûts résumés au Tableau 3 sont basés sur un mode de réalisation conventionnel.

Tableau 3 – Coûts – solution pont

Nature des ouvrages et prestations	Montant HT en M\$ 2010	
Maîtrise d'ouvrage et études diverses	61.40	
Maîtrise d'ouvrage		14.10
Études		40.50
Études Avant-projet	10.50	
Plans et devis (projet d'exécution)	30.00	
Études complémentaires		4.80
Relevés et étude de circulation	2.00	
Modèle numérique terrain (incl. Bathymétrie)	0.80	
Étude géotechnique	1.60	
Étude hydraulique	0.20	
Étude des glaces	0.10	
Fouilles archéologiques	0.10	
Études environnementales		2.00
Prestations diverses		13.85
Acquisitions foncières	3.00	
Déplacement des réseaux	10.00	
Mesures d'atténuation environnementale	0.85	
Travaux accès et raccordement		59.40
Coûts directs de construction, approches	34.00	
Surveillance des travaux	4.00	
Contrôle des matériaux	1.00	
Coûts directs, éclairage	4.50	
Coûts directs, STI	5.00	
Maintien de la circulation durant travaux	10.90	

Réalisation avant les travaux	Réalisation au titre des travaux	Réalisation postérieure aux travaux
	7.05	7.05
10.50		
30.00		
2.00		
0.80		
1.60		
0.20		
0.10		
0.10		
2.00		
3.00		
10.00		
		0.85
		34.00
		4.00
		1.00
		4.50
		5.00
		10.90

Nature des ouvrages et prestations	Montant HT en M\$ 2010	
Travaux de génie civil – Pont		993.00
Surveillance des travaux	65	
Contrôle des matériaux	18	
Coûts directs de construction, pont	910	
Démolition		155.00
Démolition du pont actuel	155	
		1282.65

Réalisation avant les travaux	Réalisation au titre des travaux	Réalisation postérieure aux travaux
	65.00	
	18.00	
	910.00	
		155
67.35	1060.3	155

8 COMPARAISON DES VARIANTES

8.1 AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS

Les cinq solutions proposées sont comparées sur la base de leurs avantages et inconvénients dans le tableau de synthèse ci-dessous.

Tableau 4 Comparaison des variantes

CRITÈRES	MONOCAISSON EN BÉTON	PONT COMPOSITE	PONT EN OSSATURE MIXTE	PONT EN OSSATURE MIXTE AVEC PILES EN V	PONT À HAUBANS
Longueur / Largeur	Longueur totale = ± 3 500 m. Travée de la Voie maritime = ± 200 m. Travées courantes = ± 80 m. Largeur totale = 2 tabliers de 23,82 m.				
Description – Voie maritime	Monocaisson en béton précontraint coulé en place et construit par encorbellements successifs.	Combinaison d'un pont en béton et en acier : partie centrale de la travée principale en acier encadrée par des travées en béton.	En ossature mixte.	En ossature mixte avec des piles en V.	Pont à haubans en ossature mixte avec un seul pylône.
Description – Travées courantes	Monocaisson en béton préfabriqué.	En béton préfabriqué ou en ossature mixte	En ossature mixte.	En ossature mixte.	En ossature mixte.
Contraintes de construction	Courtes périodes répétitives de travaux au-dessus de la Voie maritime.	Fermeture de la voie maritime pendant le hissage de la travée principale	Courtes périodes répétitives de travaux au-dessus de la Voie maritime (bétonnage de la dalle). Une solution en caisson fermé réduit considérablement, voire élimine, les contraintes correspondantes.	Courtes périodes répétitives de travaux au-dessus de la Voie maritime (bétonnage de la dalle). Une solution en caisson fermé réduit considérablement, voire élimine, les contraintes correspondantes. Si la travée principale est hissée, fermeture de la voie maritime pendant cette opération.	Courtes périodes répétitives de travaux au-dessus de la Voie maritime (bétonnage de la dalle). Une solution en caisson fermé réduit considérablement, voire élimine, les contraintes correspondantes. Fermeture de la voie maritime pendant le hissage des tronçons de la travée principale

CRITÈRES	MONOCAISSON EN BÉTON	PONT COMPOSITE	PONT EN OSSATURE MIXTE	PONT EN OSSATURE MIXTE AVEC PILES EN V	PONT À HAUBANS
Coût de construction (avec contingences)	830	895	775 pour bipoutres 910 pour caissons	910	910
Coût d'exploitation et entretien	Problématiques différentes, mais solutions globalement équivalentes				
Temps de construction	Solutions équivalentes à ce stade des études.				
Impacts environnementaux	Impacts minimes : le nombre de piles est diminué par rapport à l'existant				
Esthétique / Impact Visuel	Solution de base	Solution de base	Solution de base	Solution signature	Solution signature
Approches	Approche Est : impact visuel et sonore du fait du déplacement du tracé en direction Nord, à proximité du secteur résidentiel, et du rehaussement plus ou moins prononcé du profil en long.				
Avantages	Moindre variabilité du prix du béton. Amélioration de la qualité due à la préfabrication.	Tablier léger, diminution des charges sur les fondations pour les travées courantes.	Tablier léger, diminution des charges sur les fondations	Tablier léger, diminution des charges sur les fondations Réduction de la travée principale permettant le lançage d'un seul côté si cette méthode est retenue. Bon effet visuel.	Tablier léger, diminution des charges sur les fondations. Bon effet visuel.
Inconvénients	Section monolithique rendant les réparations lourdes très complexes.	Réalisation de la liaison entre la partie métallique et la partie en béton délicate.	Lançage des deux côtés requis	Construction complexe des piles en V	Construction complexe à cause des haubans

La notation de chacune des solutions est représentée par un « code de couleurs » dont la définition est la suivante :

	favorable
	peu favorable
	défavorable
	très défavorable

8.2 QUESTION DE LA REDONDANCE DES OUVRAGES

Dans les solutions proposées, les ponts présentent des tabliers bipoutres et monocaïsson. Ces types de structure sont à notre sens les mieux adaptés au contexte du nouveau pont Champlain. Ils sont couramment utilisés à travers le monde, mais ne sont pas très répandus en Amérique du Nord, essentiellement pour une raison de manque de redondance structurale. Toutefois, au Canada, quelques ouvrages importants, comme le Saint-John River Bridge (New Brunswick, 2002), des monocaïssons mixtes dans le cadre du réaménagement du terminal 1 de l'aéroport international Pearson à Toronto (2004), sont des bipoutres. Aux États-Unis, le nouveau San Francisco Oakland Bay Bridge (en construction, Figure 45) est composé de deux tabliers monocaïssons. De plus, les ponts ferroviaires construits en Amérique du Nord sont très souvent des bipoutres. Il s'agit d'ailleurs presque d'un standard de design pour ce type de structures.

Figure 45 – San Francisco Oakland Bay Bridge



L'importance accordée à la redondance des ouvrages est moins grande en Europe et au Japon qu'en Amérique du Nord. En effet, comme mentionné par le groupe d'étude mandaté par la Federal Highway Administration (FHWA, voir référence [2], page 25) :

“ Perhaps the most significant design-related observation of the scan team was the rest of the industrialized world’s more liberal view of the importance of redundancy. Two-girder bridges, as well as other structure types considered nonredundant and fracture critical in the United States, are not discouraged and, in fact, are used extensively as safe and cost-effective bridge designs. Kawada

*Industries cited redundancy studies it performed to demonstrate adequate redundancy of its two-girder systems with widely spaced, mid-depth cross beams. No special design, fabrication, or inspection requirements for such bridges were apparent. **The U.S. design philosophy for nonredundant bridges should be reconsidered, based upon these observations and improvements in steel toughness.**”*

La norme canadienne CAN/CSA S6-06 n'interdit pas l'usage des structures dites non redondantes, il y est simplement indiqué à l'article 1.4.2. 5 – Ouvrages sans redondance structurale (1.4.2.5 – Single-load path structures) :

« *On doit accorder une attention spéciale aux éléments critiques des ouvrages sans redondance structurale et les doter d'une résistance et d'une protection supplémentaire suffisante afin que leur défaillance n'entraîne pas leur effondrement* ».

Cet article est bonifié par le Commentaire de la norme CAN/CSA S6-06 ainsi :

« *normally it is **preferable** not to use single-load path structures (SLPS). These are definedSingle-box girders with two webs and two-girder systems are generally considered SLPS and a MLPS alternative should be substituted..* »

« *Bridges with single columns are SLPS. **This type of structure is almost indispensable, however, in many highway interchanges situations...*** ».

Dans le cas présent, une attention spéciale est effectivement accordée à la conception des bipoutres. Le comportement global du système est amélioré par la continuité des poutres sur plusieurs travées. Les détails de construction utilisés, dont l'utilisation de pièces de pont (poutraison transversale) permettent d'offrir un système structural adéquat qui a fait ses preuves. Les pièces de pont étant des poutres assemblées, elles permettent une distribution des efforts beaucoup plus efficace que celle qui est possible à l'aide d'entretoises en « K » par exemple, et elles solidarisent les poutres entre elles. Il ne s'agit pas de redondance à proprement parler, mais la fiabilité du système est ainsi améliorée. Il est à noter qu'à notre connaissance et après avoir fait quelques recherches, nous n'avons connaissance d'aucun incident dû à un manque de redondance sur ce type de pont en Europe ou au Japon.

Ces structures présentent des avantages certains au niveau des coûts de fabrication et de montage. Elles sont en outre faciles à inspecter et à entretenir, surtout pour les bipoutres.

Dans l'éventualité où les structures à tabliers bipoutres ou monocaïsson proposées ne seraient pas souhaitées par le client, des solutions alternatives peuvent être utilisées, qui ne remettent pas en question la conception générale des ouvrages proposés. Comme déjà montré dans le présent rapport, il est par exemple possible de concevoir des tabliers bicaïssons (deux caïssons étroits).

8.3 ESTHÉTIQUE

Le site de l'ouvrage est divisé en trois zones distinctes. La première correspond au franchissement du Saint-Laurent, de l'île des Sœurs à la voie maritime, le franchissement de la Voie maritime, et la jonction avec la rive Sud. Cette division peut paraître artificielle, car il n'existe en effet pas véritablement d'éléments naturels séparant ces zones, mais elle résulte de considérations techniques, liées au gabarit à dégager au-dessus de la Voie maritime.

Vis-à-vis de l'intégration de l'ouvrage dans le site, l'élément marquant est la partie relative à la voie maritime, avec une travée relativement importante, de 200 m environ, située entre 35 et 40 m au-dessus du sol. Elle sera ainsi visible de loin, marquant l'une des entrées de Montréal. Elle mérite donc une attention particulière quant à son architecture.

Par opposition, malgré sa grande longueur, l'ouvrage sur le Saint-Laurent est plus discret, car situé plus bas. Un ouvrage plus sobre, plus simple afin de mieux faire ressortir « l'ouvrage signature » au-dessus de la voie maritime, paraît plus adapté, tout en recherchant une cohérence architecturale de l'ouvrage dans son ensemble.

Les solutions présentées aux sections 5.1 à 5.3 du présent rapport sont des structures « conventionnelles » à l'architecture simple, mais soignée, sans effet de « signal », tant pour les usagers du pont que pour les riverains. Elles sont donc adaptées si l'on souhaite que l'ouvrage reste relativement discret dans son environnement.

Avec ses piles en « V » de part et d'autre de la voie maritime, la solution de la section 5.4 se démarque dans son architecture, mais seulement pour les riverains. L'ouvrage s'affirme donc dans son environnement, mais il ne marque pas le franchissement de la voie maritime pour les usagers, à la différence de l'ouvrage actuel : il est cependant plus élégant.

Enfin, la section 5.5 propose des solutions plus marquantes, des ponts à haubans. De par ses pylônes, l'ouvrage constitue une « porte de Montréal ». Il est clairement identifié aussi bien par les riverains que par les usagers. Il s'agit donc d'un « ouvrage signature », permettant d'amplifier le repère visuel que constitue l'actuel Pont Champlain.

Pour cette dernière famille, différentes architectures sont envisageables pour les pylônes. Même s'il ne s'agit que d'esquisses préliminaires, la note d'orientation de Michel Virlogeux, objet de l'annexe 4-1, présente les formes envisageables, soit des pylônes à trois fûts verticaux, soit des pylônes de type « double diamond ». Elle fournit également quelques autres éléments d'appréciation architecturale sur les diverses solutions envisagées. Des esquisses architecturales sont présentées à l'annexe 4-3.

9 ÉTUDES ULTÉRIEURES

9.1 ÉTUDES POUR LA SUITE DU PROJET

Recommandation 5 : Afin de poursuivre le projet, les études ci-dessous doivent être réalisées :

- ▶ Étude géotechnique complète, incluant les forages dans l'axe du pont;
- ▶ Étude hydraulique et des glaces du fleuve Saint-Laurent en rapport avec les piles du nouveau pont;
- ▶ Étude bathymétrique;
- ▶ Élaboration d'un modèle terrain;
- ▶ Étude de risque pour la Voie maritime concernant les travaux de construction au-dessus du canal;
- ▶ Aléa sismique;
- ▶ Étude d'impact environnemental;
- ▶ Réflexion sur les moyens – conception, matériaux, etc. – permettant d'améliorer la durabilité.

De plus, lors de la présente étude de pré faisabilité, un certain nombre d'éléments de conception sont apparus et ont été discutés. Comme ces points sont importants, mais sortent du cadre d'une étude de pré faisabilité, il nous paraît important de les mentionner afin qu'ils soient traités dans les études subséquentes. Les principaux d'entre eux sont décrits dans les sections suivantes.

9.2 LARGEUR DU TABLIER

9.2.1 Quatrième voie de circulation

Dans le cadre de la présente étude, le profil en travers fonctionnel de référence présente des dimensions généreuses, ce qui a pour résultat deux tabliers jumeaux de 23,82 m de largeur, voire 26,32 m dans le cas où une quatrième voie de circulation serait ajoutée dans chaque direction.

Le pont Champlain est un ouvrage de grande envergure, dont le coût au mètre carré de tablier est relativement élevé compte tenu du type d'ouvrage et de sa complexité de construction. Le pont étant également très long (3 500 m), le choix de la largeur du tablier a un impact direct et non négligeable sur le coût de construction.

Pour exemple, sur la base des coûts de construction estimés entre 775 M\$ et 910 M\$, l'élargissement du tablier de 2,50 m pour l'ajout d'une quatrième voie de circulation dans chaque direction se traduit par une augmentation du coût de construction de 81 M\$ à 95 M\$. Un élargissement de 1,00 m de tablier dans chaque direction coûte entre 32 M\$ et 38 M\$.

Par conséquent, il sera essentiel d'optimiser la largeur du tablier afin d'obtenir un maximum de fonctionnalité pour un coût minimum.

9.2.2 Piste cyclable

Dans le même ordre d'idée, l'élargissement du tablier de 3,00 m pour l'ajout d'une piste cyclable se traduit par une augmentation du coût de construction de 49 M\$ à 57 M\$. Il faut mentionner que l'ajout d'une piste cyclable impliquerait fort probablement la mise en place de clôtures antisuicide, ce qui pénalise l'esthétique du pont.

9.3 MATÉRIAUX

La qualité des matériaux n'a pas été traitée à ce stade des études. Il est toutefois recommandé d'étudier les options possibles dans les études subséquentes afin de définir les matériaux les plus appropriés à ce type d'ouvrage et présentant les meilleures qualités de durabilité.

Compte tenu de l'importance de l'ouvrage, les réflexions correspondantes devraient s'orienter vers des techniques et des matériaux traditionnels, éprouvés, ou s'inscrire dans des prolongements, analysés avec soin. Des solutions innovantes offrent en effet peu de recul quant à leur pérennité, créant ainsi un aléa difficilement acceptable sur un ouvrage de cette ampleur. Bien entendu, une veille technologique doit permettre de ne pas écarter de techniques qui auront faits leurs preuves d'ici la construction du nouvel ouvrage.

On peut citer notamment :

- ▶ Acier structural : le recours à de l'acier de nuance 460 MPa devrait être envisagé si cela peut apporter un bénéfice au projet. L'utilisation de ce type d'acier devient de plus en plus répandue, voire banale, pour les grands ponts. Sachant que le marché de l'acier est mondial, l'approvisionnement ne poserait pas de problème, même si peu d'aciéries en produisent en Amérique du Nord.
- ▶ Acier d'armature : dans le but d'augmenter la durabilité de l'ouvrage, l'utilisation de barres d'armature en acier inoxydable, en particulier pour le béton de la dalle, est une option intéressante, mais coûteuse. D'autres solutions, comme des barres en matériaux composites, seront peut-être envisageables, mais sont d'une utilisation trop récente et relativement restreinte actuellement..
- ▶ Systèmes de précontraintes : dans le cas d'un pont en béton précontraint, l'usage d'une précontrainte extérieure avec câbles gainés protégés devrait être privilégié. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir être inspectés et remplacés. Pour la précontrainte intérieure, longitudinale ou transversale, il est également possible, pour améliorer la durabilité, d'utiliser des torons gainés protégés placés dans une gaine injectée au coulis de ciment. L'utilisation de

torons gainés protégés de type « hauban », où l'acier actif est galvanisé, offre un autre niveau de protection, si celui-ci est jugé nécessaire.

- ▶ Béton de structure : dans le cas de charpentes mixtes à pièces de pont, l'utilisation d'un béton fibré coulé sur des prédalles permet une amélioration de la durabilité. Dans une telle solution, l'ajout de fibres n'est pas destiné à se substituer, même en partie, aux armatures de la dalle, mais offre un excellent moyen de contrôle de la fissuration de la dalle, gage de pérennité.

9.4 SURCHARGES ROUTIÈRES APPLICABLES

État limite de fatigue (ELF)

Le pont Champlain est l'un des ouvrages les plus achalandés au Canada. Le trafic y est très important, et comprend une part considérable de trafic lourd. Sachant que le nouvel ouvrage doit avoir une durée de vie de 125 ans, il serait important de mener une étude afin de définir le modèle de charge de fatigue applicable à ce pont, afin que la sécurité à la fatigue de l'ouvrage soit vérifiée avec un modèle de charge adéquat.

Recommandation 6 : Une campagne de mesures des charges sur le pont devrait être mise sur pied suffisamment tôt afin que des résultats exploitables soient disponibles à temps dans le processus de conception du pont.

État limite (ELUL et ELUT)

Du moment qu'une campagne de mesure des charges est menée pour le modèle de charge de fatigue, il serait judicieux d'étudier également le modèle de charge pour les autres états limites.

En effet, les coefficients de pondération de la surcharge routière selon la norme CAN/CSA S6-06 sont déterminés en fonction d'une durée de vie du pont de 75 ans alors que le nouveau pont Champlain doit être dimensionné pour une durée de vie de 125 ans. De plus, en comparaison avec les modèles de charges d'autres normes internationales, ceux de la norme CAN/CSA S6-06 sont relativement peu sévères (voir référence [3]).

Recommandation 7 : Un indice de fiabilité cible β devra être défini par le maître de l'ouvrage. Sur cette base, les coefficients de pondération des charges et les coefficients de tenue des matériaux devront être déterminés en conséquence pour les modèles de charge utilisés, à l'aide d'une analyse probabiliste.

Pour exemple, un tel processus de recalibrage des surcharges routières a été effectué pour le pont de la Confédération entre le Nouveau-Brunswick et l'Île du Prince-Édouard (voir référence [4])

Charges ferroviaires du Système Léger sur Rail (SLR)

À ce stade du projet, les charges engendrées par le SLR n'ont été considérées que sommairement puisque nos calculs préliminaires montrent que leur impact sur la structure est limité (un train léger occupant une voie de 6.50 m de largeur).

Recommandation 8 : Pour la suite des études, la façon d'intégrer les charges ferroviaires aux charges routières de la norme S6-06 devra être définie. En particulier, il faudra déterminer le coefficient de pondération à appliquer à cette charge vive ainsi que les facteurs de modification des charges selon le nombre de voies chargées (R_L). Bien sûr, il faudra confirmer que le dimensionnement du pont se fera selon la norme S6-06 même s'il y a une partie ferroviaire. L'article 3.8.12 de la norme S6-06 ne traite que très sommairement le cas des ouvrages à usage multiples.

9.5 COLLECTE DES EAUX

Actuellement, sur presque toute la longueur du pont, les eaux de ruissellement du tablier sont évacuées par des drains verticaux déversant l'eau directement dans le fleuve. C'est une solution efficace, mais douteuse en matière d'environnement et pénalisante d'un point de vue esthétique. De nombreux pays interdisent une telle pratique et, dans un contexte de lois environnementales de plus en plus exigeantes, pour un pont devant être en service plus de cent ans, il faut d'ores et déjà envisager une approche plus favorable à l'environnement, en cherchant à supprimer un déversement direct des eaux souillées dans la nature.

De nombreuses solutions existent, mais le climat hivernal rigoureux de Montréal représente un problème important, qui nécessitera probablement de développer un système particulier.

9.6 SYSTÈME D'ACCÈS POUR L'INSPECTION DE LA STRUCTURE

La structure sera soumise à un programme d'inspections annuelles et détaillées. Pour un ouvrage de cette taille, l'accès à tous les éléments de la structure peut être complexe et par conséquent il doit être étudié en particulier.

Espace intérieur des caissons et entre les poutres d'acier

Dans le cas de tabliers monocaisson en béton précontraint ou en acier, l'accès à l'intérieur des caissons est assuré par des trous d'homme dans les diaphragmes, permettant d'inspecter l'ouvrage sur toute sa longueur sans sortir du caisson. Pour faciliter l'inspection et les travaux d'entretien courant, il serait utile de prévoir un système d'éclairage fixe ainsi qu'une alimentation électrique à l'intérieur des caissons.

Dans le cas de tabliers à poutres d'acier, l'espace entre les poutres doit être rendu accessible par l'installation d'une passerelle de service.

Espace extérieur des caissons, et des parties de tablier en porte-à-faux

La méthode traditionnelle pour accéder à cet espace est d'utiliser un camion-passerelle. Cependant, la taille de l'ouvrage peut représenter un problème pour un accès avec ce type d'engin.

La grande largeur des tabliers (près de 24 mètres) impose d'utiliser la passerelle d'inspection depuis les deux côtés de chaque tablier pour inspecter la totalité du soffite du pont. En effet, les plus grandes passerelles utilisées au Québec permettent d'inspecter une bande d'environ 18 mètres de largeur au maximum. Pour cette raison, l'espace entre les deux tabliers doit être suffisant pour permettre la mise en place d'une passerelle.

La grande travée au-dessus du canal de la voie maritime représente un défi supplémentaire. Dans le cas d'un pont-poutre à tablier supérieur, l'épaisseur du tablier atteint environ 8 mètres au droit des piles. Or les plus grandes passerelles utilisées au Québec permettent d'inspecter jusqu'à une hauteur de tablier d'environ 7 mètres. Dans le cas d'un pont à haubans, le tablier est plus mince par contre les haubans représentent des obstacles qui gênent considérablement l'accès. Dans ce cas, une nacelle serait probablement plus appropriée.

La contrainte d'inspection depuis les deux côtés du tablier peut s'avérer problématique du côté gauche puisque cet espace est réservé au transport en commun en site propre, qui de plus pourrait être, de plus, un système sur rails avec caténaire. Il faut aussi considérer que les fermetures de voies nécessaires à l'utilisation du camion-passerelle représentent des entraves majeures au trafic au vu de la densité de la circulation sur le pont. Cela a une incidence sur la sécurité des usagers et sur les coûts d'exploitation. Dans ce contexte, il est opportun de considérer l'installation d'un système d'accès intégré à l'ouvrage.

Système d'accès intégré

Pour être intéressant, le système doit être capable de franchir les piles. Divers systèmes ont été développés pour les grands ponts, dans des conditions similaires au pont Champlain. Quelques exemples sont présentés à la Figure 46.

Figure 46 – Inspection



Ces systèmes peuvent franchir des pentes atteignant 10 %, ce qui est bien supérieur à la pente maximale d'environ 3,5 % à l'extrémité Est du pont.

La maintenance d'un tel système dans un climat rigoureux comme celui de Montréal doit être étudiée. Il est aussi envisageable d'utiliser des passerelles ou nacelles de plus petites dimensions, qui peuvent être démantelées, transportées et entreposées à l'abri des intempéries lorsqu'elles ne sont pas utilisées.

Un système d'accès intégré nécessite un investissement et une maintenance, mais les avantages en termes de gestion de la circulation, sécurité des usagers de la route, facilité des inspections et les économies qui en découlent doivent être mis dans la balance. Une telle solution est à étudier plus en détail dans les études ultérieures, en fonction des solutions structurales qui seront retenues.

9.7 ASPECTS DE DURABILITÉ

La durabilité de cet ouvrage très fréquenté devra faire l'objet d'une attention particulière lors de la conception. Il est suggéré de tenir compte notamment des éléments suivants :

Limitation du nombre de joints de tablier

Traditionnellement, les ponts en Amérique du Nord sont construits avec un nombre élevé de joints de tablier, c'est-à-dire que la distance entre chaque joint est relativement faible. Tout en considérant l'interaction avec les piles et les charges exceptionnelles (séisme), il sera important de limiter au maximum le nombre de joints, ce qui aura un effet positif direct sur le confort de roulement, les coûts d'entretien et la durabilité de l'ouvrage. Normalement, il devrait être possible d'espacer les joints de plusieurs centaines de mètres, voire au-dessus d'un kilomètre.

Conception des parapets

Les dispositifs de retenue qui font office de parapet ne se prolongent généralement pas sous le niveau de la dalle, ceci probablement pour des raisons de simplification de construction.

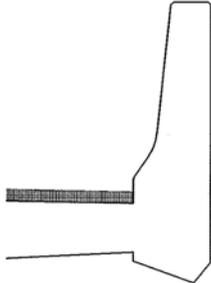
Un prolongement des parapets sous le niveau de la dalle (de 150 à 200 mm) aurait un effet positif sur la durabilité des bords de dalle : la protection du dessous de la dalle serait améliorée en supprimant l'eau de ruissellement. De plus, d'un point de vue esthétique, l'aspect du tablier s'en trouverait amélioré.

Une solution permettant de séparer les deux rôles – sécurité des usagers et protection du bord de dalle par une corniche – est également envisageable (Figure 47). Elle permettrait de limiter les interventions, en cas d'accidents, au seul dispositif de sécurité. Outre cette simplification, cela préserve également le rôle esthétique de la corniche.

En ce qui concerne le dispositif de sécurité en lui-même, il conviendrait de rechercher des dispositifs métalliques, naturellement agréés. De tels dispositifs permettent en effet un gain appréciable sur le poids des équipements de l'ouvrage, ce qui est bien sûr favorable dans le dimensionnement général de l'ouvrage. Ce type de dispositifs permet de mieux maîtriser les efforts transmis à la structure lors d'un choc. Il évite également les efforts parasites induits dans le béton de la dalle par le remplacement d'une barrière en béton dû au retrait différentiel.

Un dispositif de sécurité en métal nécessite enfin la création d'une longrine pour son ancrage à la structure. Cette longrine offre un support évident pour le relevé de l'étanchéité du tablier, évitant les pénétrations d'eau et d'agents agressifs dans le béton en rive de dalle, en favorisant ainsi la durabilité.

Figure 47 – Protections de rive de dalle



Protection par
une corniche

Efficacité du drainage du tablier

Le drainage du tablier devra être étudié avec soin, puisque la durabilité de ce dernier est liée à la qualité du drainage. Cela est particulièrement important du fait que l'ouvrage est très long, avec de grandes surfaces à drainer et une faible pente longitudinale au-dessus du fleuve.

Protection contre la corrosion

La protection de l'acier d'armature et, le cas échéant, de l'acier structural, devra faire l'objet d'une attention particulière. En effet, des mesures proactives pourront éventuellement permettre de donner une protection maximale de l'acier, de façon à minimiser les dommages et les coûts d'entretien.

L'utilisation de barres d'armature en acier inoxydable, ou la mise en place d'une protection cathodique dans la dalle du tablier pourrait être avantageuse du fait du coût très élevé d'un remplacement de dalle dans le contexte de circulation très dense. Une analyse détaillée des gains escomptés comparés aux investissements initiaux doit être faite pour déterminer la meilleure solution.

Dans le cas d'une précontrainte constituée de câbles classiques, noyés dans le béton, l'utilisation de câbles isolés électriquement permettrait un monitoring de leur état. En effet, la résistance électrique de ce type de câble peut être mesurée (boîtiers de contrôle sur le pont) et interprétée en fonction de l'état de dégradation du câble. Le recours à des torons gainés protégés facilite l'isolation électrique des câbles, opération généralement coûteuse, tout en maintenant possible leur monitoring, même si ce type de câbles est particulièrement protégé de la corrosion.

Dans le cas de caissons d'acier, la technique de la déshumidification de l'air à l'intérieur des caissons est une méthode qui se répand de plus en plus dans le monde : l'humidité de l'air est maintenue suffisamment basse pour éviter la formation de corrosion, et évite ainsi tout entretien de l'acier à l'intérieur des caissons, qui est coûteux et fastidieux. Toutefois, une couche d'apprêt de couleur claire à l'intérieur des caissons est recommandée, car cela facilite l'inspection et la recherche de défauts éventuels.

Remplacement de la dalle du tablier

Il est à noter que la dalle du tablier des ouvrages à ossature mixte peut être remplacée. En effet, la dalle est appuyée non seulement sur les poutres maîtresses, mais aussi sur les pièces de pont transversales espacées à intervalles réguliers. Elle peut donc être remplacée par tronçons, en réalisant un phasage des travaux pour maintenir la circulation sur le pont. L'ajout d'un longeron entre les poutres maîtresses, disposé entre les pièces de pont et la dalle pourrait rendre plus aisé ce remplacement. Ces détails de construction pourront être considérés dans les études futures.

10 RECOMMANDATION

Recommandation 1 : Une étude de risque devra être effectuée dans le cas où les autorités de la Voie maritime du Saint-Laurent répondent positivement à la demande d'arrêt temporaire de la circulation maritime ou de travaux au-dessus du canal en maintenant la circulation maritime.

Recommandation 2 : La longueur des travées choisie pour le franchissement du fleuve et les travées d'accès Est est de 80 m. Ceci a été déterminé en se basant sur :

- ▶ la réduction du nombre de piles par rapport aux piles existantes (élimination d'une pile sur trois);
- ▶ longueurs économiques pour le type de structure envisagé.

Recommandation 3 : Les piles envisagées pour toutes les solutions, sauf pour les piles en V, sont des piles de sections elliptique ou circulaire, creuses, en béton. La section et la hauteur des piles incitent à l'utilisation de piles creuses. En effet, le volume de béton requis tout comme le poids de la pile justifie amplement l'utilisation de piles creuses qui, bien que plus difficiles à mettre en œuvre, offrent un gain intéressant.

Recommandation 4 : L'utilisation de fondations « boîte » est préconisée pour les zones les plus critiques et pour les éventuelles zones contaminées, sous réserve que la profondeur d'eau soit suffisante pour que la semelle ne soit pas visible en période de basses eaux.

Recommandation 5 : Afin de poursuivre le projet, les études ci-dessous doivent être réalisées :

- ▶ Étude géotechnique complète, incluant les forages dans l'axe du pont;
- ▶ Étude hydraulique et des glaces du fleuve Saint-Laurent en rapport avec les piles du nouveau pont;
- ▶ Étude bathymétrique;
- ▶ Élaboration d'un modèle terrain;
- ▶ Étude de risque pour la Voie maritime concernant les travaux de construction au-dessus du canal;
- ▶ Aléa sismique;
- ▶ Étude d'impact environnemental;
- ▶ Réflexion sur les moyens – conception, matériaux, etc. – permettant d'améliorer la durabilité.

Recommandation 6 : Une campagne de mesures des charges sur le pont devrait être mise sur pied suffisamment tôt afin que des résultats exploitables soient disponibles à temps dans le processus de conception du pont.

Recommandation 7 : Un indice de fiabilité cible β devra être défini par le maître de l'ouvrage. Sur cette base, les coefficients de pondération des charges et les coefficients de tenue des matériaux devront être déterminés en conséquence pour les modèles de charge utilisés, à l'aide d'une analyse probabiliste.

Recommandation 8 : Pour la suite des études, la façon d'intégrer les charges ferroviaires aux charges routières de la norme S6-06 devra être définie. En particulier, il faudra déterminer le coefficient de pondération à appliquer à cette charge vive ainsi que les facteurs de modification des charges selon le nombre de voies chargées (R_L). Bien sûr, il faudra confirmer que le dimensionnement du pont se fera selon la norme S6-06 même s'il y a une partie ferroviaire. L'article 3.8.12 de la norme S6-06 ne traite que très sommairement le cas des ouvrages à usage multiples.

RÉFÉRENCES

- [1] De Mattéis et al. – Ponts mixtes acier – béton – Guide de conception durable, Paris – Setra 2010 (196 pages).
- [2] Verma, Krishna et al. *Steel Bridge Fabrication Technologies in Europe and Japan*, Washington, Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation, 2001, 66 p.
- [3] Lutomirska, Marta. *Live Load Models for Long Span Bridges*, Lincoln, University of Nebraska, 2009, 181 p.
- [4] MacGregor James G., Kennedy D.J. Laurie et al. *Design criteria and load and resistance factors for the Confederation Bridge*, Canadian Journal of Civil Engineering 24, 882-897 (1997).

CONSORTIUM BCDE



DESSAU

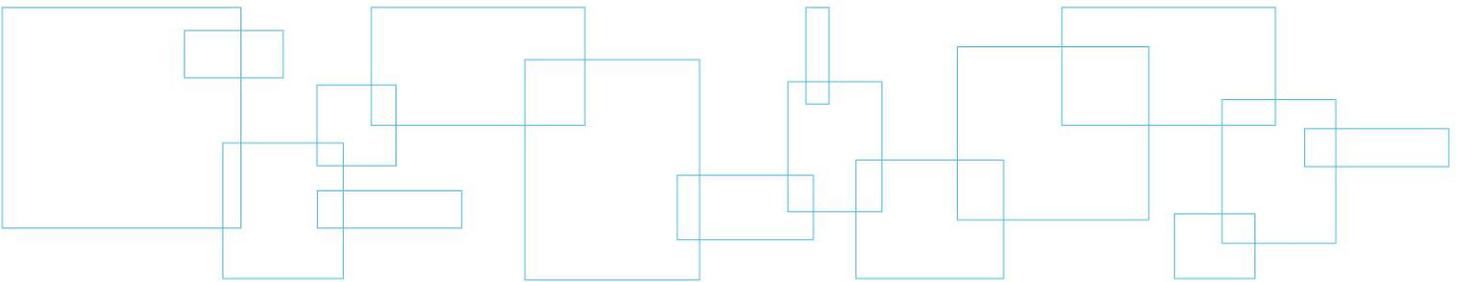


Ministère
des Transports
Québec



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated
Canada

Annexe 4-1 Note d'orientation (55 pages)





Bonnelles, le 7 septembre 2010
Complétée le 1^{er} octobre 2010
Reprise le 17 février 2011

Pont Champlain

**Note d'orientation
de la conception technique
et architecturale**

1. Introduction.

1.1. La présente note est une première synthèse de nos réflexions. Elle n'a pas pour but de revenir sur les analyses qui ont été faites pour établir de premières esquisses, mais de comparer les sept familles de solutions que nous avons imaginées et d'orienter le choix vers les plus intéressantes.

1.2. Les dessins ont été établis sur la base d'un certain nombre de données préliminaires, dont certaines ont pu évoluer au cours des études et pourront évoluer par la suite. Cela ne soulève aucune difficulté pour la comparaison des différentes solutions, que ce soit pour l'appréciation des difficultés constructives, de la durabilité, du coût, de la qualité architecturale ou de l'inscription dans le site.

1.3. Les dessins ont été faits en supposant :

– que les travées courantes dans le Saint-Laurent ont une portée de l'ordre de 75 mètres. L'ouvrage actuel a des travées d'un peu plus de 50 mètres ; nous avons estimé souhaitable de réduire de nombre des appuis pour limiter les contraintes imposées par la protection du site et la nature des dépôts dans le fleuve. Mais nous n'avons pas voulu aller jusqu'à 100 mètres, car le coût croît relativement vite avec la portée. La portée des travées courantes a finalement été augmentée à 80 mètres ; mais cela ne modifie pas les proportions de façon sensible et ne justifiait pas de reprendre les dessins.

– Que la grande travée de franchissement de la Voie Maritime a une portée de 200 mètres.

– Que l'ouvrage sera constitué de deux tabliers parallèles et indépendants, chacun d'une largeur de 23,07 mètres. La largeur a ensuite été portée à 23,82 mètres au lieu de 23,07 ; mais là encore cela ne modifie pas les proportions et ne justifiait pas de reprendre tous les dessins.

1.4. Toutes ces données pourront être retouchées sans que cela modifie nos conclusions tant que les écarts resteront modestes.

1.5. Les tabliers ont des formes classiques.

Nous avons fait un choix pour la forme des piles. Il peut être discuté, mais le choix que nous avons fait – en nous inspirant des viaducs du TGV sur le Rhône près d'Avignon – a le mérite d'une certaine élégance, d'une cohérence avec les formes des tabliers, et d'une grande économie de béton et d'armatures. En outre les formes sont simples malgré les apparences.

Les dessins des piles, étant évidemment très simplifiés à ce stade, ne permettent pas d'en visualiser clairement les formes. Nous avons donc placé, à la page suivante, quelques photos des piles des viaducs du TGV près d'Avignon qui les mettent mieux en évidence.

1.6. Nous avons systématiquement aligné les piles des deux tabliers de l'ouvrage.

C'est à notre avis indispensable pour l'ouvrage de franchissement de la Voie Maritime, sauf pour la septième solution comme nous le verrons, car un décalage des appuis selon le biais ne manquerait pas de créer une confusion des lignes et des formes :

– dans le cas des piles de la solution dont les appuis prennent la forme d'un V^é,

– dans le cas des ponts à haubans,

– mais aussi dans le cas des tabliers classiques dont la hauteur varie fortement pour atteindre sur piles des valeurs très importantes.

Cela n'a pas une importance aussi grande dans le Saint-Laurent puisque les tabliers y sont de hauteur constante. Un décalage selon le biais ne poserait d'ailleurs aucun problème esthétique majeur dans le cas des piles de formes circulaires, et les piles elliptiques rendraient le biais très acceptable.

Mais l'avantage de l'alignement des appuis des deux tabliers est de permettre la construction d'une fondation unique, ce qui devrait limiter les difficultés environnementales de leur réalisation et faciliter la résistance à l'action des glaces.

1.7. Nous avons joint aux dessins de chacune des familles de solutions deux vues perspectives établies par le Cabinet d'architecture Lavigne et Chéron, de façon à permettre une meilleure appréciation des volumes de l'ouvrage et de son inscription dans le site.

Il ne s'agit bien sûr que de premières esquisses, des perspectives plus précises en couleurs et construites à partir de photos du site devant être faites aux stades ultérieurs du projet.

2. Première famille.

2.1. La première famille de solutions est celle des ponts en caisson en béton précontraint construits par encorbellements successifs. Chaque tablier a la forme d'un caisson à deux âmes, de hauteur constante dans le Saint-Laurent – de l'ordre de 3,50 mètres –, et de hauteur fortement variable pour le franchissement de la Voie Maritime, de 3,50 à 10 mètres environ.

2.2. La solution 1A est un pont en caisson classique avec un hourdis épais travaillant en béton armé (ou précontraint) dans le sens transversal.



2.3. La solution 1B est un pont en caisson à hourdis nervuré. Les nervures sont de préférence précontraintes, et le hourdis travaille en béton armé dans le sens longitudinal sous les charges locales, de nervure à nervure.

2.4. Compte tenu de l'importance de la surface de l'ouvrage, les travées courantes, dans le Saint-Laurent et au Sud de la Voie Maritime, doivent être construites par assemblage de voussoirs préfabriqués, conjugués collés. Il faudrait donc construire une "usine" de préfabrication de voussoirs au voisinage du chantier.

2.5. On pourrait songer à utiliser la même technique pour la travée de franchissement de la Voie Maritime, mais nous pensons préférable de construire en place les fléaux correspondants :

– parce que cette partie de l'ouvrage est relativement réduite et peut être coulée sur équipages mobiles (deux ouvrages parallèles d'environ 360 mètres chacun),

– et parce que le poids des voussoirs les plus hauts serait très élevé et demanderait, soit un matériel spécifique qu'il serait difficile d'amortir, soit de surdimensionner le matériel utilisé dans le reste de l'ouvrage.

2.6. Si cette solution était retenue, nous recommanderions de mettre en œuvre à l'extérieur du béton une partie des câbles de précontrainte.

Nous recommanderions aussi d'utiliser du béton à hautes performances d'une résistance de l'ordre de 80 MPa ; non pas seulement pour disposer d'une résistance élevée, mais surtout pour améliorer sensiblement la durabilité de l'ouvrage.

2.7. Toutefois nous ne sommes pas très partisan de cette solution, compte tenu de la rudesse du climat canadien et de l'utilisation massive de sels de déverglaçage qu'il impose, qui peuvent conduire à une dégradation rapide du béton.

3. Seconde famille.

3.1. La seconde famille de solutions – la solution 2 – est très proche de la première. La seule différence, c'est que la partie centrale de la grande travée au-dessus de la Voie Maritime est un caisson en ossature mixte acier-béton, pour limiter le poids et le déséquilibre avec les travées adjacentes.

3.2. Le caisson mixte de la grande travée serait un caisson à deux âmes, de mêmes formes extérieures que les travées d'accès pour l'homogénéité architecturale de la solution, avec des pièces de ponts débordantes.

Il serait donc logique de l'associer à des travées d'accès en caisson à hourdis nervuré de la solution 1B.

3.3. La partie centrale de la grande travée, en ossature mixte, serait encastrée dans les consoles en béton de part et d'autre, ce qui présente de sérieux avantages par rapport à une travée isostatique posée sur des consoles comme pour le pont de Cheviré :

– il n'est pas nécessaire de venir souder en place un about en acier (la console portée de la travée centrale isostatique) ; il suffit en effet de lever en place l'ensemble de la charpente métallique, de la breller à des poutres fixées provisoirement sur les consoles, et de couler un béton de clavage de chaque côté, sur environ 50 centimètres. Cela permet la connexion, avec des goujons Nelson pénétrant dans les armatures en attente. La liaison serait assurée par précontrainte, à l'aide de grands câbles complétant la précontrainte des consoles et des travées de retour en béton, et par des barres de précontrainte plus courtes.

- Il n'y aurait pas de joint de chaussée,
- pas de risque de cassure angulaire produite par les déformations de fluage,
- et une limitation des déformations de fluage des consoles en béton grâce à la continuité structurelle.

3.4. Bien entendu les travées courantes seraient construites à l'aide de voussoirs préfabriqués comme pour les solutions de la première famille. Mais pour les mêmes raisons que précédemment, il paraît préférable de couler en place les fléaux de hauteur variable.

3.5. Il faut noter que l'allègement de la travée centrale devrait permettre de réduire la hauteur sur piles, de 10 mètres à environ 8,50.

3.6. Cette solution correspond cependant pour l'essentiel une structure en béton, ce qui ne nous paraît pas l'idéal sur le plan de la durabilité dans le climat canadien, comme nous l'avons déjà noté.

3.7. Elle présente en outre l'inconvénient – très mineur – d'une certaine hétérogénéité.

4. Troisième famille.

4.1. La troisième famille de solutions est celle des ponts classiques en ossature mixte, acier-béton, adoptée pour l'ensemble de l'ouvrage, d'une culée à l'autre.

Nous avons envisagé quatre types de tabliers.

4.2. Les tabliers de la solution 3A sont de type bipoutre à pièces de pont débordantes.

Nous savons qu'il s'agit d'un type d'ouvrage qui n'est pas couramment utilisé en Amérique du Nord, au prétexte que la rupture d'une poutre entraînerait la ruine de l'ouvrage. Et il semble qu'il ne soit toujours pas accepté au Québec.

Il s'agit d'une structure construite dans de très nombreux pays, et c'est – de loin – la plus courante en France pour les portées moyennes (de 50 à 100 mètres). L'argument de la rupture ne paraît pas raisonnable car on pourrait l'étendre facilement à un très grand nombre de types structurels. Il faut simplement dimensionner correctement la structure et contrôler soigneusement sa construction, en particulier les assemblages. Il semble bien que les autorités américaines commencent à s'intéresser sérieusement à ces ouvrages qui ont un grand intérêt économique.

Les piles seraient constituées de deux colonnes réunies à leur base dans un socle permettant de résister à la pression des glaces.

Sur les piles principales, le tablier aurait une hauteur de l'ordre de 8,50 mètres.

4.3. Le tablier de la solution 4B aurait la forme d'un bi-caisson, avec deux caissons rectangulaires étroits réunis par des pièces de pont et portant un hourdis en béton armé.

Il s'agit d'une variante de la solution de type bipoutre dont l'un des avantages est d'éviter les inquiétudes que suscitent les bipoutres. L'étroitesse des caissons permettrait leur éventuel transport par la route.

Là encore les piles seraient constituées de deux colonnes réunies dans un socle à leur base.

4.4. Le tablier de la solution 4C est un caisson large, unique, à pièces de pont débordantes (caisson "ouvert").

Le dessin fait apparaître un diaphragme percé d'un trou d'homme pour assurer le raidissage du caisson, mais il ne s'agit que d'un choix de représentation, la conception du raidissage des solutions en acier n'ayant aucun intérêt au stade actuel et ne devant être abordée qu'aux étapes ultérieures des études, une fois fait le choix de la solution.

4.5. On arrive ainsi progressivement à la solution 4D dont le tablier est un caisson trapézoïdal complet (caisson "fermé").

Il s'agit évidemment d'une solution d'un coût plus élevé, mais elle permet de réduire les frais de maintenance. On peut en effet assurer la protection contre la corrosion de l'intérieur du caisson en installant un système de déshumidification, selon les principes développés par les ingénieurs danois et repris pour le Pont de Normandie et le Viaduc de Millau. On limite ainsi la surface à peindre et à repeindre à la surface extérieure du caisson qui est très réduite (elle est à peine supérieure à la surface de la dalle du tablier). Nous recommandons cependant de sabler l'intérieur du caisson et de mettre une couche de peinture primaire pour faciliter l'inspection.

La seule difficulté est d'ordre esthétique : la variation de hauteur des fléaux franchissant la Voie Maritime ne peut pas être créée facilement dans le prolongement des formes des travées d'accès ; si cette solution était retenue, il faudrait essayer de traiter correctement cette liaison.

4.6. Quelle que soit la forme donnée au tablier, les ouvrages de cette famille pourraient être construits par lancement à partir des deux extrémités de l'ouvrage, à l'exception des fléaux de hauteur variable qu'il faudrait monter en partie à la grue ; la partie centrale de la grande travée pourrait être levée à partir d'une barge, en adoptant des dispositions particulières pour permettre le passage de cet élément entre les deux consoles et le rétablissement ensuite de la continuité mécanique (par exemple en montant en place un court élément de liaison, ou en lançant sur une courte distance – 0,50 à 1,00 mètre – la partie Sud pour refermer l'espace ménagé pour permettre le levage).

Nous avons vérifié que la charpente métallique des travées d'accès est assez souple pour permettre une fabrication à la géométrie finale tout en la lançant sur un profil en long constitué d'une rampe entre deux arcs de cercle.

On peut aussi envisager de mettre en place une partie des travées complètes par des moyens nautiques (bigue flottante, barge lestée ...).

4.7. Les réserves que nous avons faites sur la durabilité des structures en béton dans le climat canadien valent aussi pour la dalle de roulement des ponts en ossature mixte. Il est toutefois plus facile d'en améliorer la durabilité, parce que le volume de béton est plus réduit et que le bétonnage d'une dalle est aisé.

Bien que cela dépasse les objectifs de cette note, nous recommandons :

- de ne pas construire des dalles de moins de 25 centimètres d'épaisseur ;
- de prévoir un enrobage suffisant des armatures ;
- d'utiliser un béton à hautes performances (plus de 60 MPa, et de préférence au moins 80 MPa), non pas pour sa résistance, mais pour sa compacité qui est un gage de durabilité ;
- une amélioration sensible consisterait à utiliser un béton de fibres métalliques, destinées à réduire la fissuration et non à remplacer les armatures traditionnelles ;
- et de mettre en œuvre une étanchéité de qualité, avec une chape épaisse, des relevés d'étanchéité et un drainage efficace.

4.8. Il semble que le Ministère des Transports du Québec recommande de précontraindre les dalles de roulement par des câbles transversaux dès que la largeur du tablier dépasse 15 mètres.

Cette solution n'est pas très bien adaptée aux ouvrages à pièces de pont – ce qui est le cas pour tous les ouvrages que nous avons esquissés –, car dans ces ouvrages la dalle travaille essentiellement dans le sens longitudinal, de pièce de pont à pièce de pont ; et pas dans le sens transversal comme dans les ponts à poutres multiples.

Si de la précontrainte transversale devait malgré tout être mise en œuvre, nous recommandons d'utiliser des torons gainés-graissés, mis en place dans une gaine injectée au coulis de ciment avant tension. C'est la solution qui assure, de loin, la meilleure durabilité.

5. Quatrième famille.

5.1. La quatrième famille de solutions reprend toutes les dispositions de la troisième, sauf pour la partie de l'ouvrage qui assure le franchissement de la Voie Maritime : le tablier en poutre continue ne s'appuie plus sur des piles classiques, mais sur des piles en V constituées d'une béquille et d'une contre-béquille.

Cette solution présente des avantages :

- elle permet de réduire la portée entre les points d'appui du tablier, de 200 mètres à environ 140 mètres (la valeur exacte ne pourra être définie qu'à partir des levés du terrain) ;
- ce qui permet de réduire sensiblement la hauteur sur pile du tablier : au lieu d'une hauteur de l'ordre de 8,50 mètres (tablier de type bipoutre ou bi-caisson des solutions 3A et 3B) ou de l'ordre de 7,50 à 8,00 mètres (tabliers en caisson des solutions 3C et 3D), on peut se contenter d'une hauteur de l'ordre de 6,00 à 6,50 mètres pour un tablier de type bipoutre ou bi-caisson (solutions 4A et 4B) et de l'ordre de 5,50 à 6,00 mètres pour un tablier en caisson (solutions 4C et 4D).
- On peut ainsi abaisser le profil en long de l'ouvrage, probablement de l'ordre d'un mètre, ce qui est peu mais ne doit pas être négligé.
- Et surtout la plus faible hauteur du tablier donne à l'ouvrage un aspect beaucoup plus élancé, plus élégant.

5.2. La solution 4A, avec un tablier de type bipoutre, n'est pas très élégante, sauf à donner à la béquille et à la contre-béquille la forme d'un caisson qui viendrait remonter, dans leur prolongement, le long de l'âme de la poutre en I.

5.3. La solution 4B, avec un tablier de type bi-caisson, est nettement plus élégante. Mais, comme la précédente, elle est très raide avec des béquilles et des contre-béquilles dans un plan vertical parallèle à l'axe de l'ouvrage. Une inclinaison transversale serait plus heureuse pour créer un effet tridimensionnel, mais il serait plus difficile d'assurer la liaison et la continuité visuelle avec les caissons du tablier.

En outre, et comme pour la solution précédente, l'existence de deux tabliers parallèles conduirait à constituer les appuis de quatre béquilles et de quatre contre-béquilles, ce qui serait très lourd sur le plan visuel.

5.4. Les solutions 4C et 4D, avec un tablier en caisson, sont à notre avis meilleures, les béquilles et les contre-béquilles n'étant plus constituées que d'un seul élément en caisson par tablier.

Nous avons, sur nos esquisses, donné à ces pièces un fruit opposé à celui du caisson, la hauteur de ces appuis étant trop importante pour qu'on puisse prolonger directement les formes du caisson.

5.5. La solution 4D – avec un caisson trapézoïdal complet, toujours pour limiter le coût de la peinture et de la remise en peinture – présente le même inconvénient que la solution 3D : la variation de hauteur du tablier, dans les fléaux de hauteur variable, ne se fait pas dans le prolongement des formes des travées courantes.

6. Cinquième famille.

6.1. Dans la cinquième famille de solutions le franchissement de la Voie Maritime est assuré par un pont à haubans à deux pylônes, un de chaque côté du chenal, et toujours avec une portée de 200 mètres qui est assez faible pour un pont à haubans.

6.2. Le tablier de l'ensemble de l'ouvrage est de préférence en ossature mixte, reprenant dans les travées d'accès les formes des solutions 3A-3B et 3D (et 4A-4B et 4D) comme nous le verrons.

6.3. L'image d'un pont à haubans est en grande partie commandée par la forme des pylônes.

Nous avons envisagé deux solutions :

- un pylône à fûts verticaux (et donc à trois fûts pour porter les deux tabliers de l'ouvrage),
- et un "double pylône", prenant la forme appelée aux Etats Unis en "double diamond". Nous avons fait les esquisses correspondant à ces deux options pour la solution 5A, mais pour les solutions 5B et 5C les dessins n'ont été faits que pour le pylône en "double diamond".

Pour notre part, pour une portée aussi modeste, il nous semble que les pylônes à fûts verticaux sont mieux adaptés : les haubans doivent être très inclinés transversalement avec un pylône en "double diamond", et la distance entre les deux tabliers est assez importante. La plupart des dessins ont été faits avec des pylônes en "double diamond" parce que c'est pour cette solution que nous avons commencé à dessiner ; mais nous préférons les solutions à mâts verticaux pour les ouvrages de cette famille. Avec deux doubles pylônes, un sur chaque rive, le site serait assez encombré ; les pylônes à mâts verticaux sont plus simples, leurs lignes sont plus pures et plus légères.

Nous avons donc surtout travaillé à l'amélioration des formes des pylônes à mâts verticaux.

Nous devons toutefois noter une difficulté constructive : si l'on construit un tablier, puis l'autre, le mât central va subir une compression excentrée. Cela demande d'adapter la séquence de construction ; il faut par exemple éviter de couler la dalle du premier tablier avant d'avoir monté la charpente de second.

6.4. La solution 5A correspond à un pylône à fûts verticaux avec un tablier de type bipoutre dans les travées d'accès.

Dans la partie haubanée de l'ouvrage, la poutre en I est complétée sur le côté pour constituer un caisson latéral. Les haubans sont directement ancrés dans l'âme latérale de ce petit caisson, en interrompant localement l'âme pour y incorporer le tube de passage du hauban.

6.5. La solution 5A' reprend les mêmes dispositions, mais avec un pylône en "double diamond".

6.6. Dans la solution 5B le tablier des travées d'accès est du type bicaisson. Le petit caisson rectangulaire des travées d'accès est élargi dans la partie haubanée pour prendre une forme

trapézoïdale, comme dans les solutions 5A et 5A', de façon à permettre un ancrage direct des haubans dans l'âme latérale.

6.7. Dans la solution 5C, le tablier des travées d'accès est un caisson trapézoïdal complet. Il est simplement élargi dans la partie haubanée de l'ouvrage.

Sa forme est légèrement différente de celle des solutions 3D et 4D dans les travées d'accès, de façon à permettre cet élargissement et l'ancrage des haubans dans l'âme de rive à laquelle il faut donner une hauteur suffisante.

6.8. Nous n'avons pas dessiné une solution reprenant les formes des solutions 3C et 4C dans les travées d'accès, considérant que tant qu'à construire un tablier en caisson qui doit être complet dans la partie haubanée, autant qu'il soit complet sur l'ensemble de l'ouvrage.

6.9. Pour éviter un travail fastidieux et inutile, dans les dessins représentant les différentes solutions, 5A, 5A', 5B et 5C, l'élévation transversale d'un pylône est la même et correspond au tablier des solutions 5A et 5A'. Il faut le remplacer, par la pensée, par celui des solutions 5B et 5C.

6.10. Le grand avantage des solutions à haubans, des familles 5, 6 et 7, c'est de réduire la hauteur du tablier à 3,50 mètres, ce qui permet d'abaisser sensiblement le profil en long.

6.11. Nous avons pu aussi nous assurer qu'il est possible de lancer le tablier à partir des deux extrémités de l'ouvrage, en dépassant le pylône de 40 à 60 mètres, ce qui ne laisserait qu'une faible partie du tablier à hisser à partir d'une barge dans la travée centrale.

7. Sixième famille.

7.1. La sixième famille de solutions prévoit aussi de franchir la Voie maritime par un pont à haubans, mais cette fois avec un seul pylône.

Nous avons estimé que ce pylône devait être implanté au Nord de la Voie Maritime. Cela nous a semblé plus symbolique que de l'implanter sur l'autre rive.

7.2. Nous avons là aussi envisagé deux options :

- un pylône à trois fûts verticaux,
- et un pylône de type "double diamond".

Cette fois les fûts verticaux nous semblent trop hauts, et les proportions qui en résultent ne nous paraissent pas harmonieuses. Nous préférons de loin celles des pylônes "double diamond" pour lesquels nous avons fait quelques recherches de formes, celles du dernier dessin nous paraissant les meilleures à ce stade de l'analyse.

Il y a lieu d'ajouter qu'un pylône unique, de grande hauteur (de l'ordre de 75 à 80 mètres au dessus du tablier), constituerait un signal fort à l'Ouest de Montréal, alors que les deux pylônes des solutions de la cinquième famille ne pourraient en aucun cas jouer ce rôle du fait de leur taille plus réduite et de l'existence de deux structures qui produiraient une certaine confusion.

7.3. Nous avons évidemment repris les mêmes types de tablier que pour les solutions de la cinquième famille :

- solution 6A et 6A' avec un tablier de type bipoutre dans les travées courantes.
- solution 6B avec un tablier de type bi-caisson,

– et solution 6C avec un tablier en caisson complet de forme trapézoïdale.

7.4. Comme pour les dessins de la cinquième famille, tous ceux de la sixième font apparaître la même élévation du pylône, correspondant au tablier des solutions 6A et 6A'. Il faut le remplacer, toujours par la pensée, par celui des solutions 6B et 6C. :

8. Septième famille.

8.1. La septième famille de solutions est une variante de la sixième. En reprenant une idée que nous avons déjà proposée pour la reconstruction du Pont Kosciusko à New York, le principe consiste à haubaner les deux tabliers à partir des rives opposées :

– la chaussée qui va de l'Ile des Sœurs vers le Sud serait haubanée à partir d'un pylône située sur la langue de terre qui sépare le Saint-Laurent de la Voie Maritime,

– et de la chaussée qui vient du Sud serait haubanée à partir de l'autre rive.

8.2. Nous avons donc repris, dans cette hypothèse, les dessins correspondant aux trois sections transversales déjà envisagées pour les cinquième et sixième familles ; cela conduit aux solutions 7A, 7B et 7C.

Comme précédemment, l'élévation du pylône correspond dans tous les cas au profil en travers de la solution 7A ; il faudrait faire une retouche sans conséquence sur les volumes généraux pour représenter exactement les solutions 7B et 7C.

8.3. Nous avons tout d'abord été assez réservé sur cette solution pour plusieurs raisons :

– les pylônes paraissent hauts par rapport à la portée de la travée principale, du fait de leur doublement ; mais ce n'est sensible que sur les dessins en élévation, alors que les vues perspectives – qui sont tridimensionnelles –, séparant nettement les deux pylônes et mettant en évidence leurs fonctions différentes, font disparaître cette fausse impression.

– Le croisement des haubans dans la travée centrale donne une certaine impression de désordre, mais le dessin exagère considérablement la présence des haubans, très discrets dans la réalité si l'on choisit de leur donner une couleur adaptée (blanc ou gris clair).

– Et surtout la juxtaposition d'un pylône et d'une pile courante, dont les formes n'ont aucune similitude, donne une impression d'hétérogénéité particulièrement dommageable sur le plan architectural.

Le projet du Pont Kosciusko, à New York, soulevait les mêmes difficultés, mais pour des raisons très spécifiques qu'on ne retrouve pas à Montréal cette solution s'y est quand même imposée.

8.4. Comme à New York, où cette idée n'a malheureusement pas été retenue, nous suggérons de traiter la dernière – et la plus sérieuse – de ces trois difficultés en supprimant la pile placée à côté d'un pylône.

A priori cela devrait conduire à augmenter la portée du tablier haubané, de 200 mètres à :

$$200 + 80 = 280 \text{ mètres}$$

Mais en profitant du biais du franchissement de la Voie Maritime nous avons pu limiter cette portée à 250 mètres, à condition d'aligner les piles des viaducs d'accès, en renonçant à disposer selon le biais du fleuve les appuis des deux tabliers.

8.5. De façon à éviter toute confusion, nous avons repris les dessins du projet pour tenir compte de cette amélioration en les numérotant 8A-8B et 8C.

La hauteur des pylônes n'a pas été augmentée de façon sensible (elle reste de l'ordre de 80 à 85 mètres au-dessus du tablier) pour ne pas risquer un conflit avec les exigences du trafic aéronautique ; elle reste ainsi conforme aux proportions habituelles, de l'ordre du tiers de la portée pour un pont à pylône unique ; les haubans les plus longs sont alors un peu moins inclinés sur l'horizontale, ce qui donne plus de vigueur à l'ouvrage.

Cela conduit à une solution particulièrement originale, techniquement intéressante et très forte sur le plan architectural.

L'implantation des pylônes en fonction de la direction du trafic est en outre très symbolique et donne à l'ouvrage une signification très forte.

9. Une dernière remarque.

Les dessins de cette solution ont un autre intérêt. Ils montrent que les piles courantes de la solution 7A – et donc des solutions 3A, 4A, 5A, 5A', 6A et 6A' – apparaissent très grêles quand leur hauteur devient importante. Il en va de même, dans une bien moindre mesure, pour les piles de la solution 7B, et donc des solutions 3B, 4B, 5B et 6B.

Nous en concluons qu'il est souhaitable que le diamètre des fûts de pile (et la taille du chevêtre par contrecoup) augmente en fonction de la hauteur des piles ; par exemple en envisageant trois tailles différentes, ce que permet l'envergure du chantier.

Ce n'est pas le cas pour les solutions 7C et 8C, et donc pour les solutions 3C, 3D, 4C, 4D, 5C, 5D et 6C dont les fûts uniques sont beaucoup plus larges et ont un volume suffisant dans les vues tridimensionnelles.

C'est un argument supplémentaire en faveur des tabliers en caisson unique, ouvert ou de préférence fermé pour faciliter la maintenance.

10. Conclusion.

10.1. Il est bien évident que le choix devra être fait à l'issue d'une discussion avec l'ensemble des autorités concernées, et que la ou les solutions retenues devront faire l'objet d'analyses complémentaires, techniques et architecturales, pour les améliorer et les développer de façon à produire un projet de qualité aux stades ultérieurs des études.

Mais nous devons d'ores et déjà faire part de notre avis sur ces solutions.

10.2. Tout d'abord il nous semble préférable d'écarter les solutions en béton précontraint compte tenu de la rigueur du climat canadien et de l'expérience tirée des ouvrages existants.

Ce qui écarte les solutions 1A et 1B, mais aussi la solution 2 qui présente en outre l'inconvénient – assez mineur – d'une certaine hétérogénéité.

10.3. Entre les deux familles de pont à haubans il nous paraît préférable de retenir la seconde (la sixième famille), beaucoup plus puissante et symbolique. Il ne faut pas oublier que le Pont Champlain est un ouvrage majeur de la Ville de Montréal, et qu'il ne doit pas être traité comme un ouvrage banal.

10.4. Comme il nous a été demandé de sélectionner deux solutions, une première qui soit relativement traditionnelle et une plus ambitieuse, nous conseillons de retenir, pour cette dernière solution, un ouvrage de la sixième ou de la septième famille, les solutions à deux

pylônes de la cinquième famille apparaissant beaucoup plus lourdes par la multiplication des structures en élévation, et moins symboliques.

Le choix doit être donc fait entre un pylône au Nord de la Voie Maritime, qui constituerait un signal vu de Montréal, et un ouvrage beaucoup plus original, sans la moindre structure comparable dans le monde aujourd'hui, avec un pylône pour chacune des deux chaussées, l'un au Sud et l'autre au Nord.

Nous recommandons donc de retenir l'une des solutions 6A'-6B-6C-8A-8B ou 8C :

- les solutions 6A' et 8A, avec un tablier de type bipoutre dans les travées courantes, seraient les plus économiques, mais nous connaissons les réserves des services du Ministère des Transports du Québec sur cette solution.
- Les solutions 6B et 8B, qui ne peuvent être critiquées sur ce plan, sont les solutions naturelles de remplacement.
- Les solutions 6C et 8C, certainement un peu plus coûteuses au départ, auraient l'avantage d'avoir un coût de maintenance plus faible (pas de peinture intérieure).

Personnellement, nous n'hésiterions pas à retenir la solution 8C qui ferait du Pont Champlain une référence internationale par son originalité, sans oublier que le choix d'un tablier en caisson unique améliorerait sensiblement l'architecture de l'ouvrage dans le franchissement du Saint-Laurent par les meilleures proportions de ses piles, une seule par tablier au lieu de deux.

10.5. En ce qui concerne la solution plus classique, le choix doit être fait entre les troisième et quatrième familles.

Nous recommandons les solutions de la quatrième famille pour les raisons suivantes :

- la hauteur du tablier serait un peu plus faible grâce au raccourcissement de la travée centrale, entre les extrémités de béquilles,
- le profil en long serait un plus bas,
- et l'ouvrage serait nettement moins banal.

L'ouvrage serait un peu plus complexe, mais la méthode de construction serait la même, sauf pour le franchissement de la Voie Maritime. Il y aurait quelques économies sur le tablier du franchissement de la Voie Maritime, mais les appuis de part et d'autre de cette voie seraient évidemment plus coûteux que des piles classiques en béton et la construction plus complexe.

Toutefois le franchissement de la Voie Maritime ne représente qu'une faible partie de l'ensemble de l'ouvrage, si bien que pour une même structure de tablier la différence de coût entre les solutions des troisième et quatrième familles doit être très modeste.

Il reste à faire le choix de la solution pour le tablier.

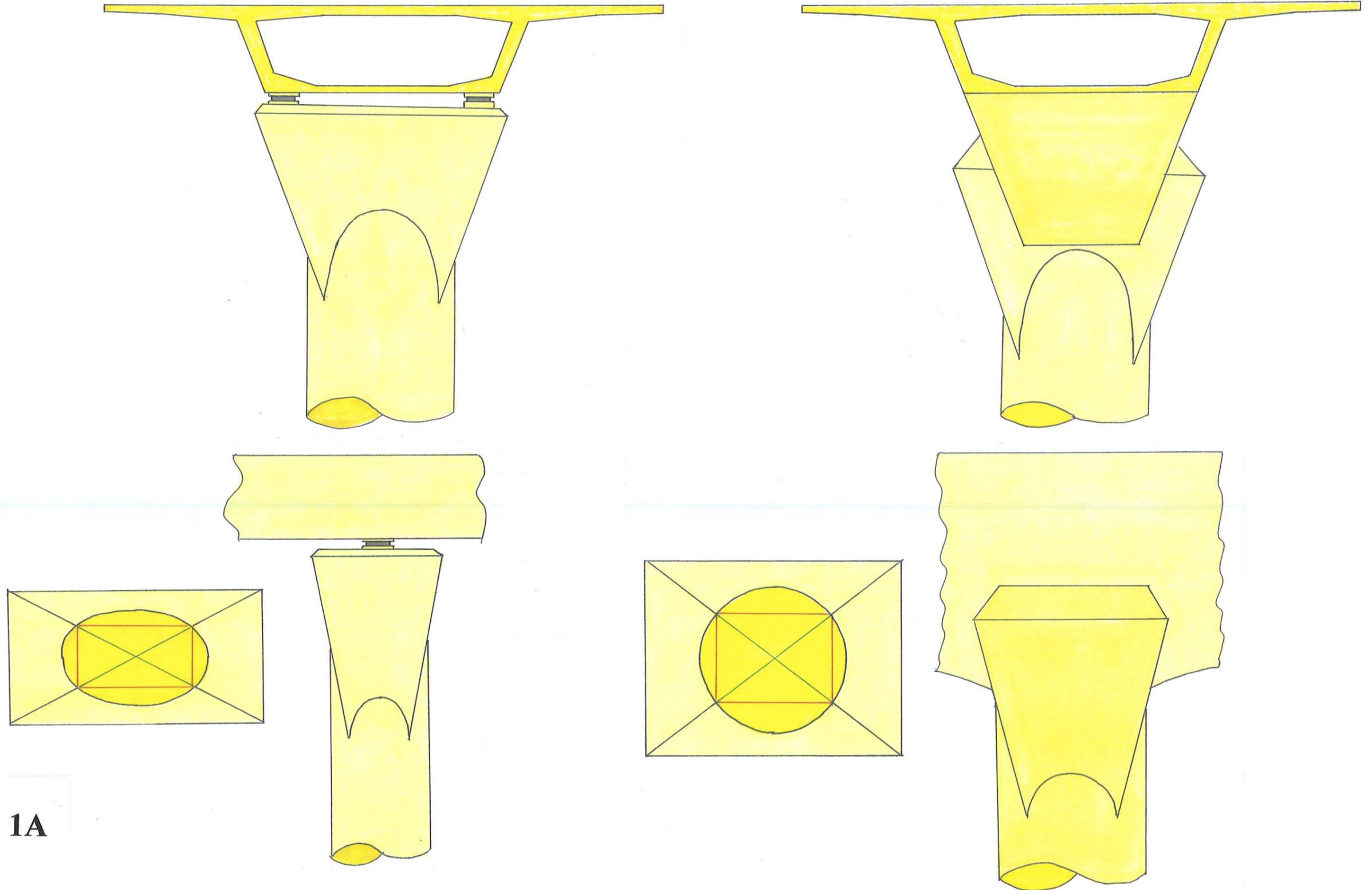
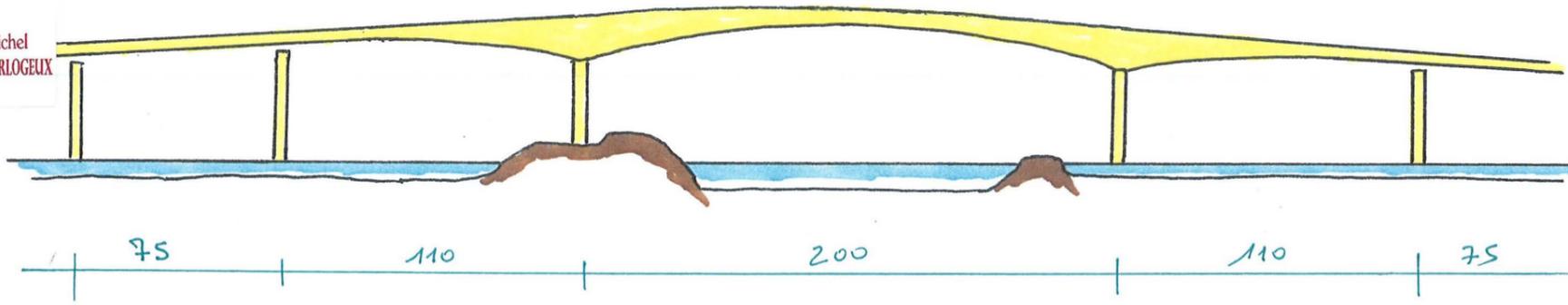
Si la solution de type bipoutre est écartée malgré ses avantages économiques, le choix doit être fait entre un bi-caisson (solution 4B) et le caisson trapézoïdal (solution 4D), plus cher mais d'un entretien plus commode et plus économique, et surtout plus élégant avec un fût de béquille unique pour chaque tablier au lieu de deux fûts parallèles, quatre donc pour l'ensemble de l'ouvrage.

10.6. Le choix final dépendra des priorités du Maître d'ouvrage, entre l'économie et la volonté architecturale.

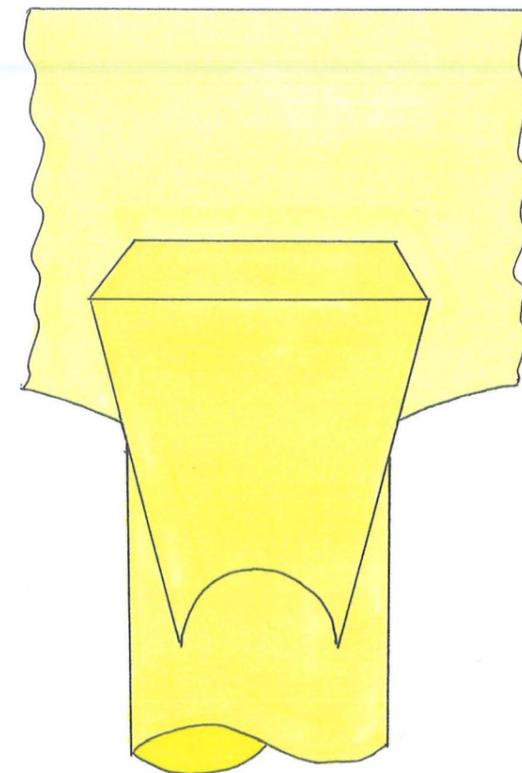
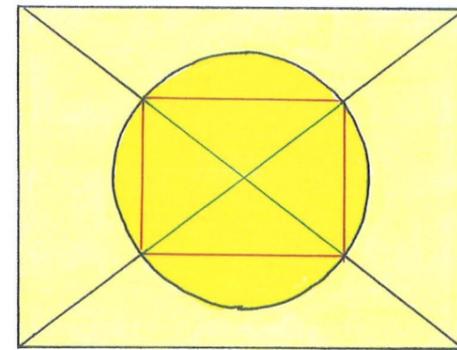
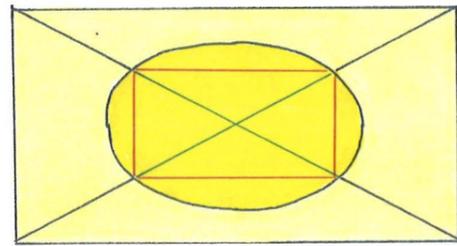
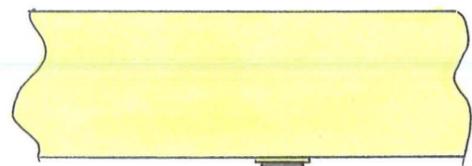
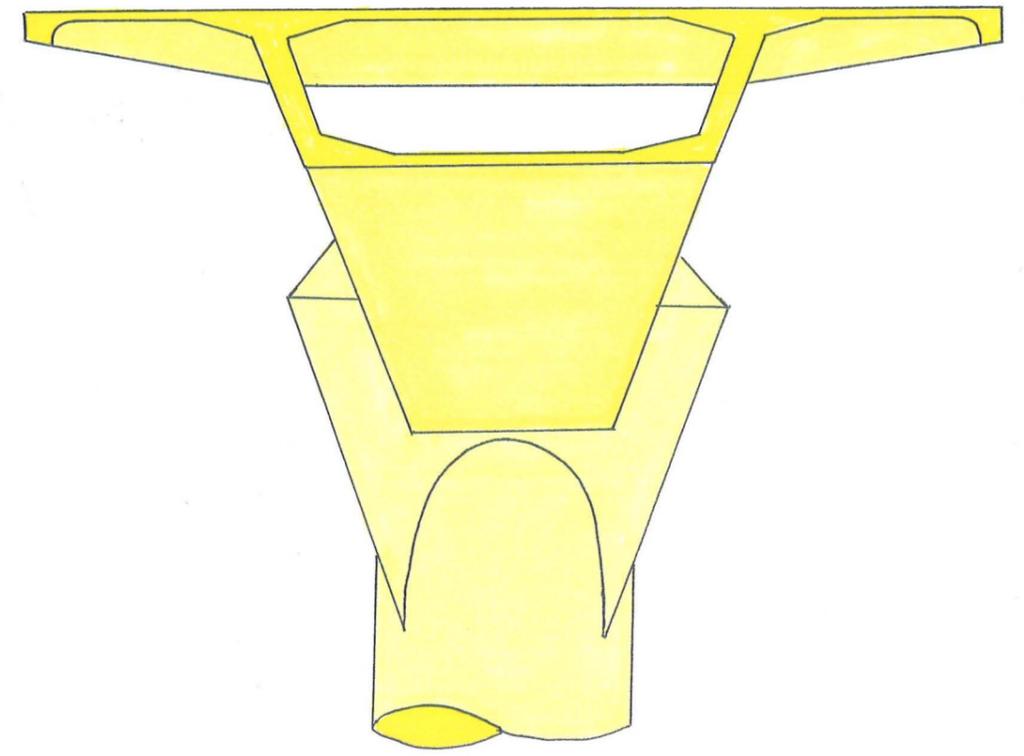
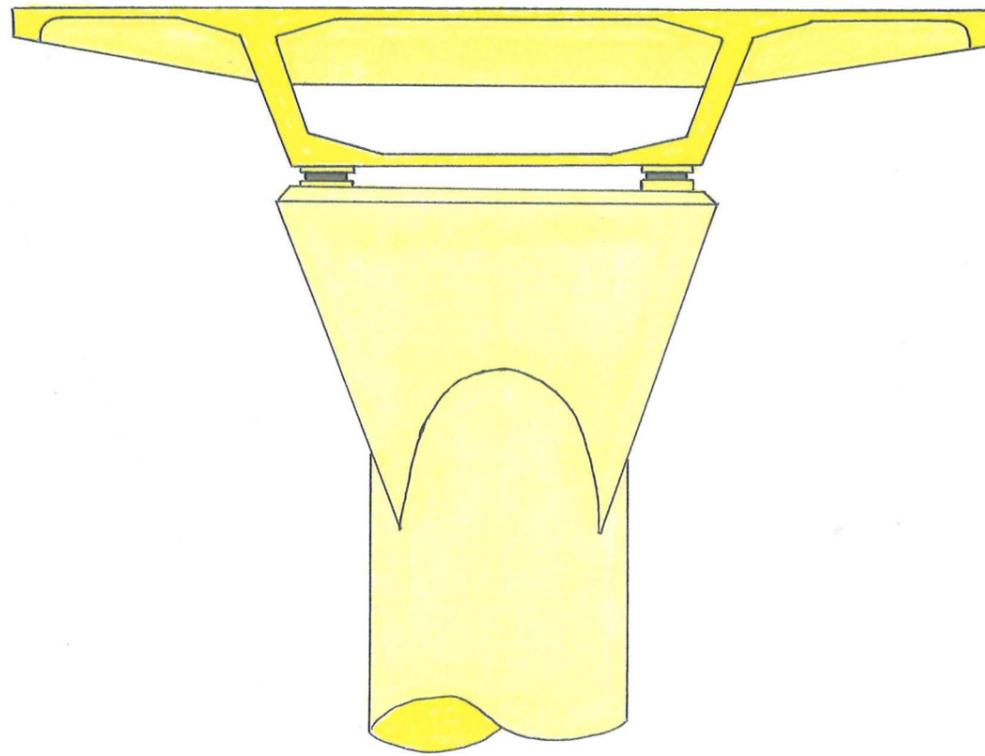
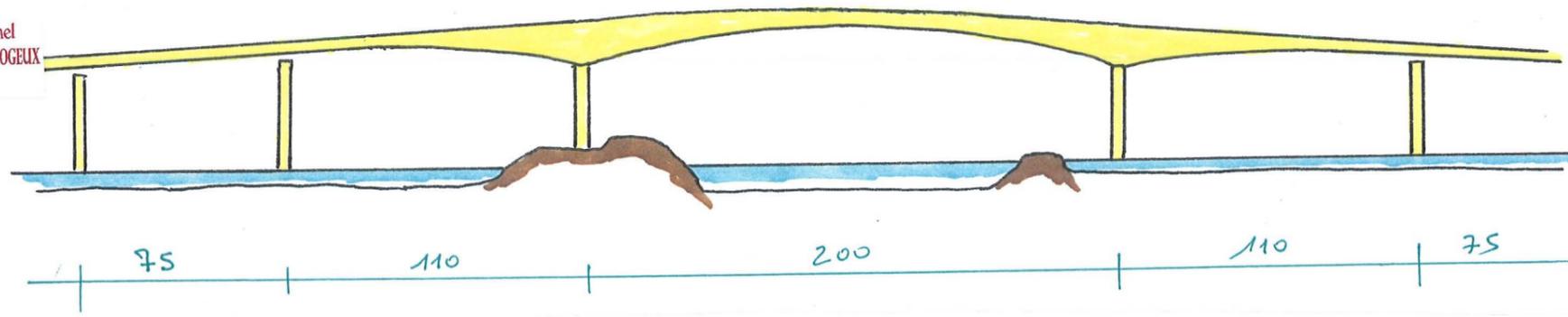
Notre préférence irait incontestablement à la solution 8C. Les solutions de la quatrième famille sont élégantes, mais cette élégance ne serait sensible que pour les observateurs

extérieurs, situés à une distance relativement faible de l'ouvrage, à l'exclusion des usagers pour qui le franchissement ne serait pas marqué par des superstructures au-dessus du tablier. Au contraire, les solutions de la septième famille – et particulièrement la solution 8C – seraient visibles de loin, et seraient clairement perceptibles, par les usagers de l'autoroute et en même temps symboliques par leur dissymétrie, orientée dans le sens du trafic.

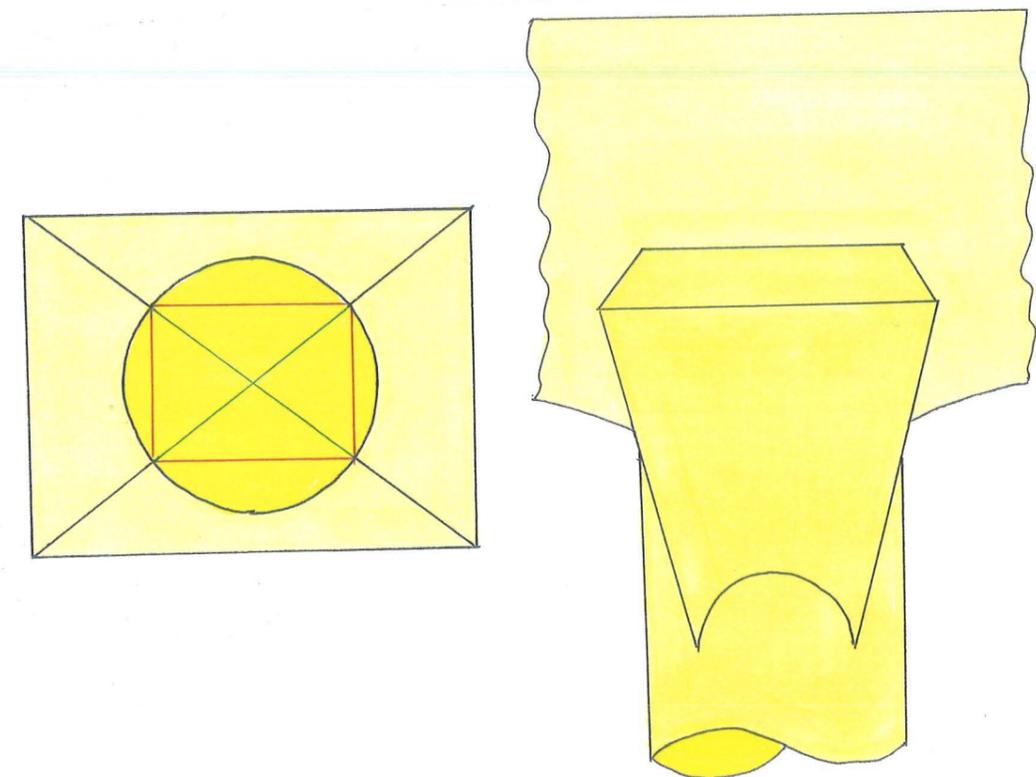
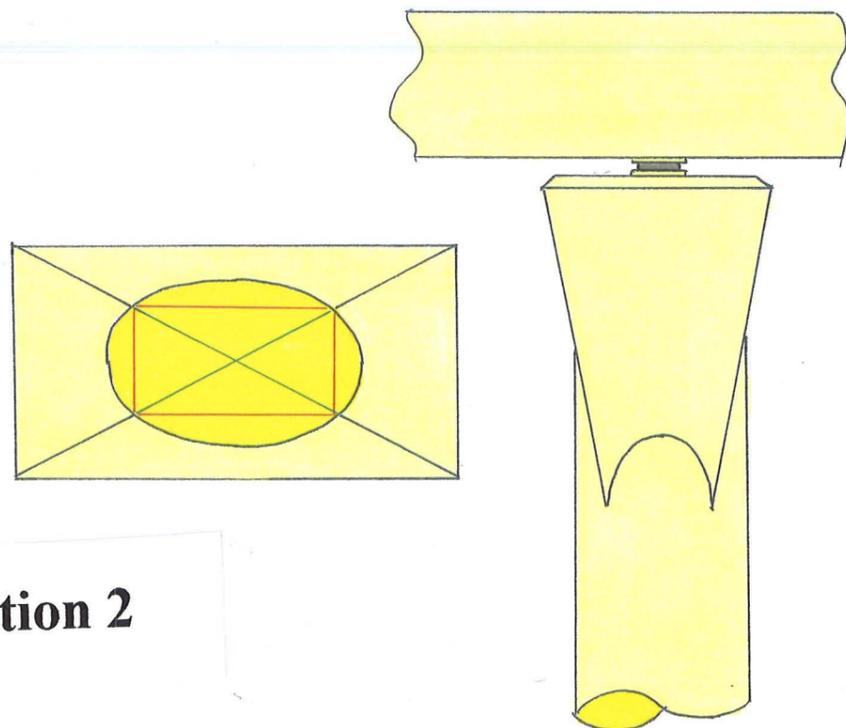
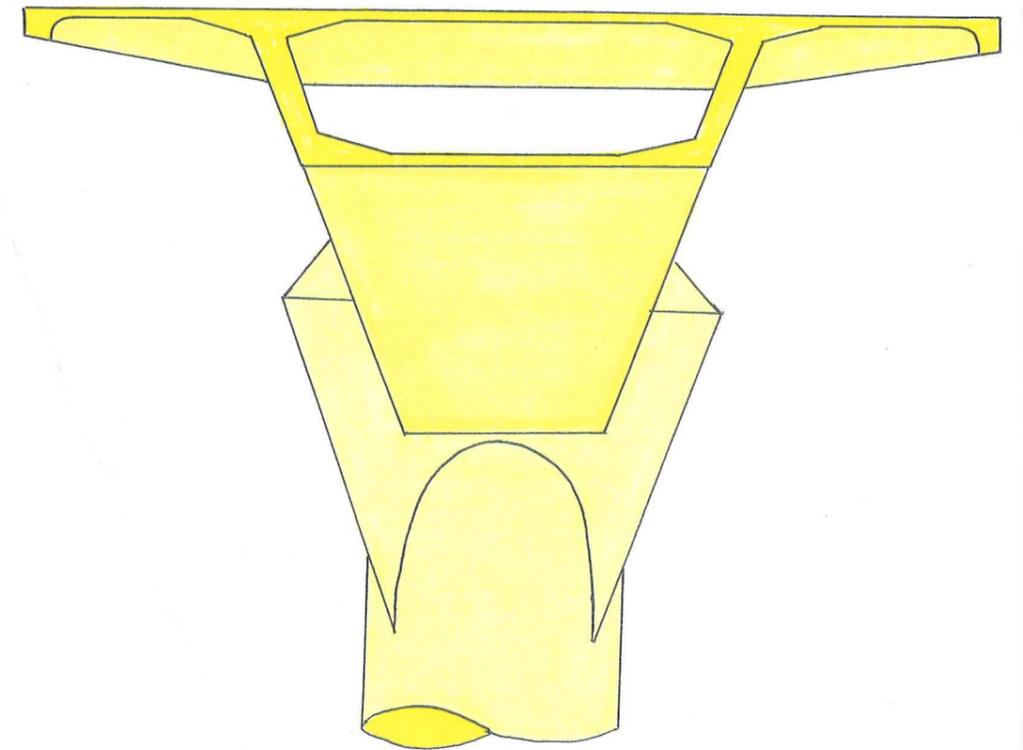
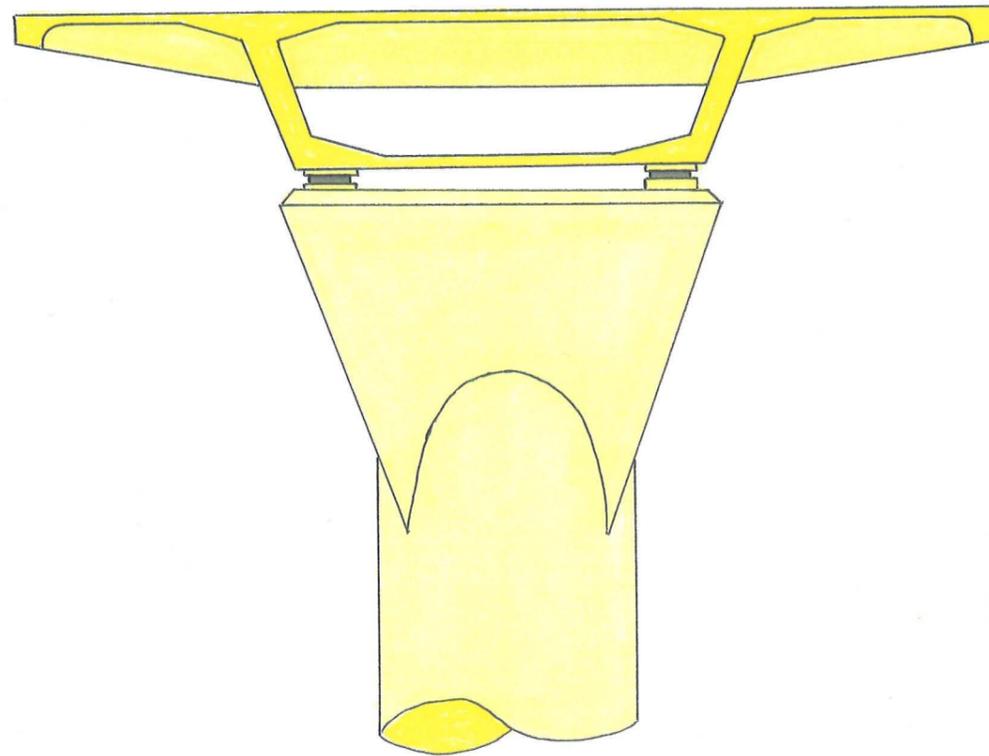
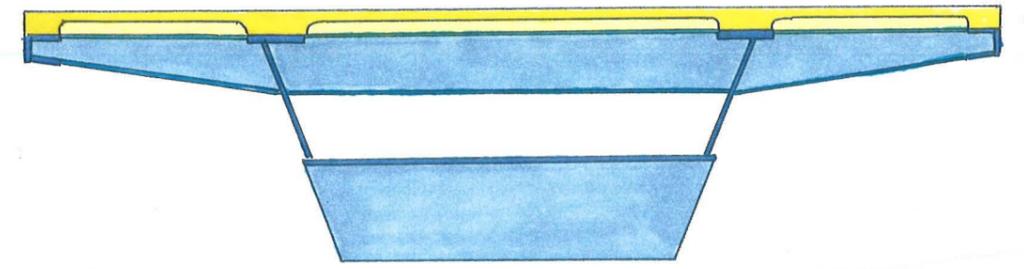
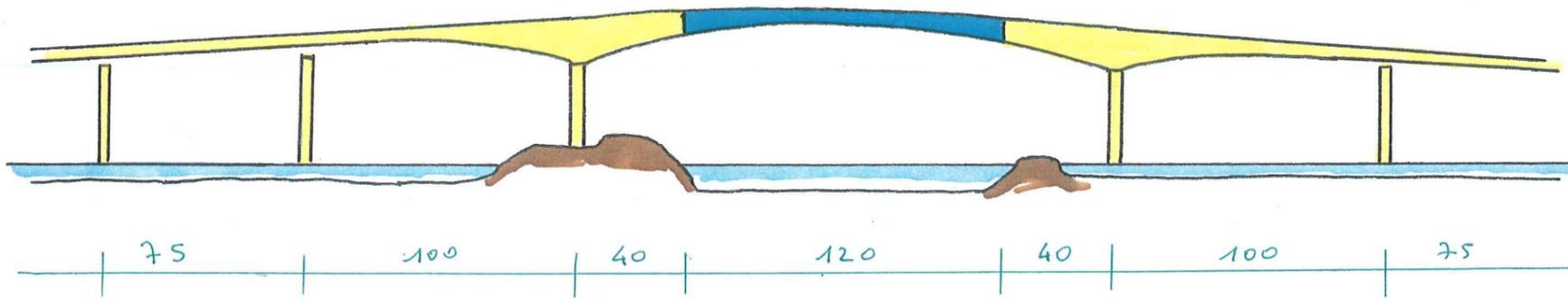
Michel VIRLOGEUX



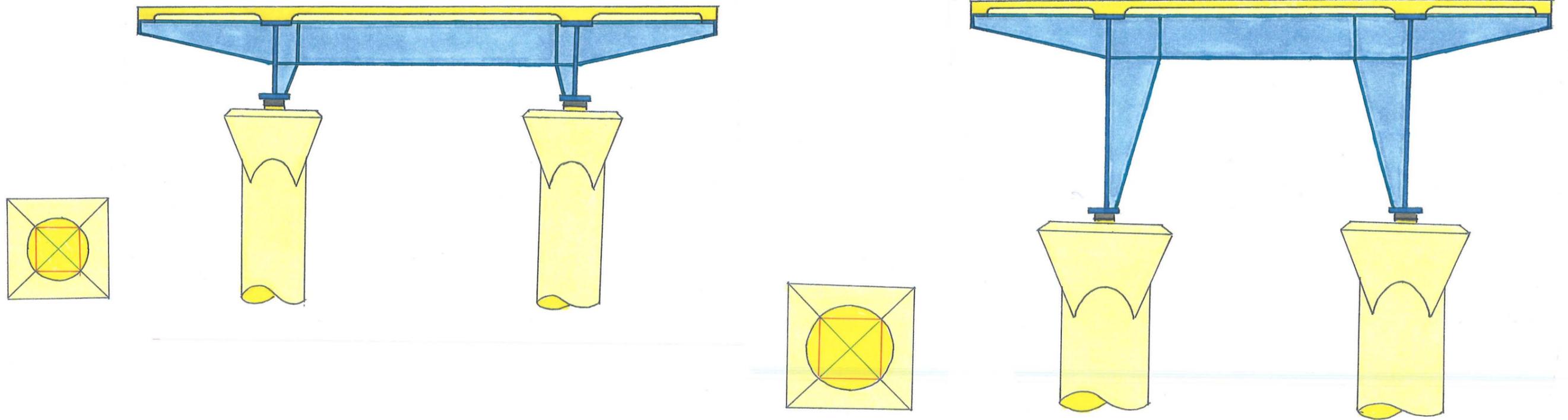
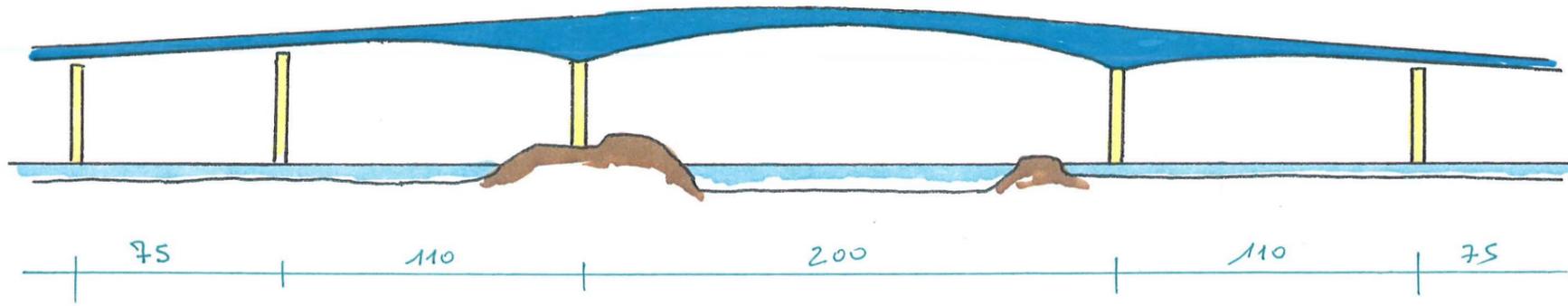
Solution 1A



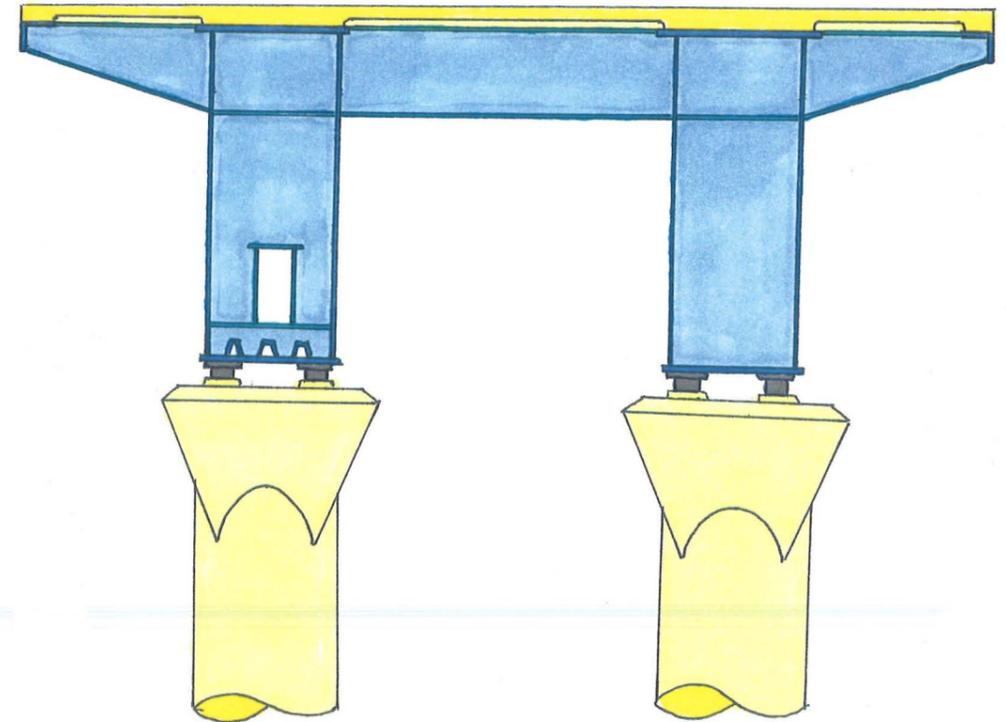
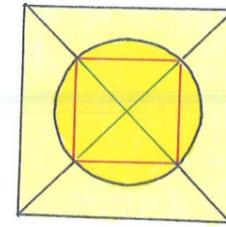
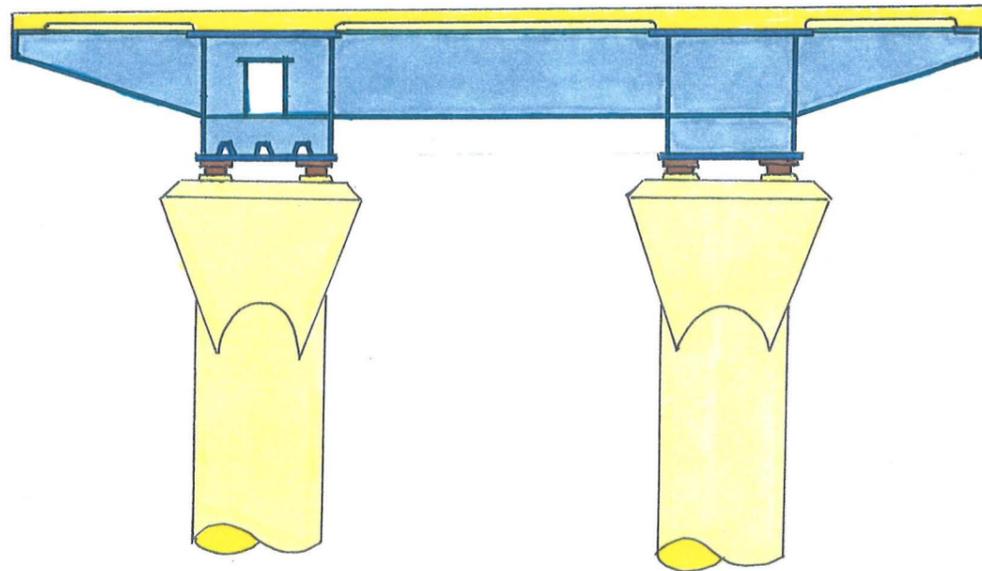
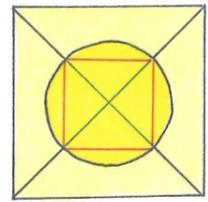
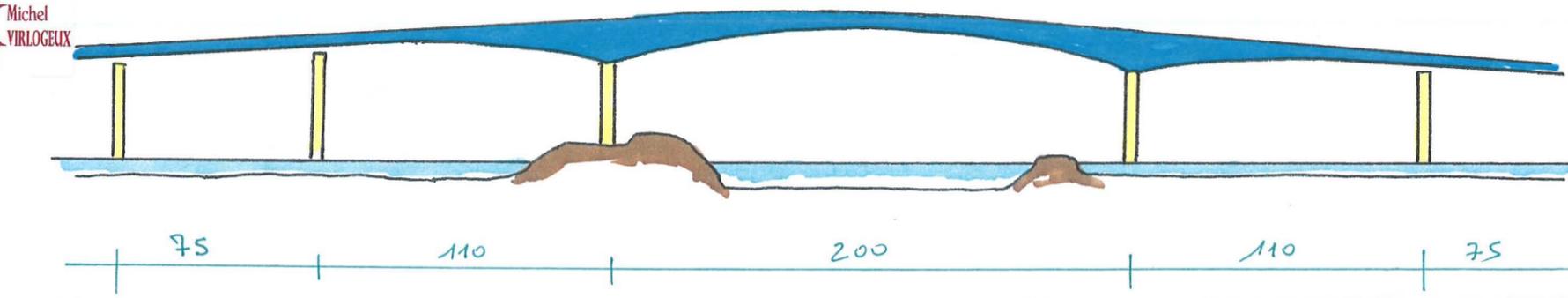
Solution 1B



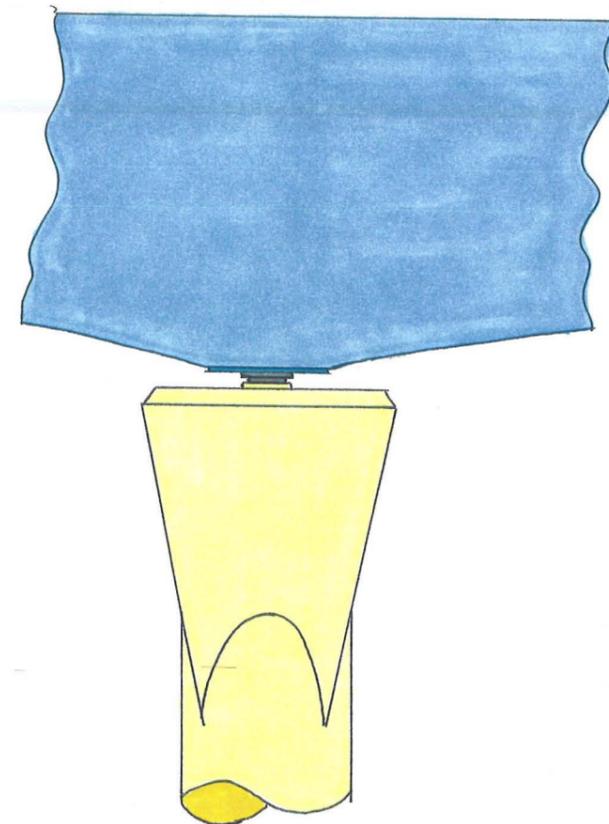
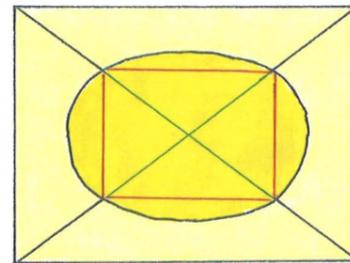
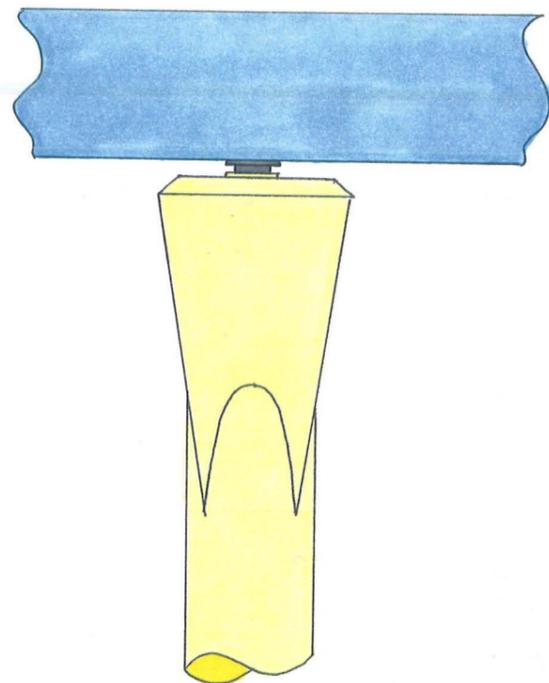
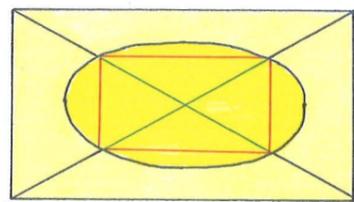
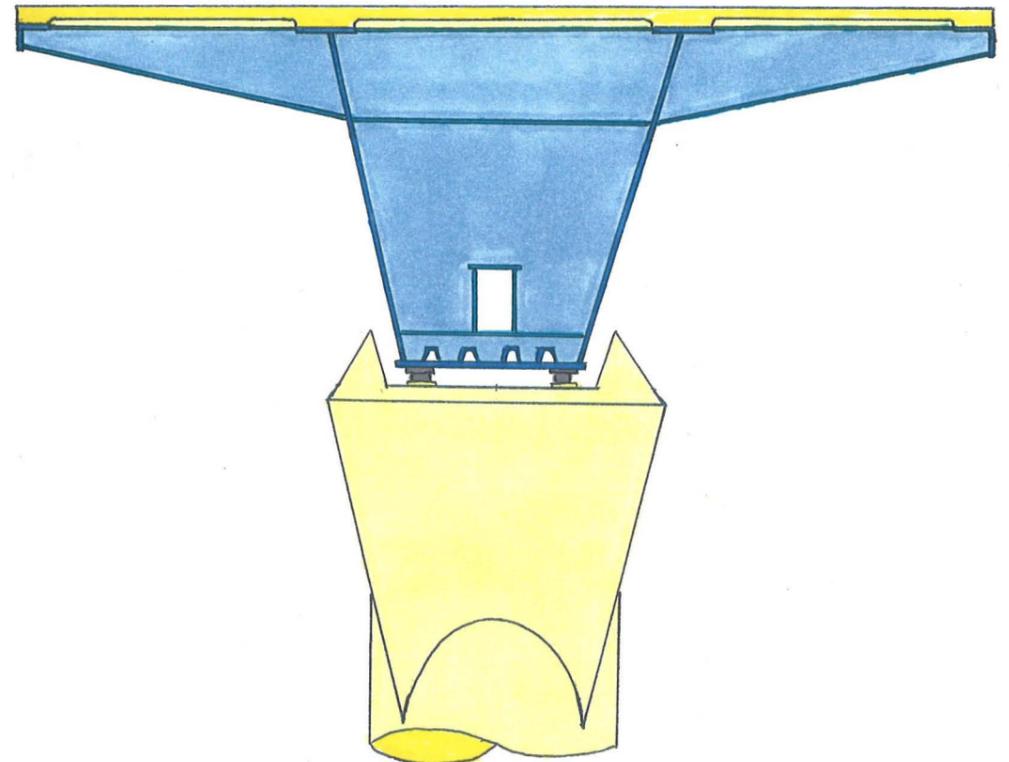
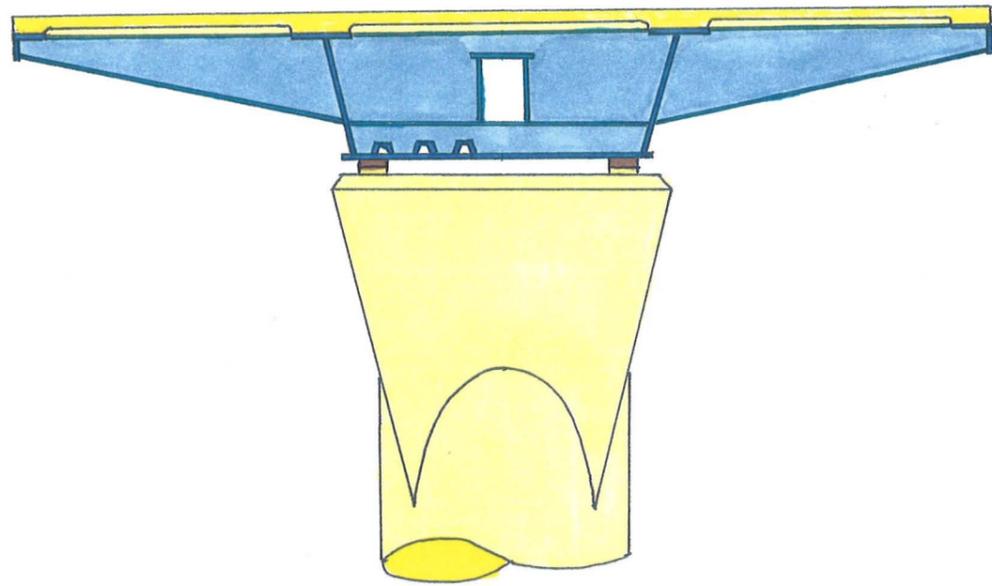
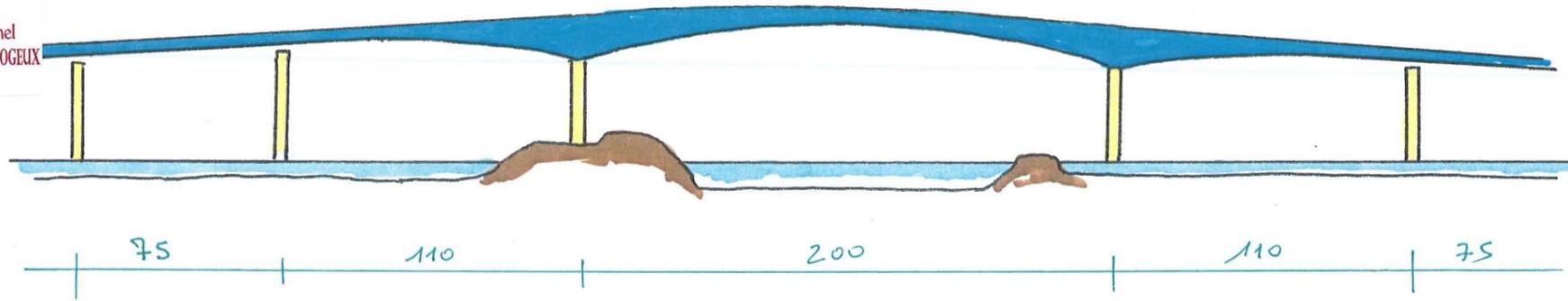
Solution 2



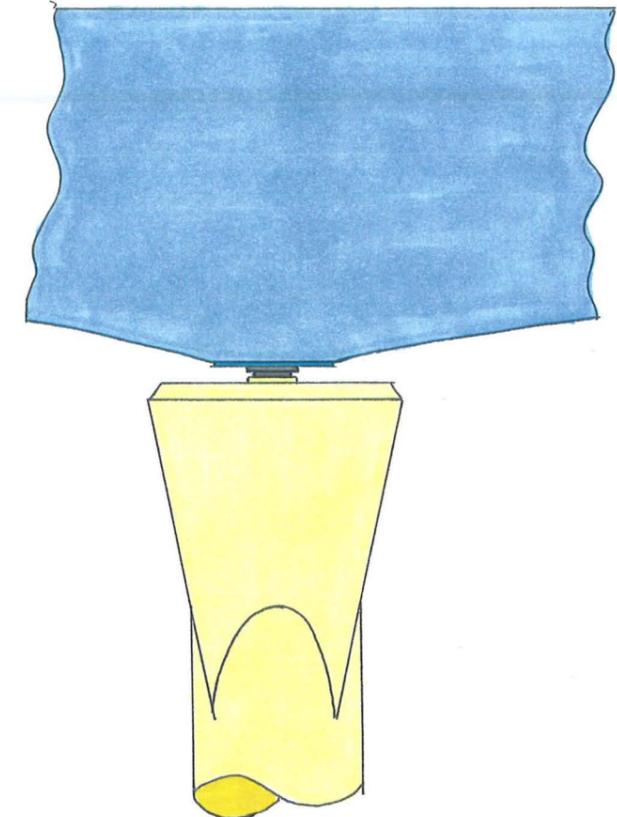
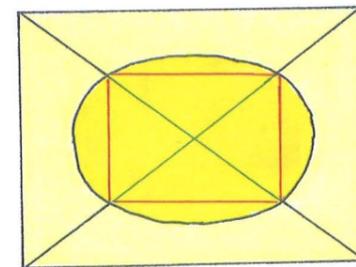
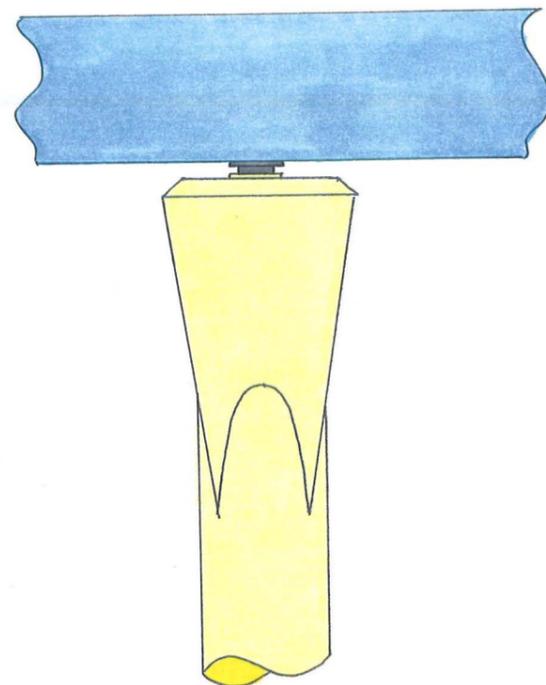
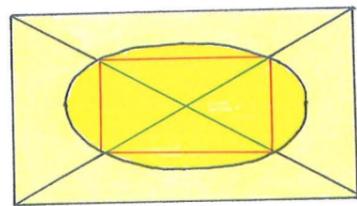
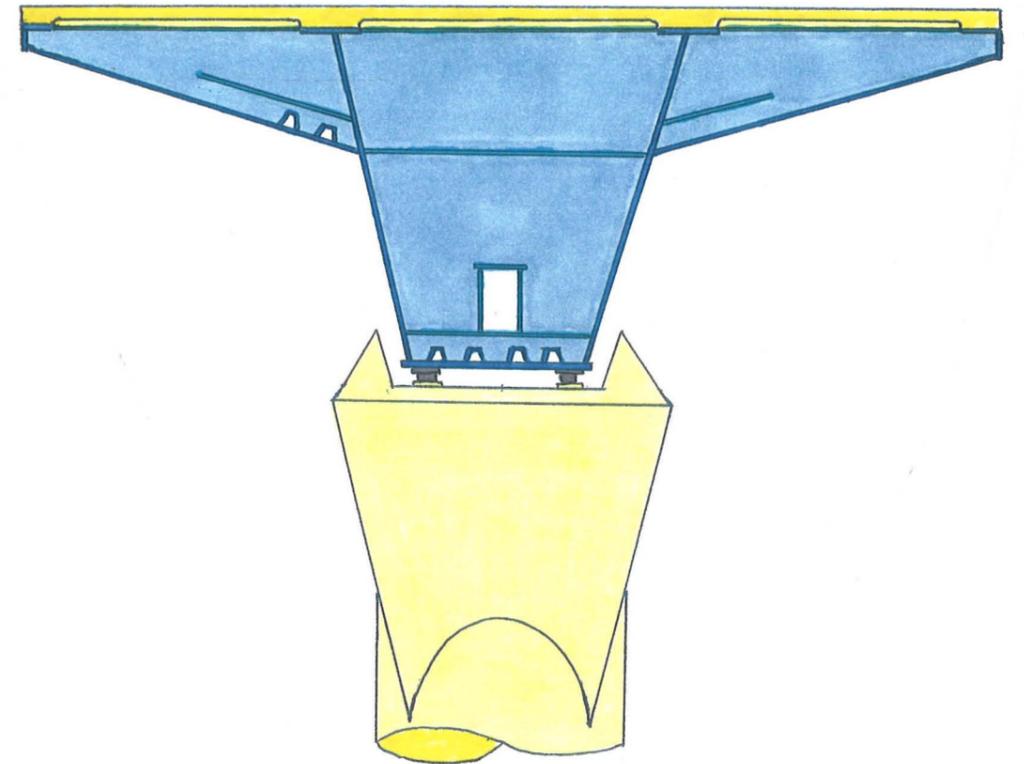
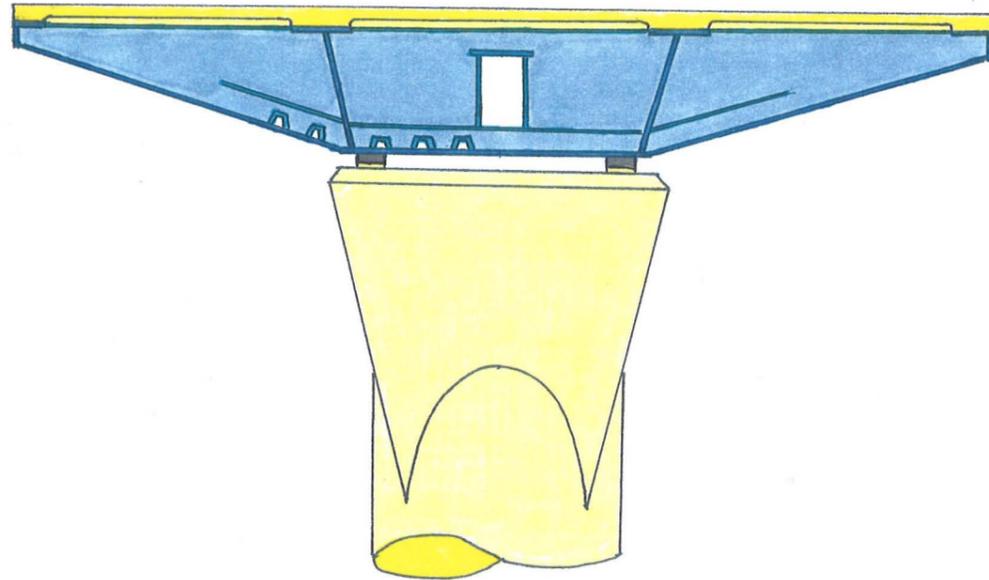
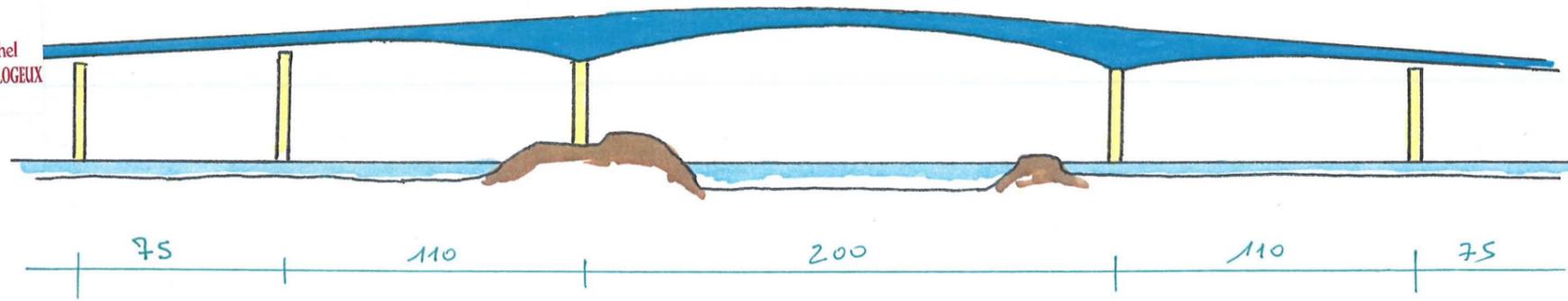
Solution 3A



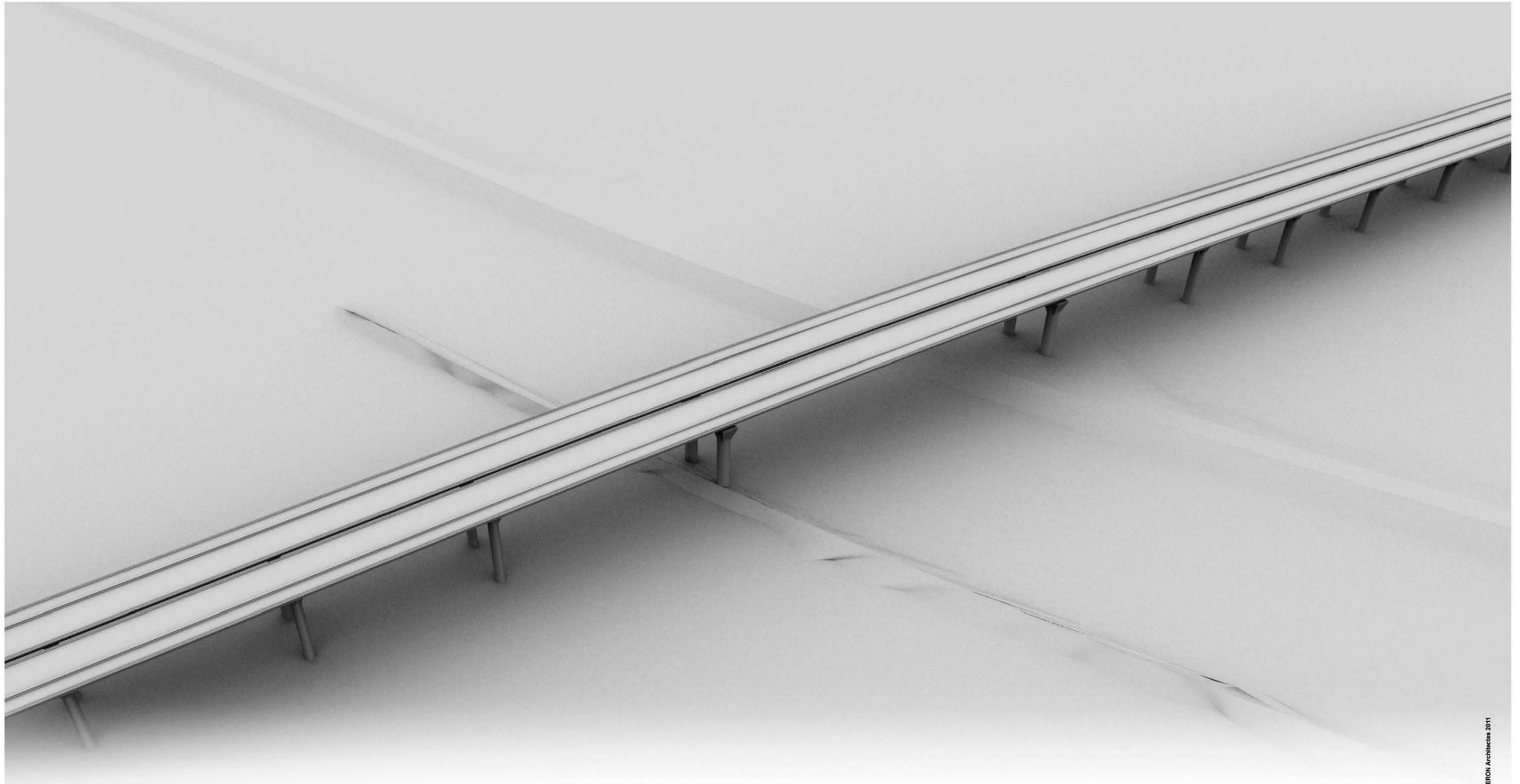
Solution 3B



Solution 3C



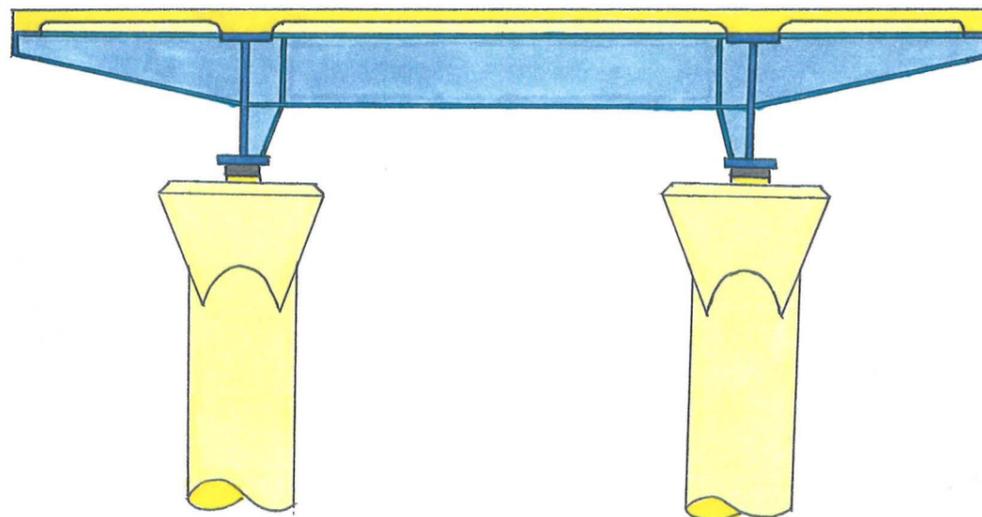
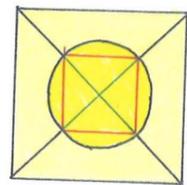
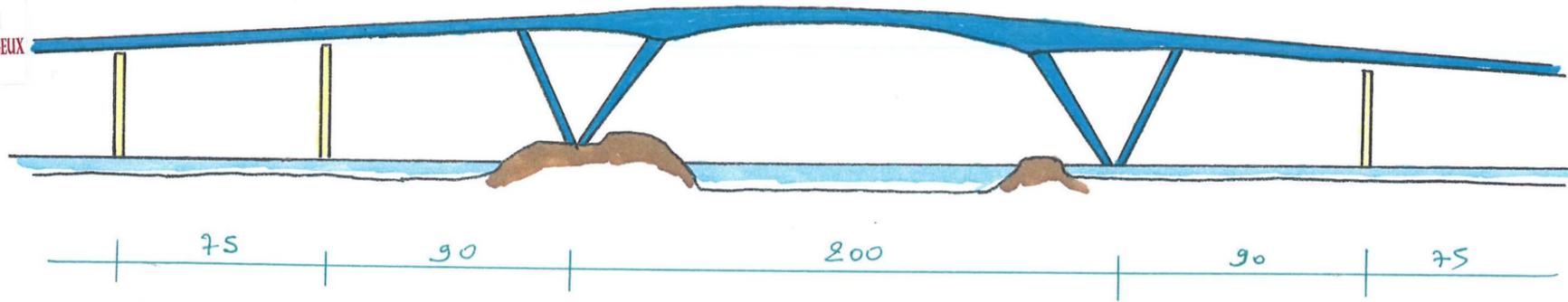
Solution 3D



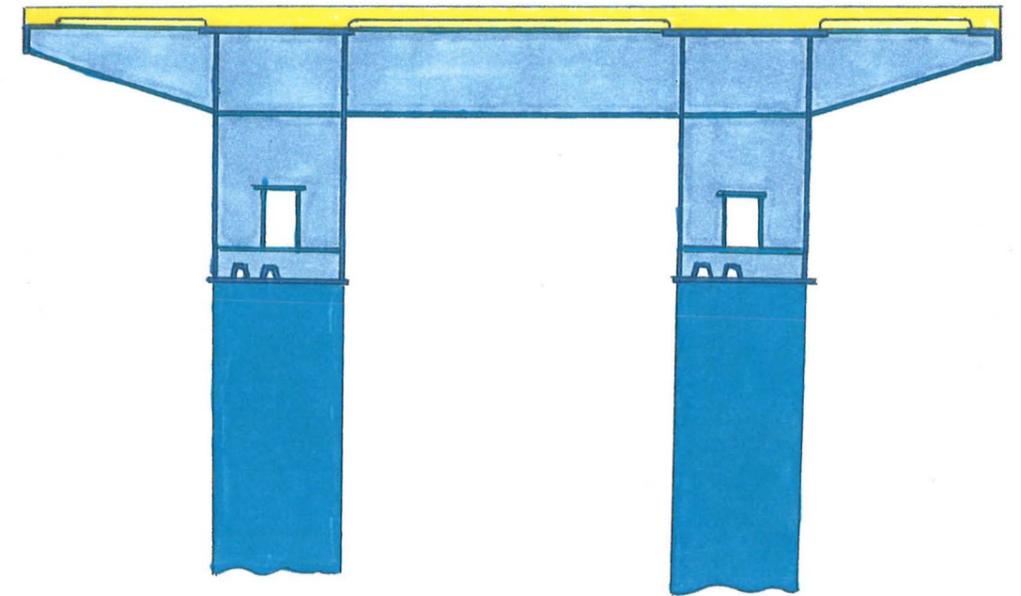
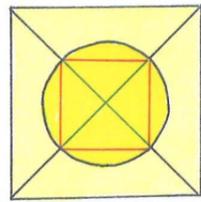
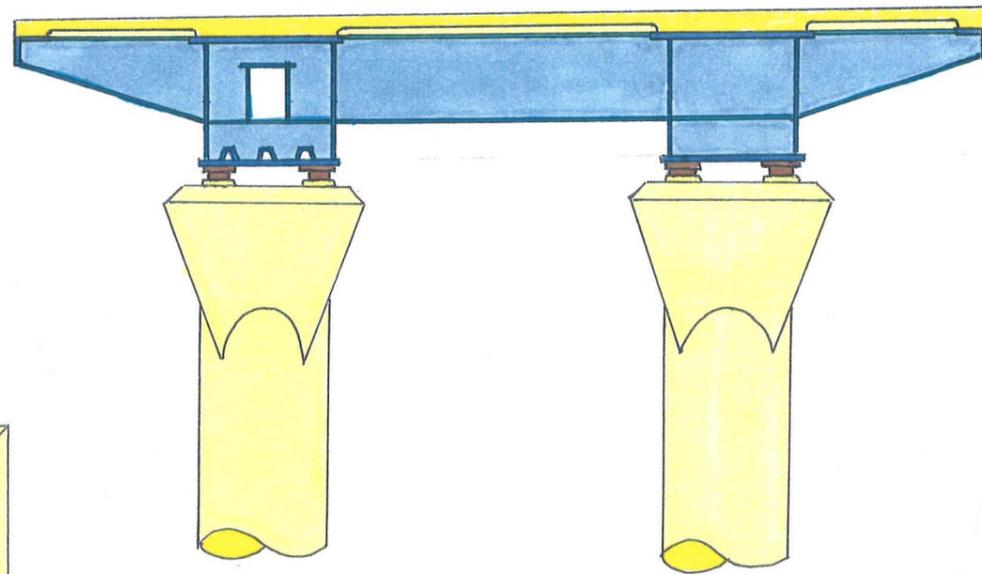
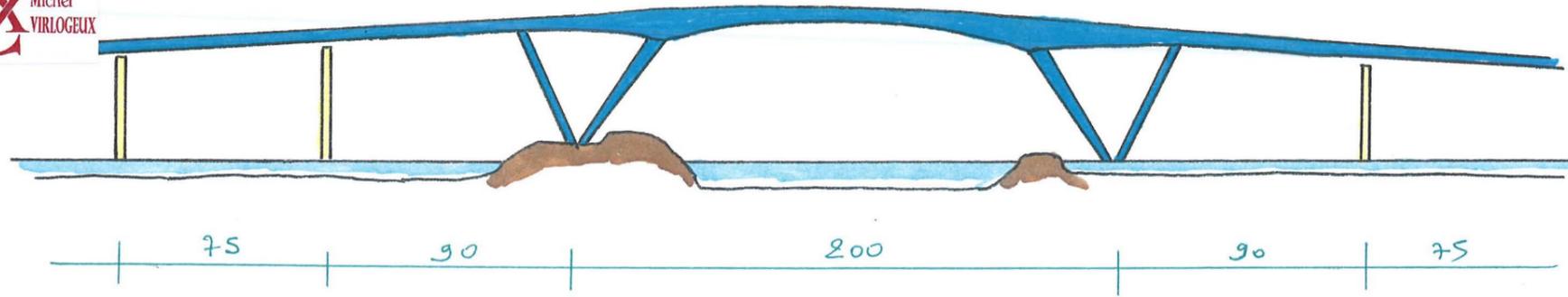
PONT CHAMPLAIN



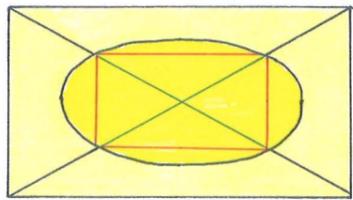
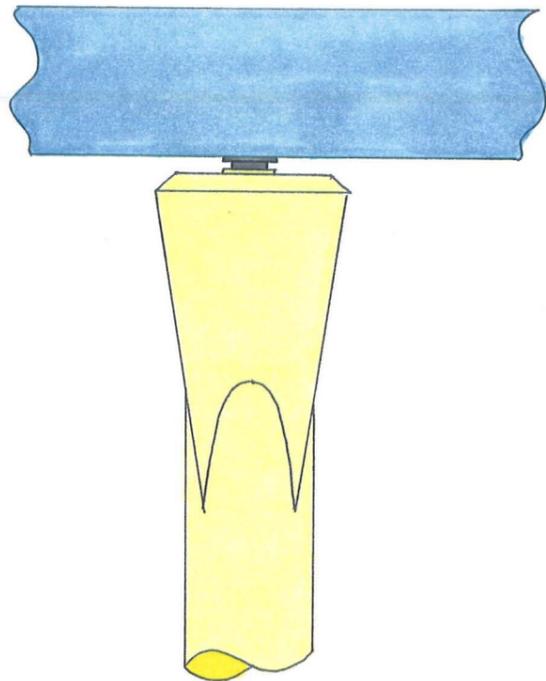
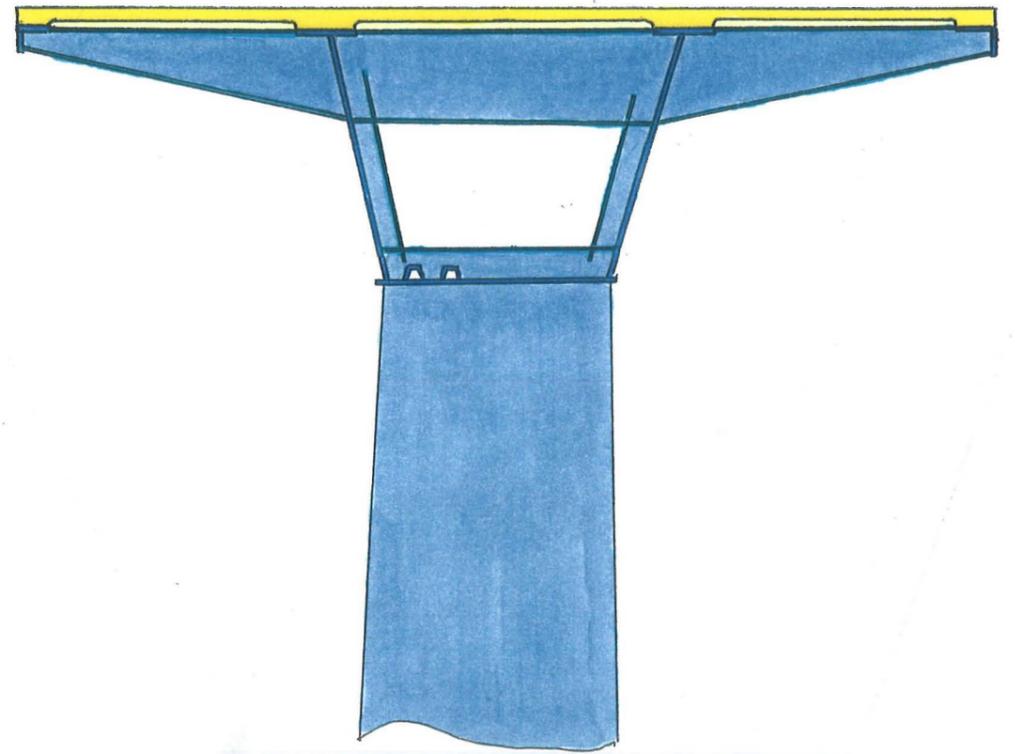
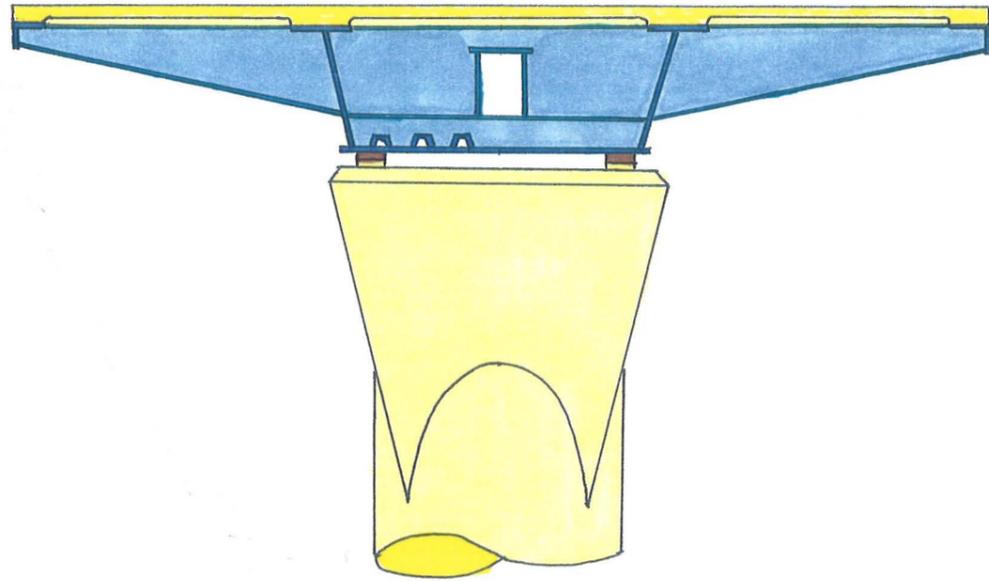
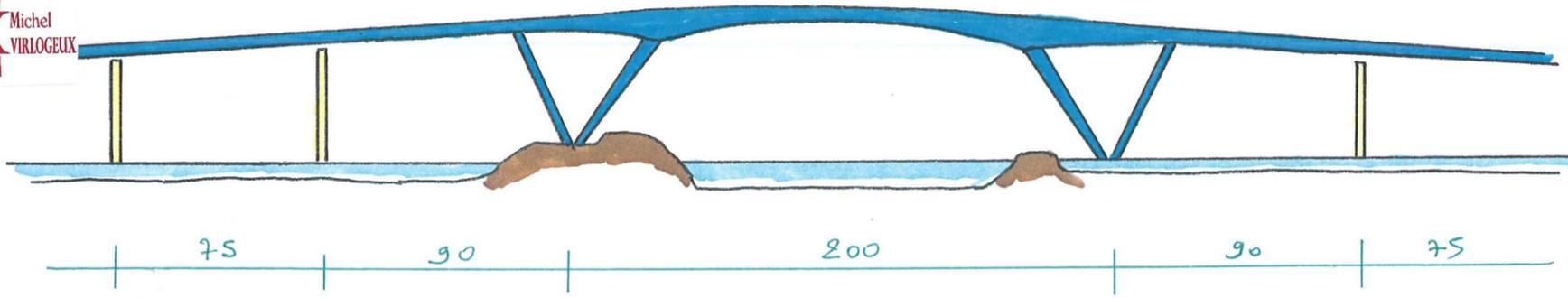
PONT CHAMPLAIN



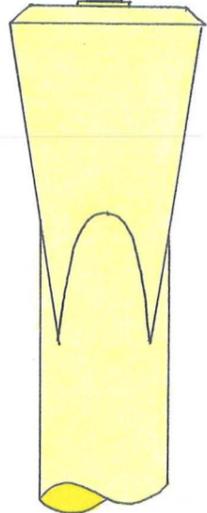
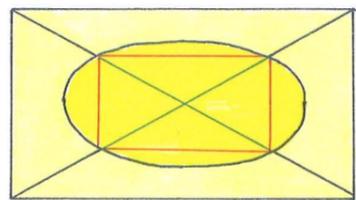
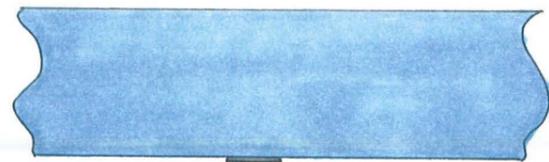
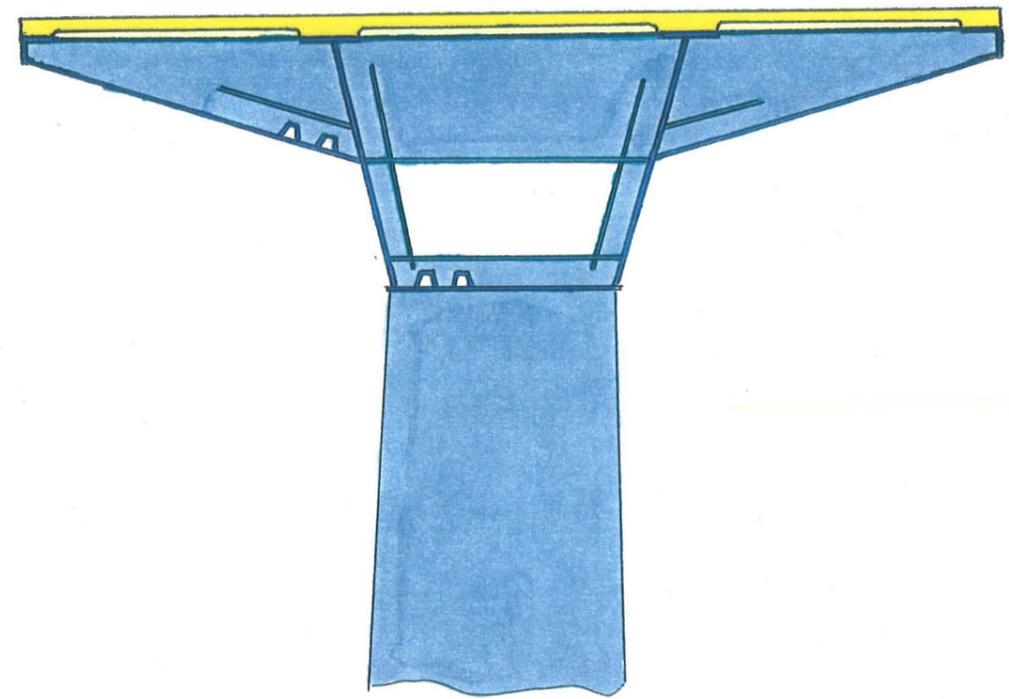
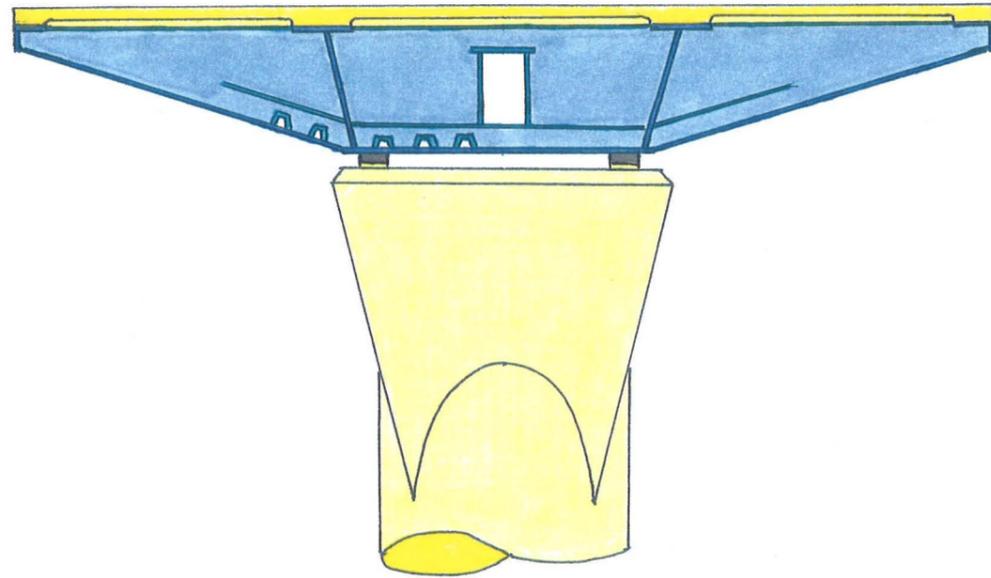
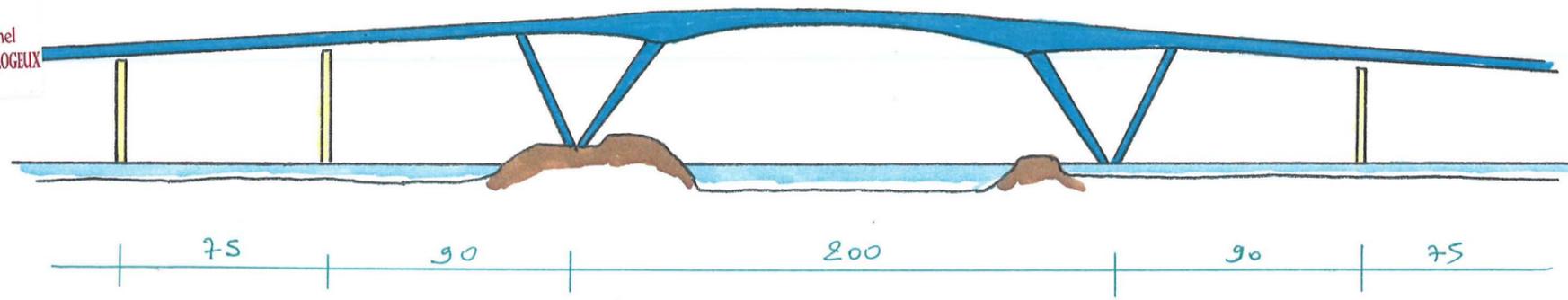
Solution 4A



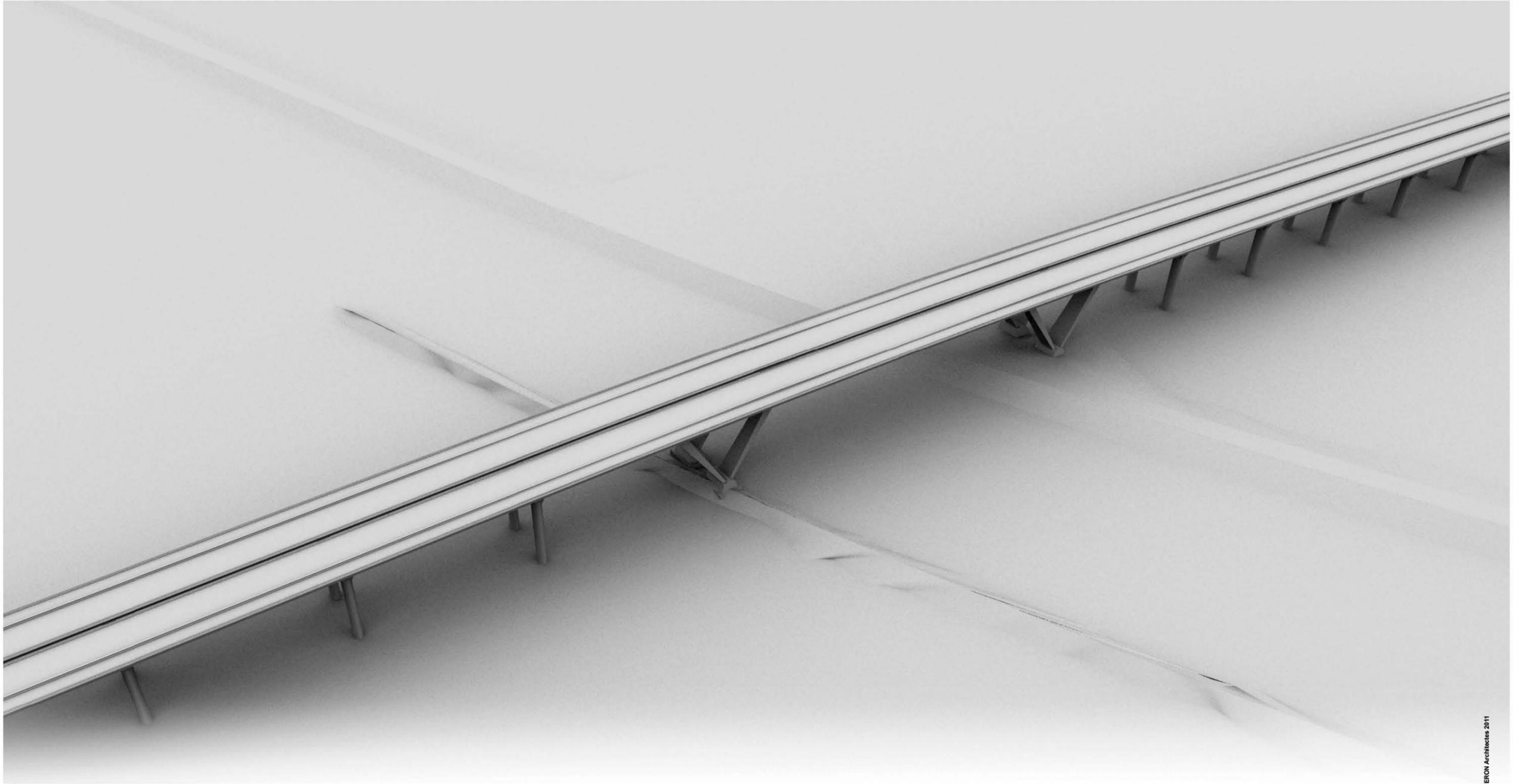
Solution 4B



Solution 4C



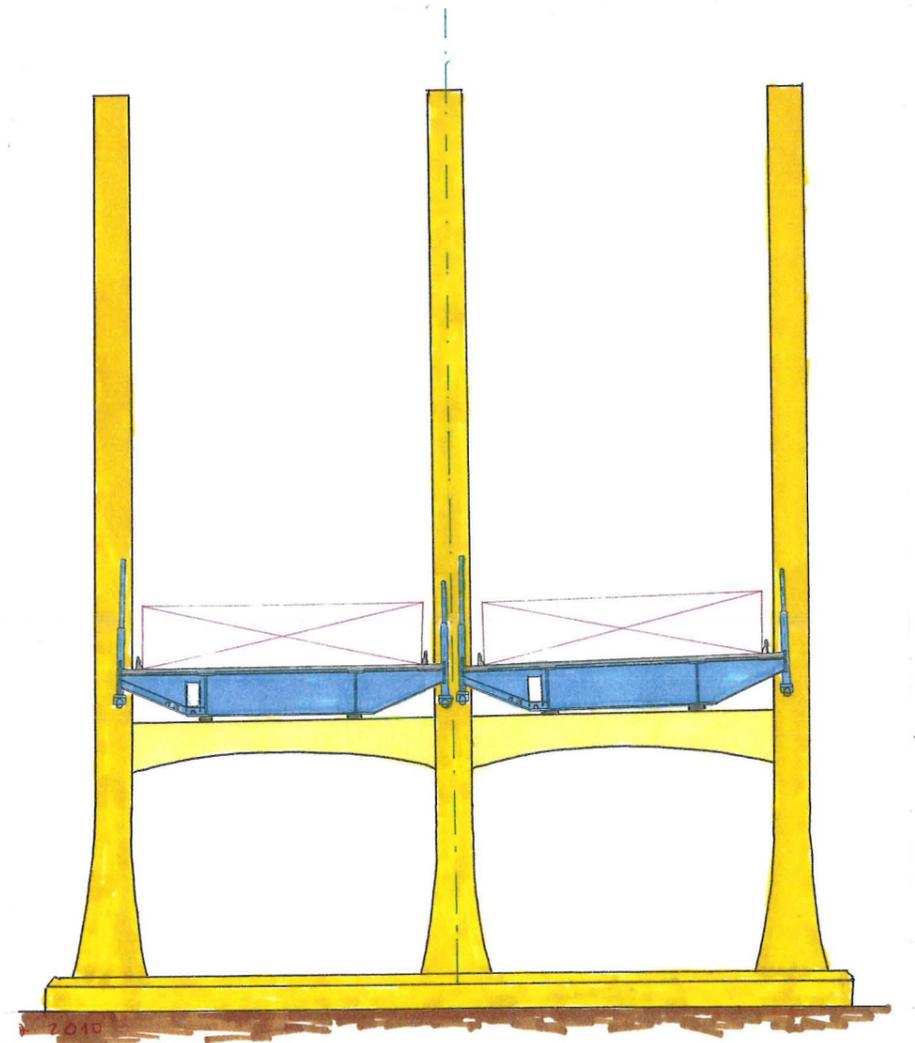
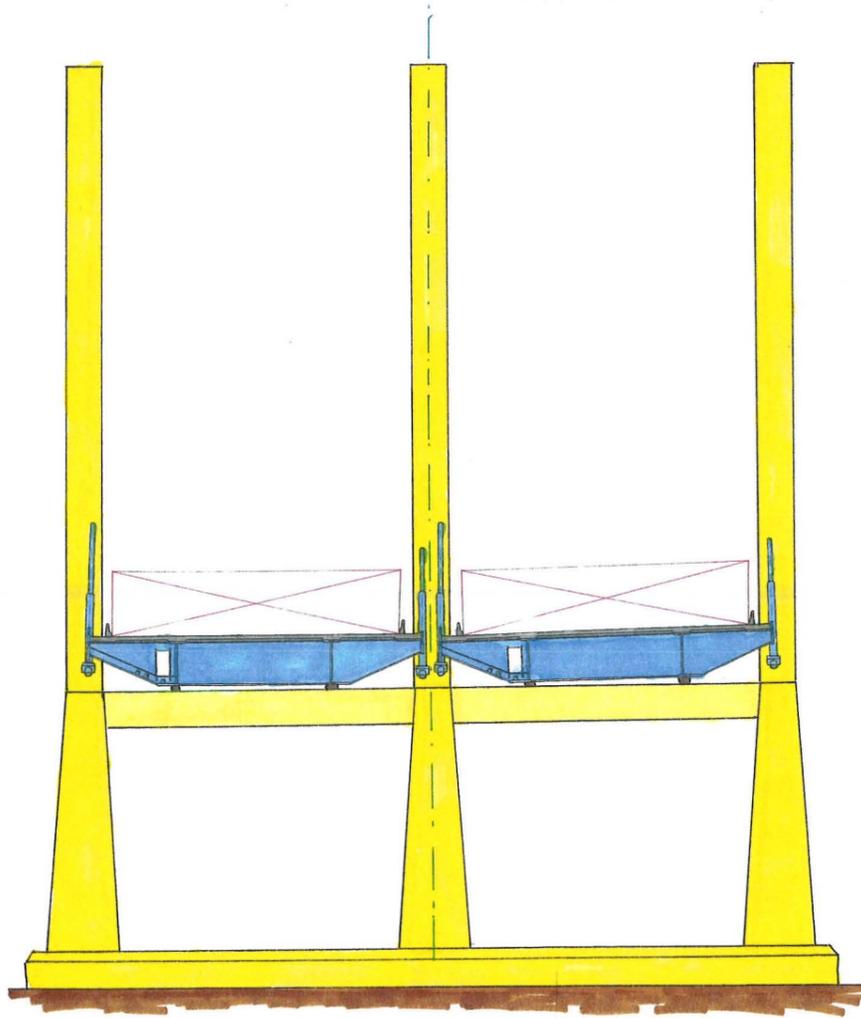
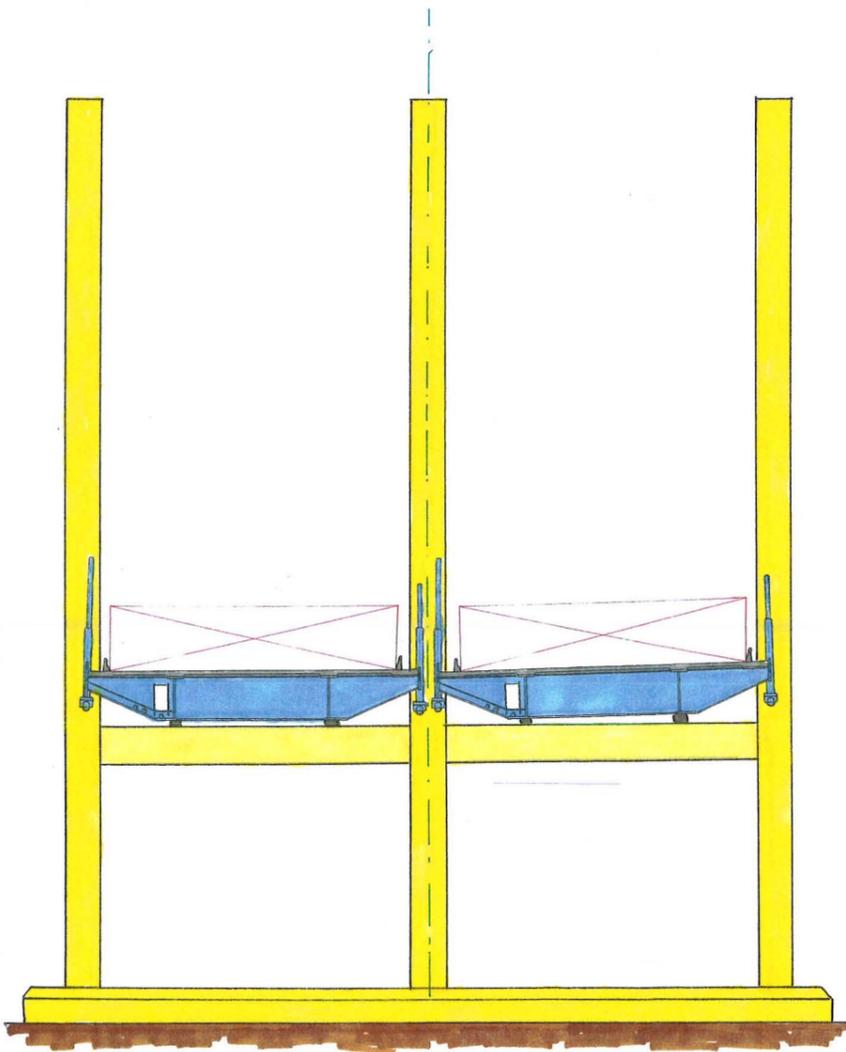
Solution 4D

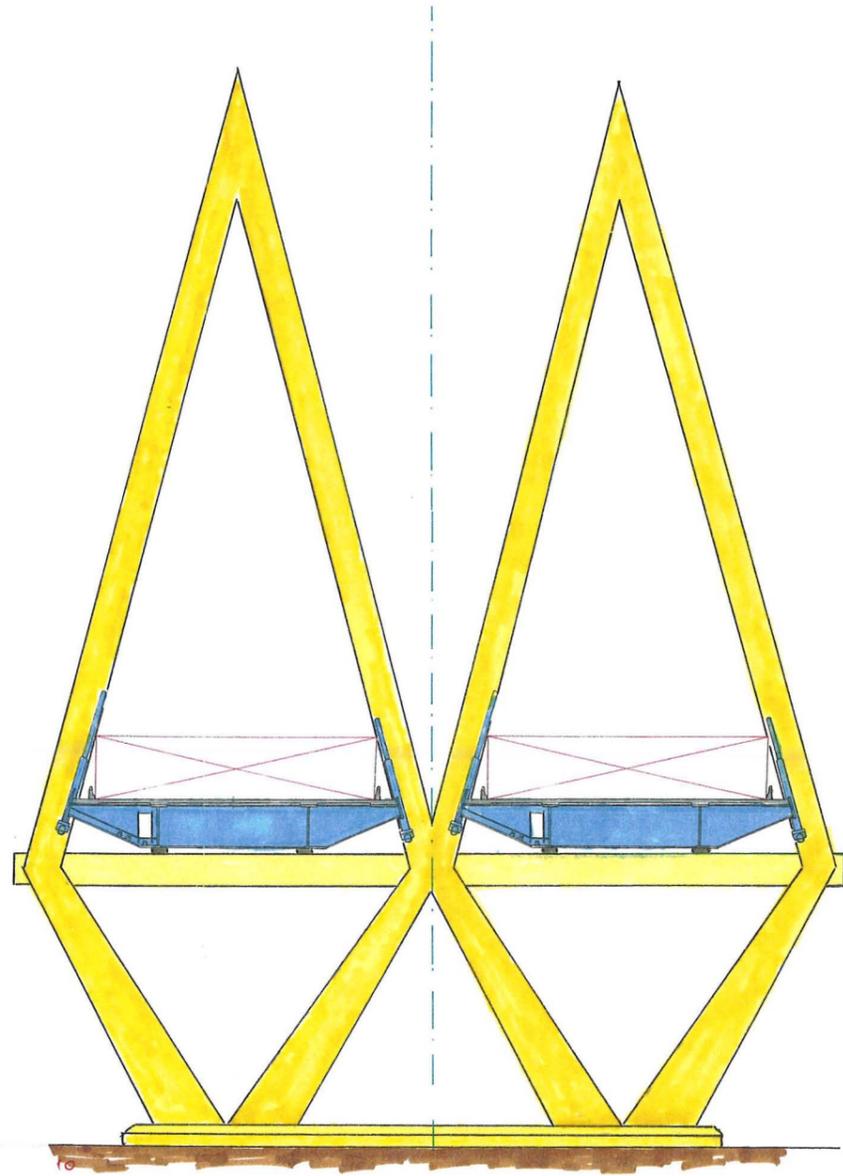


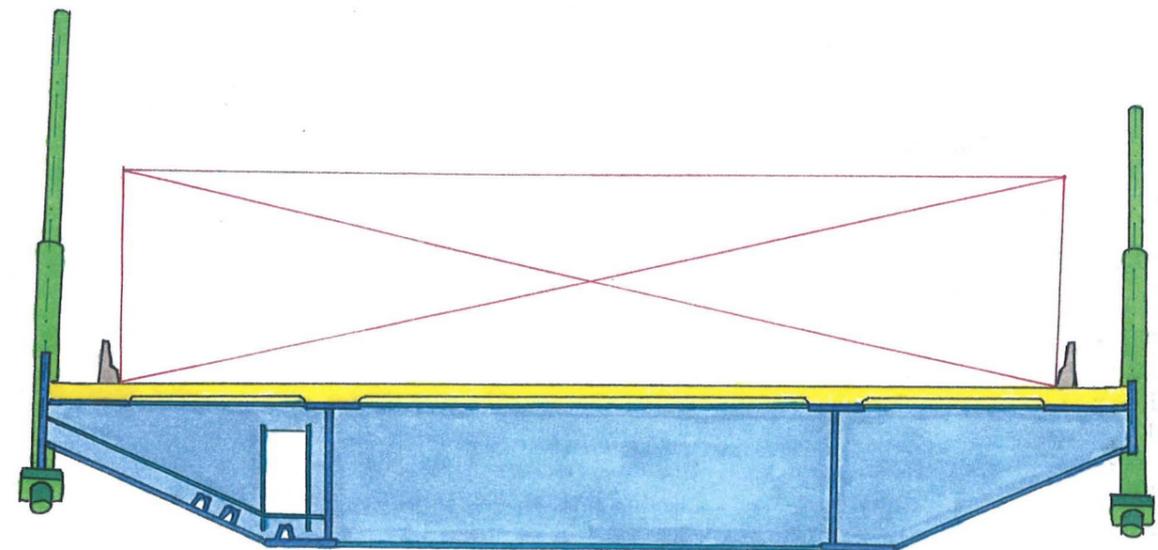
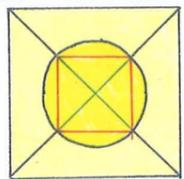
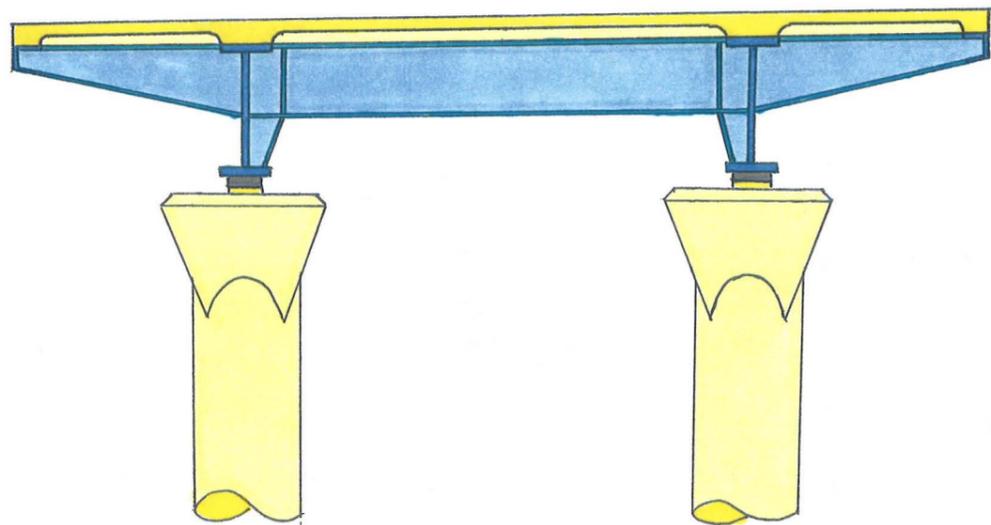
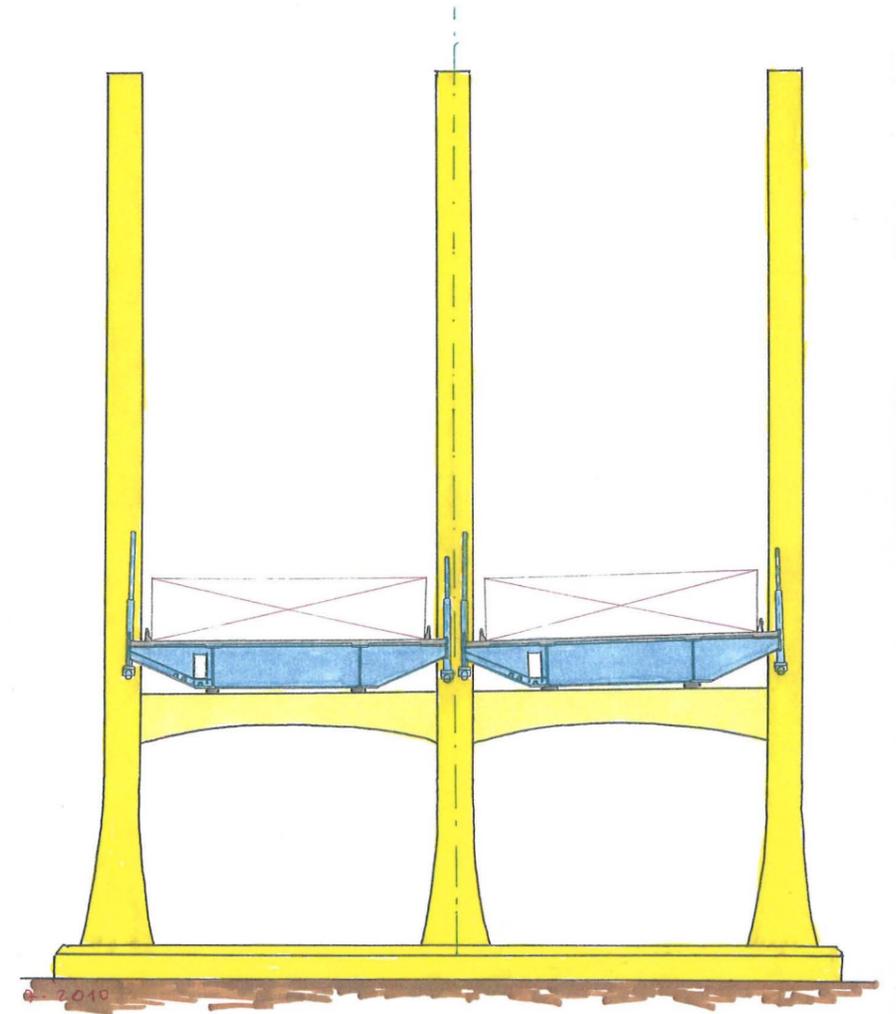
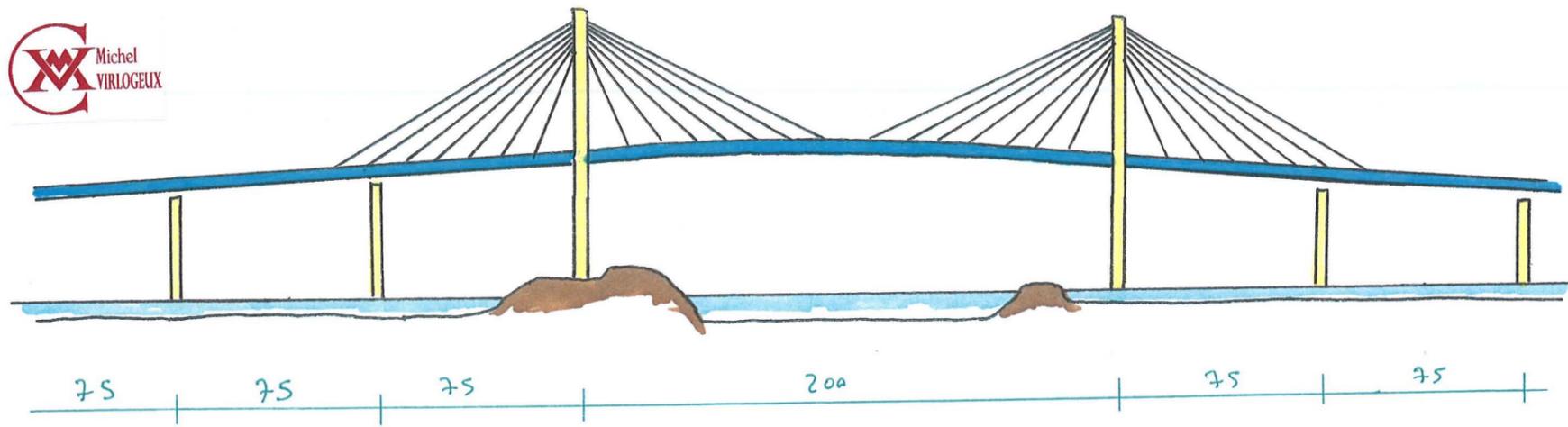
PONT CHAMPLAIN



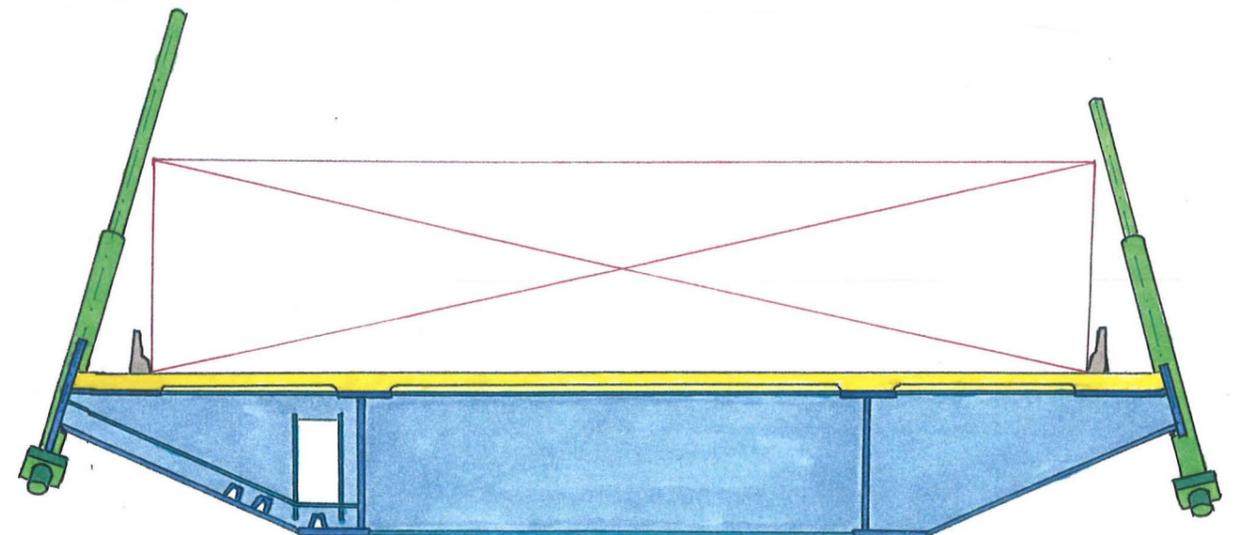
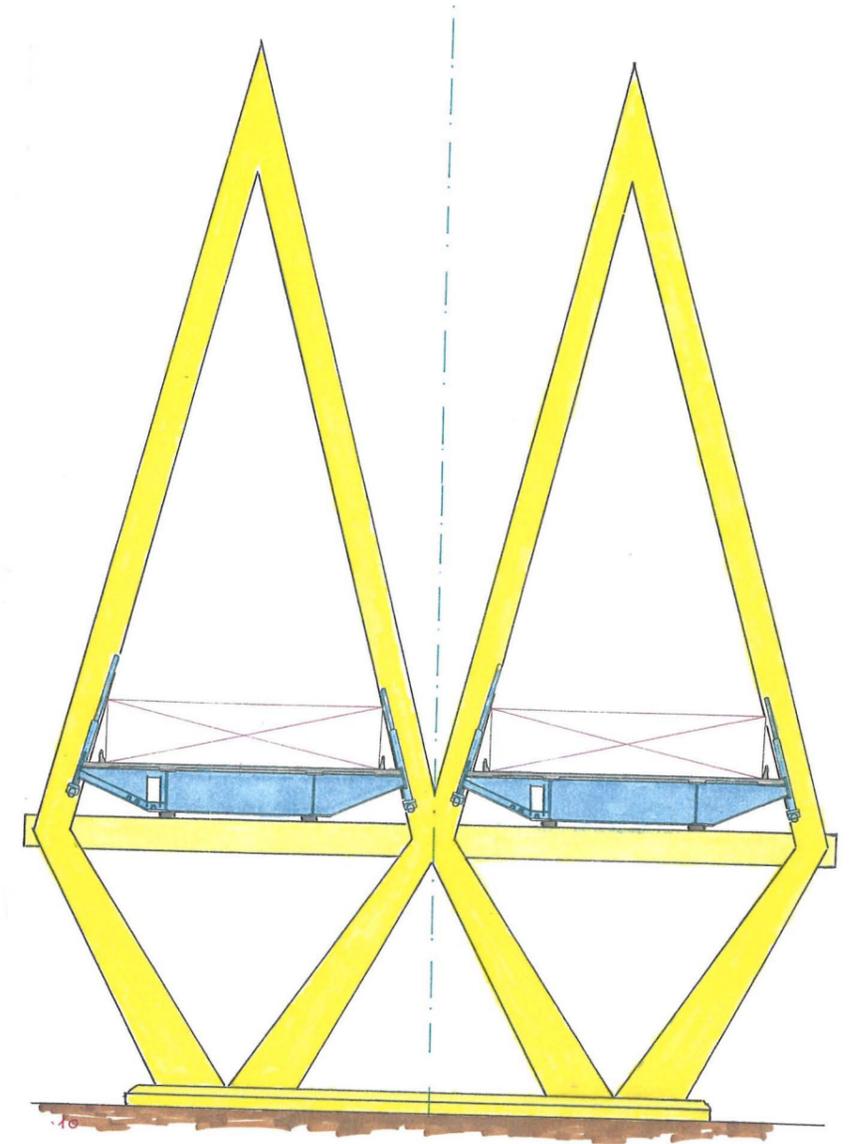
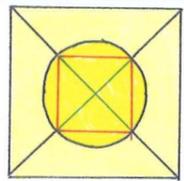
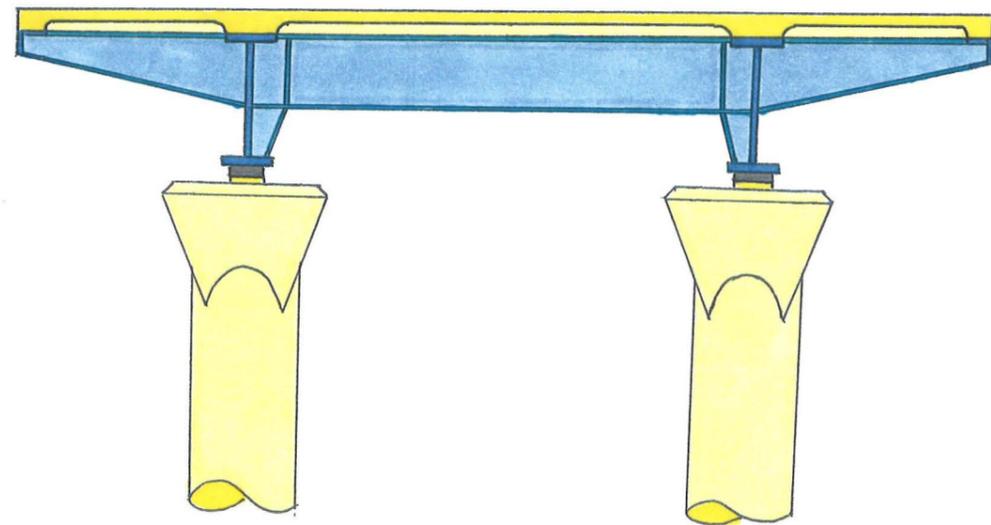
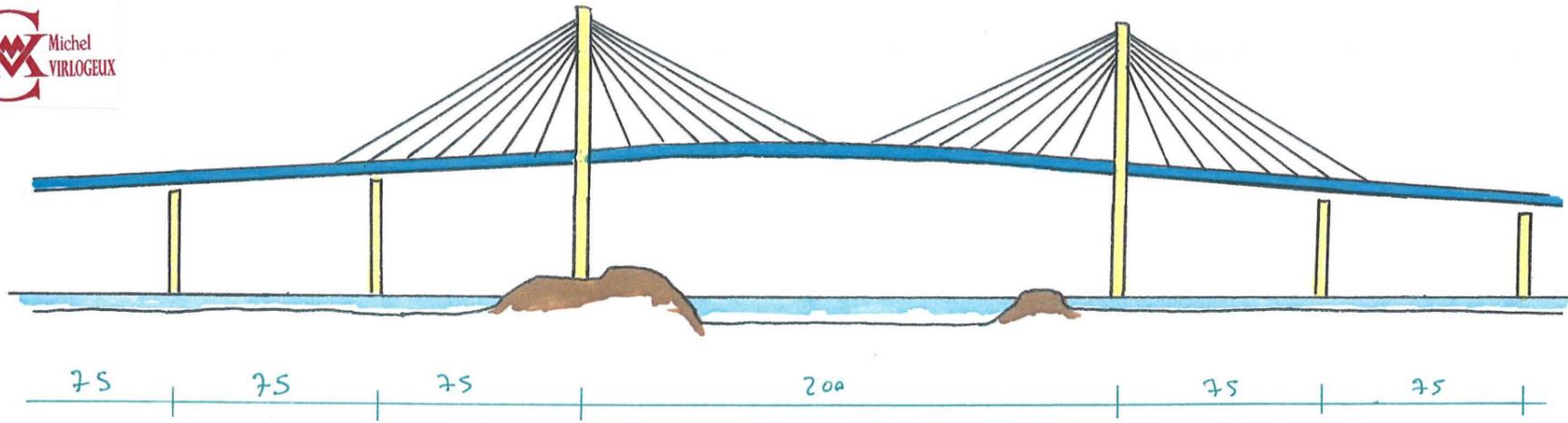
PONT CHAMPLAIN



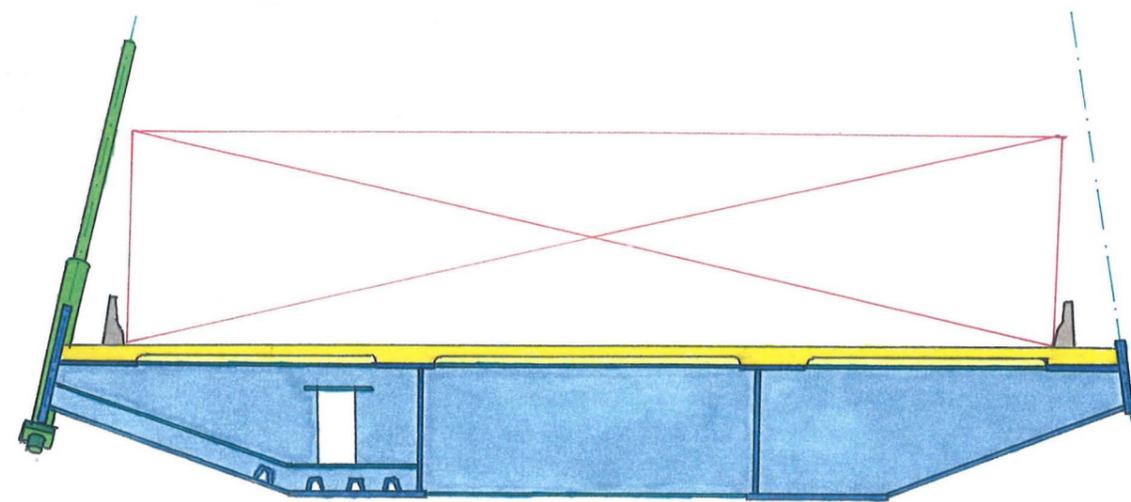
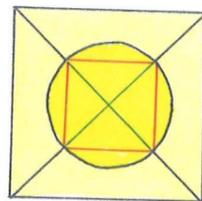
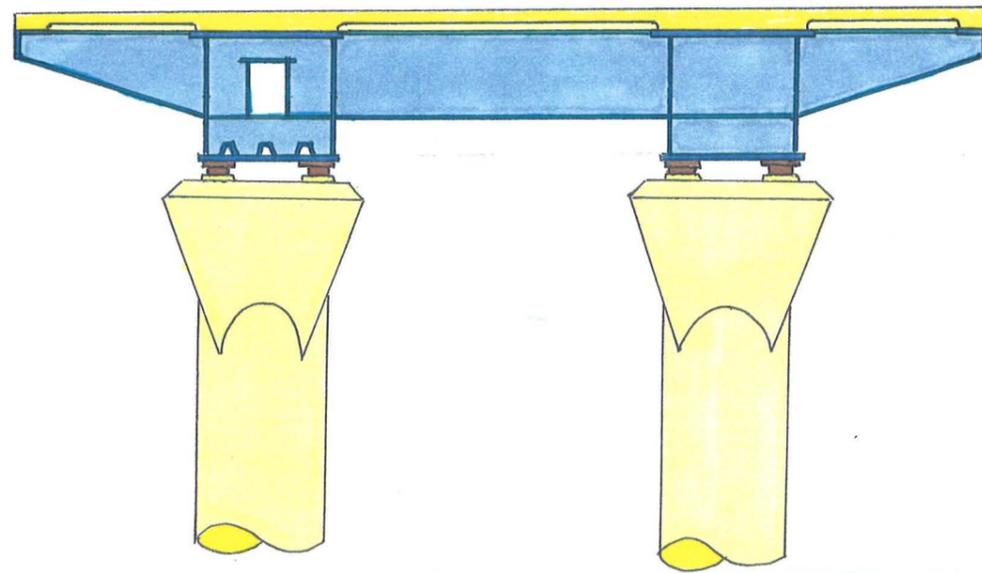
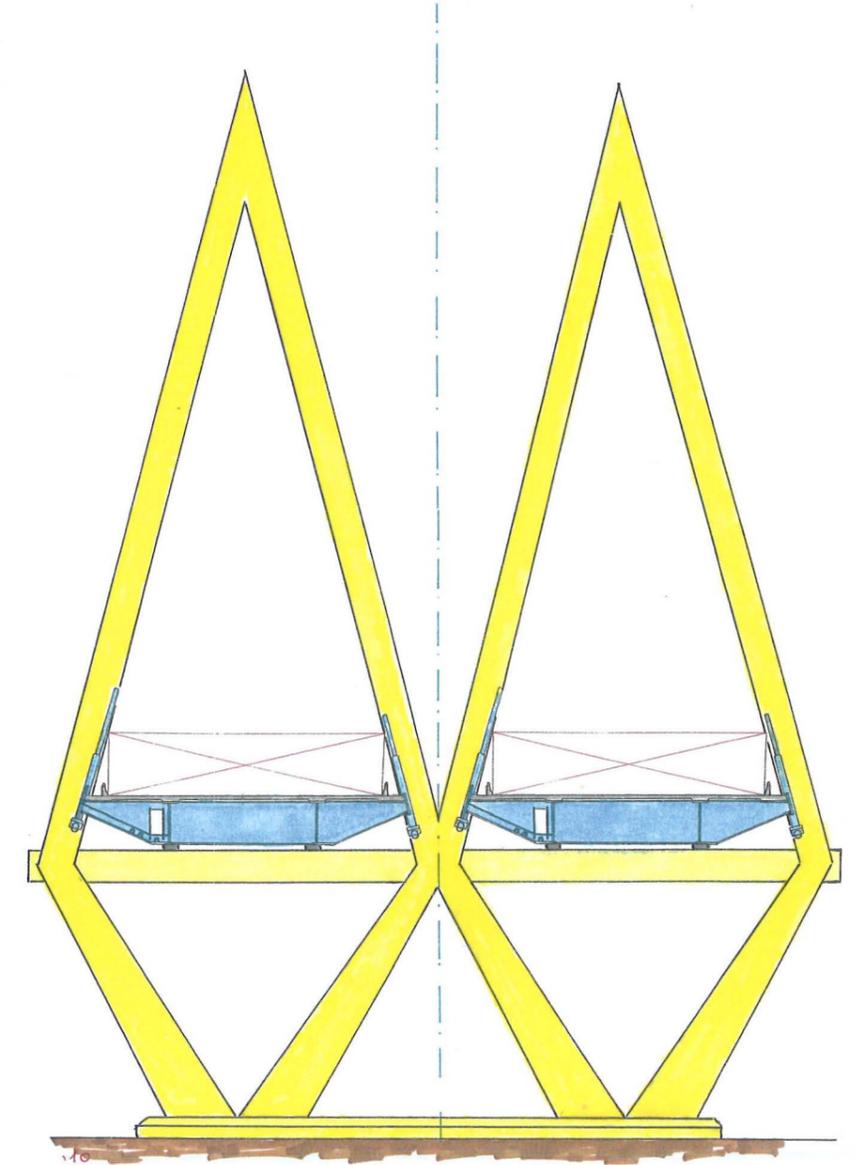
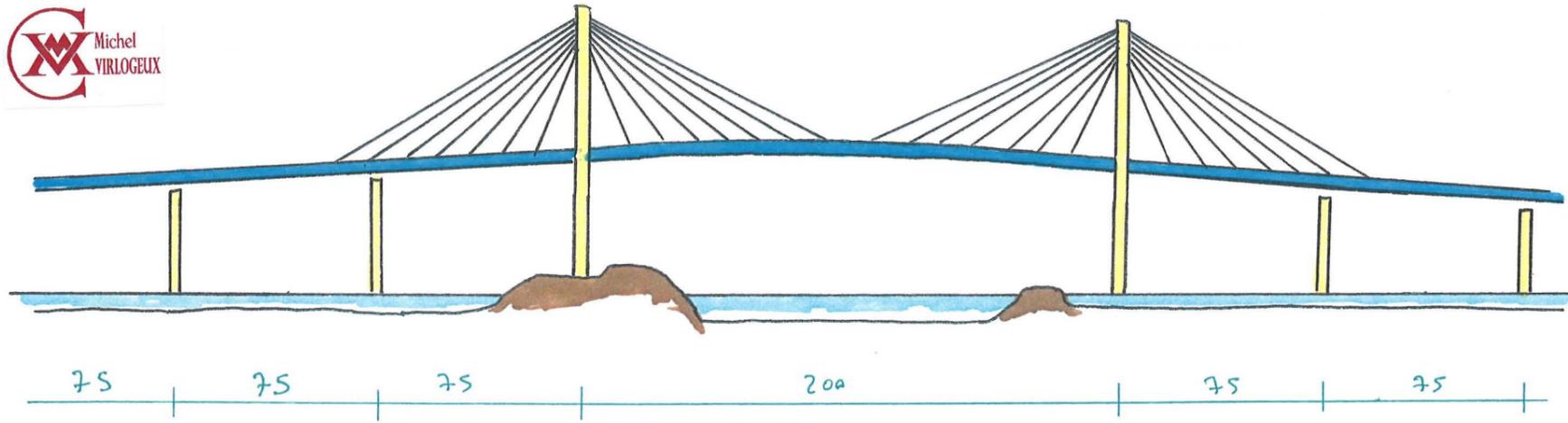




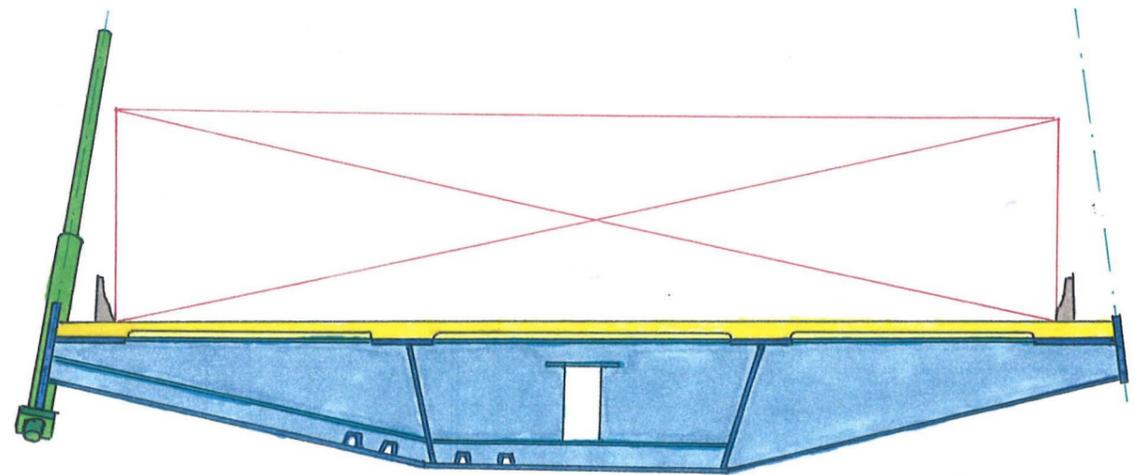
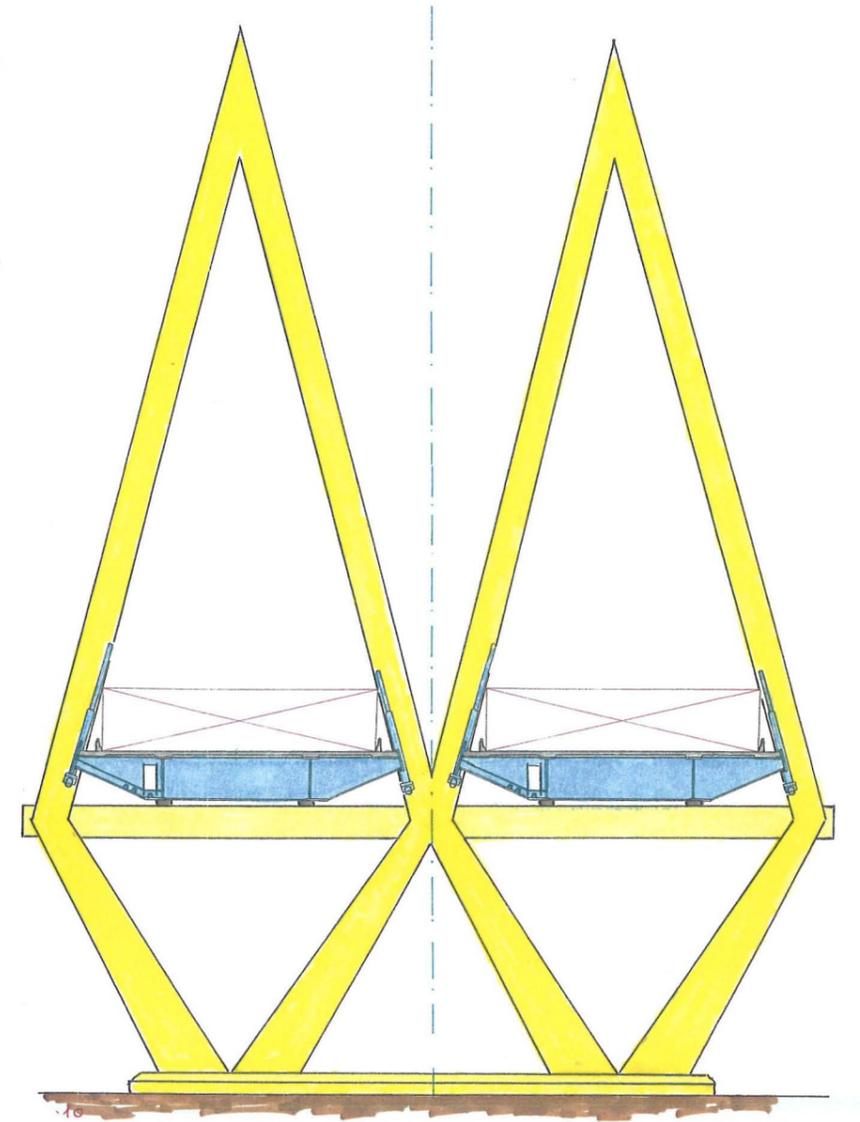
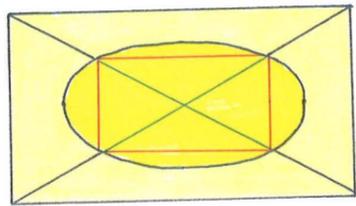
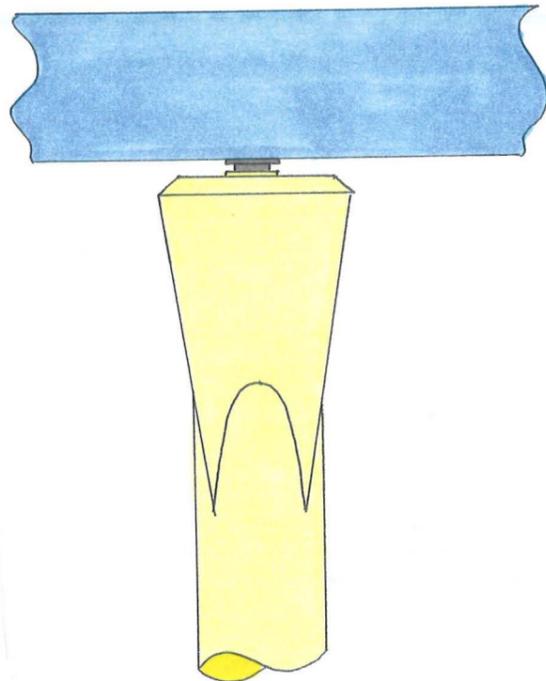
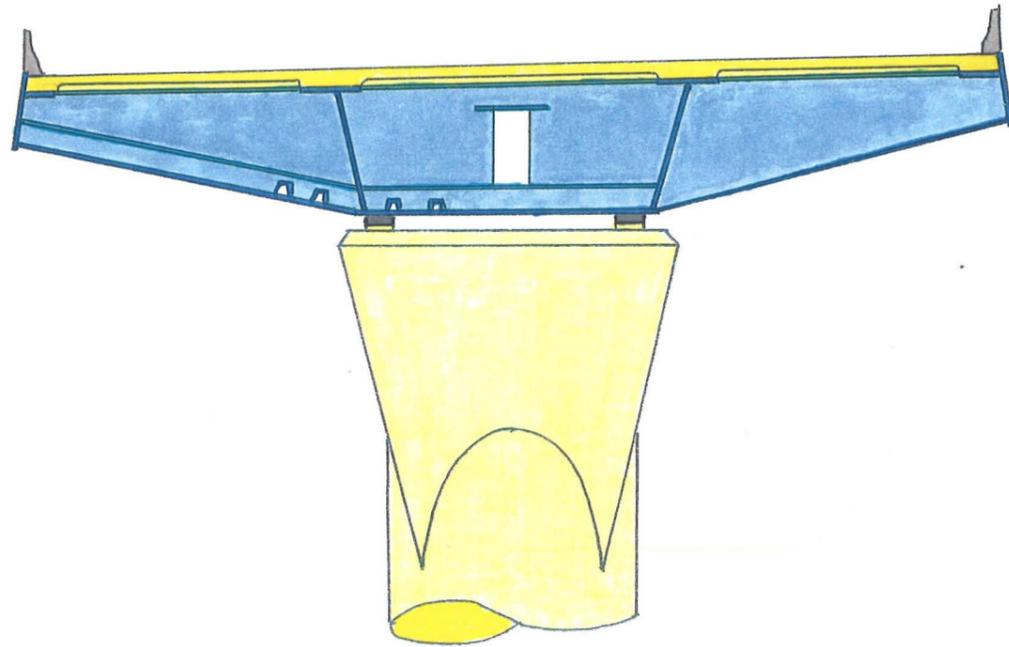
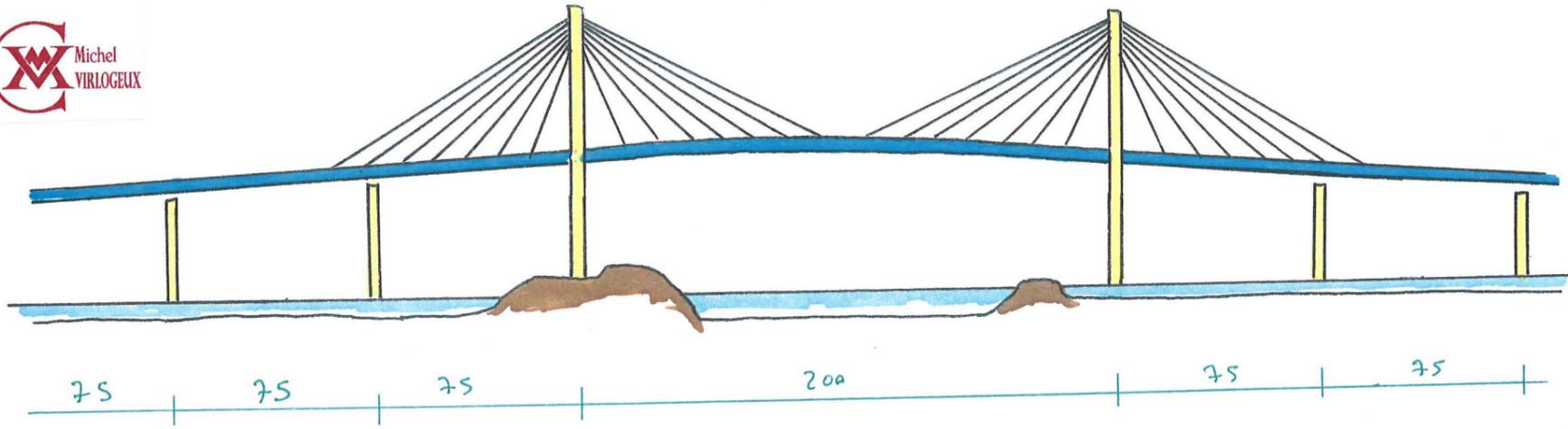
Solution 5A



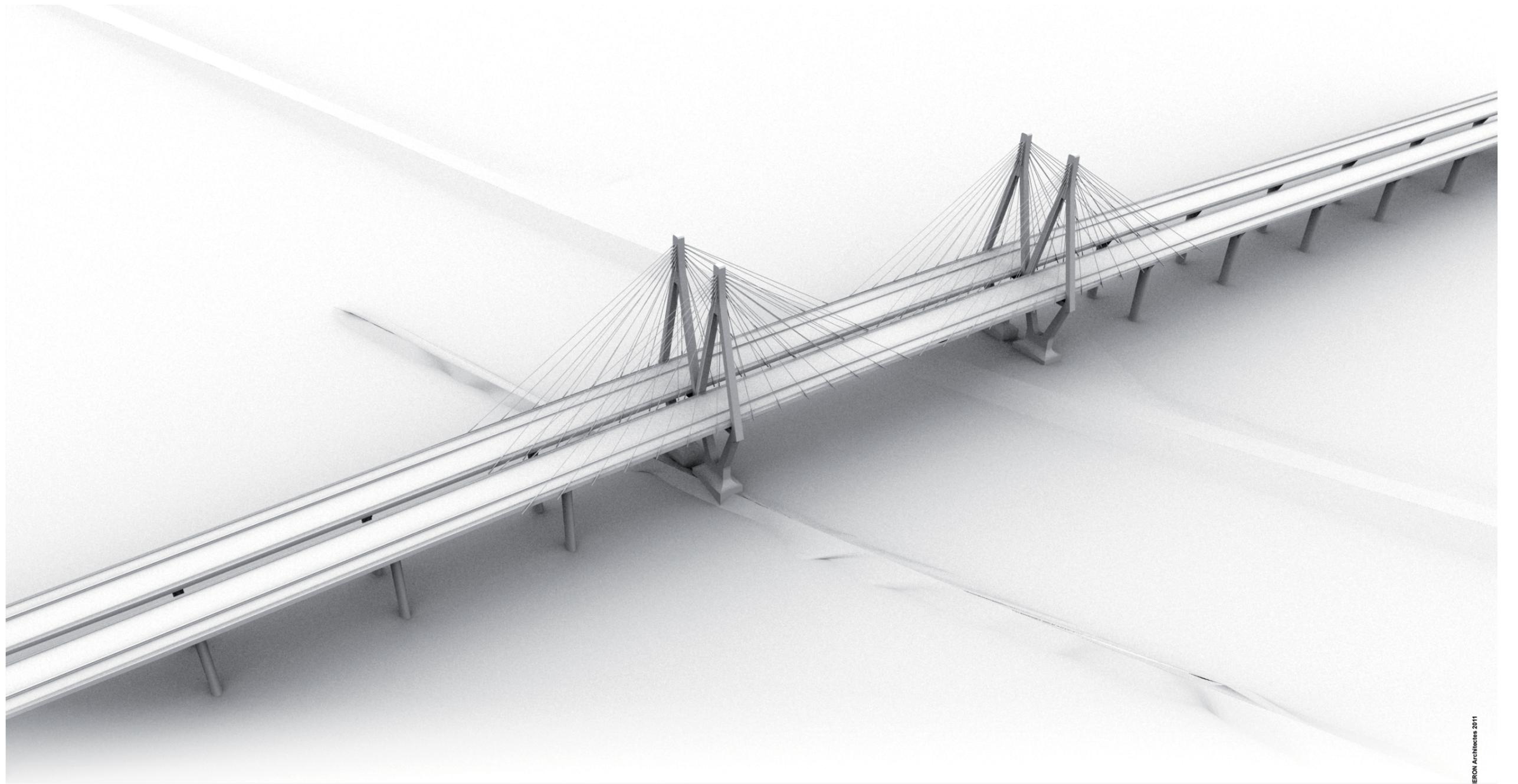
Solution 5A'



Solution 5B



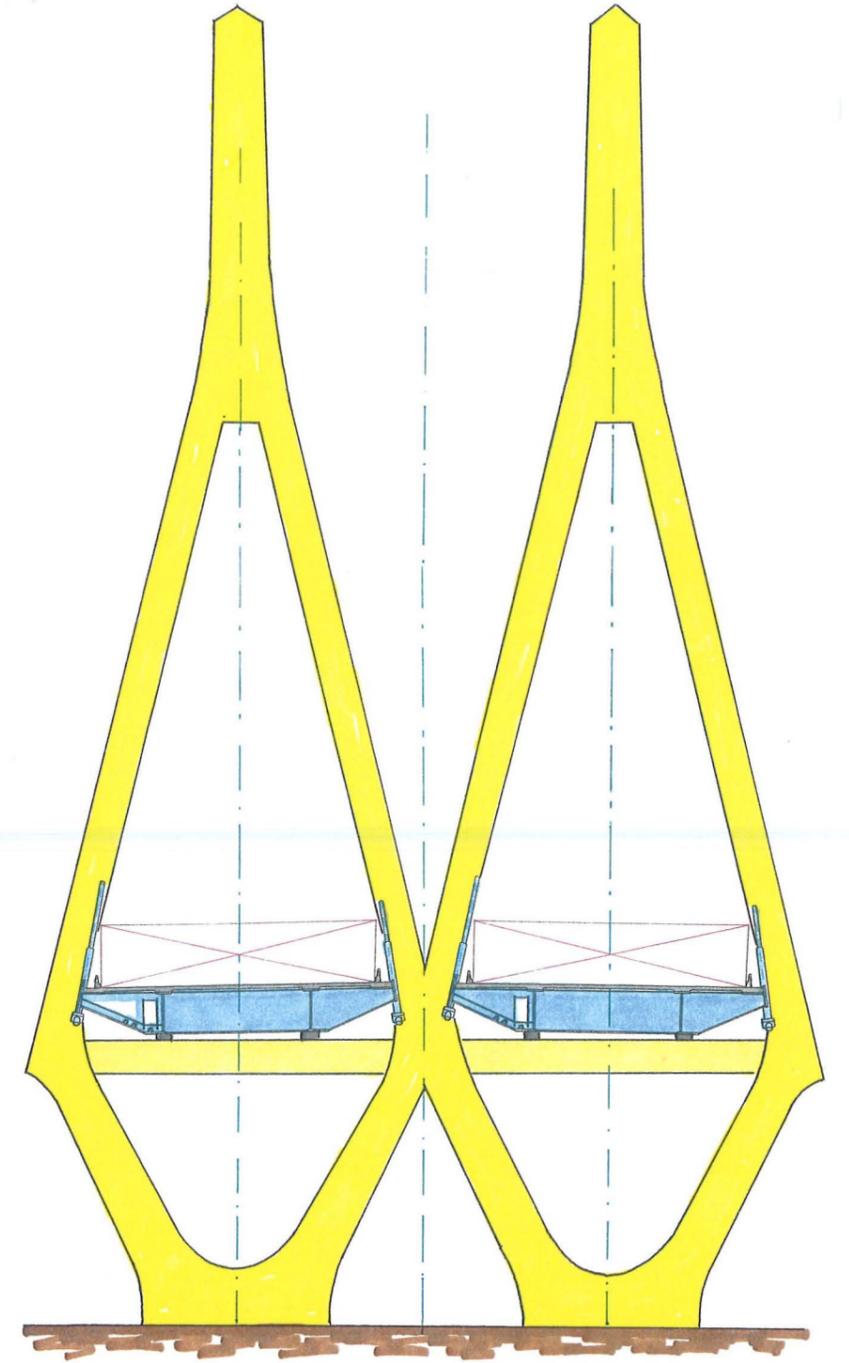
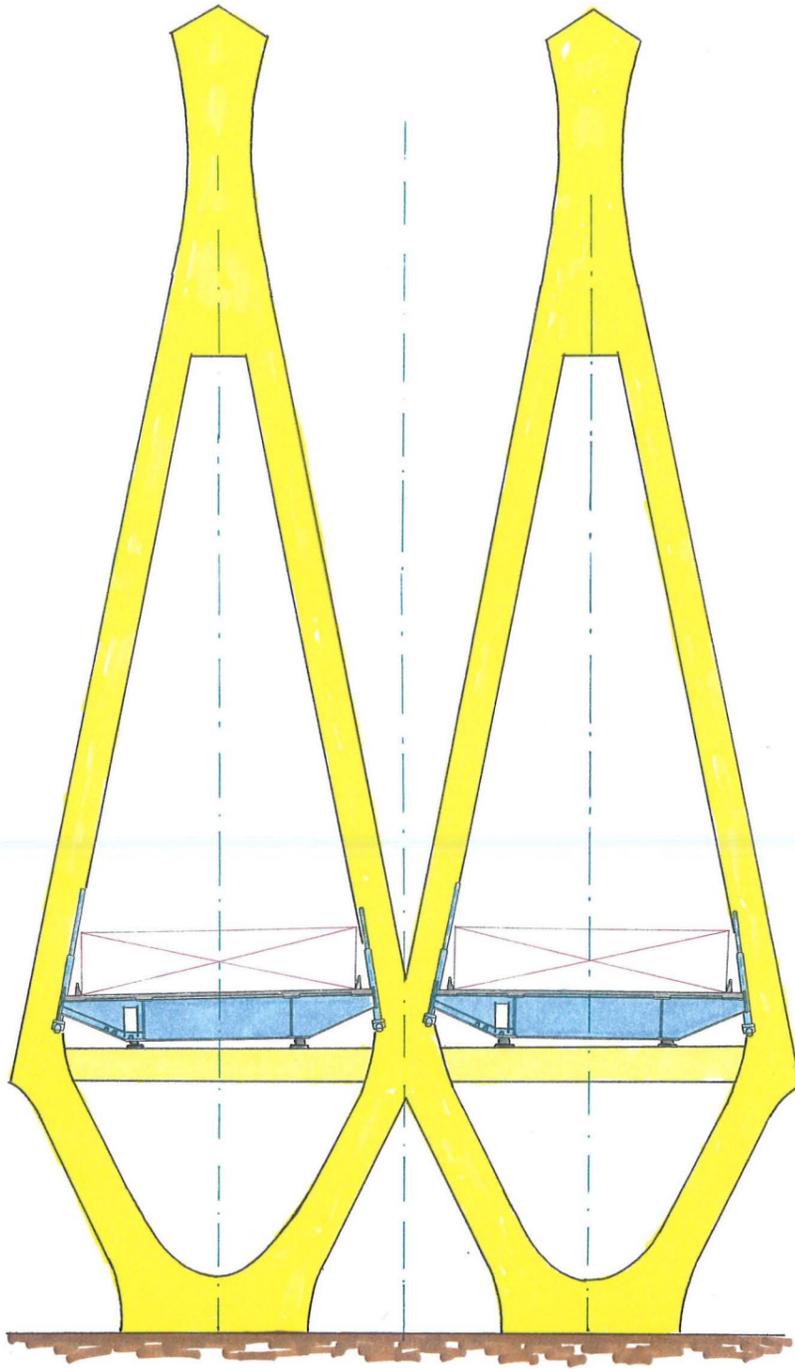
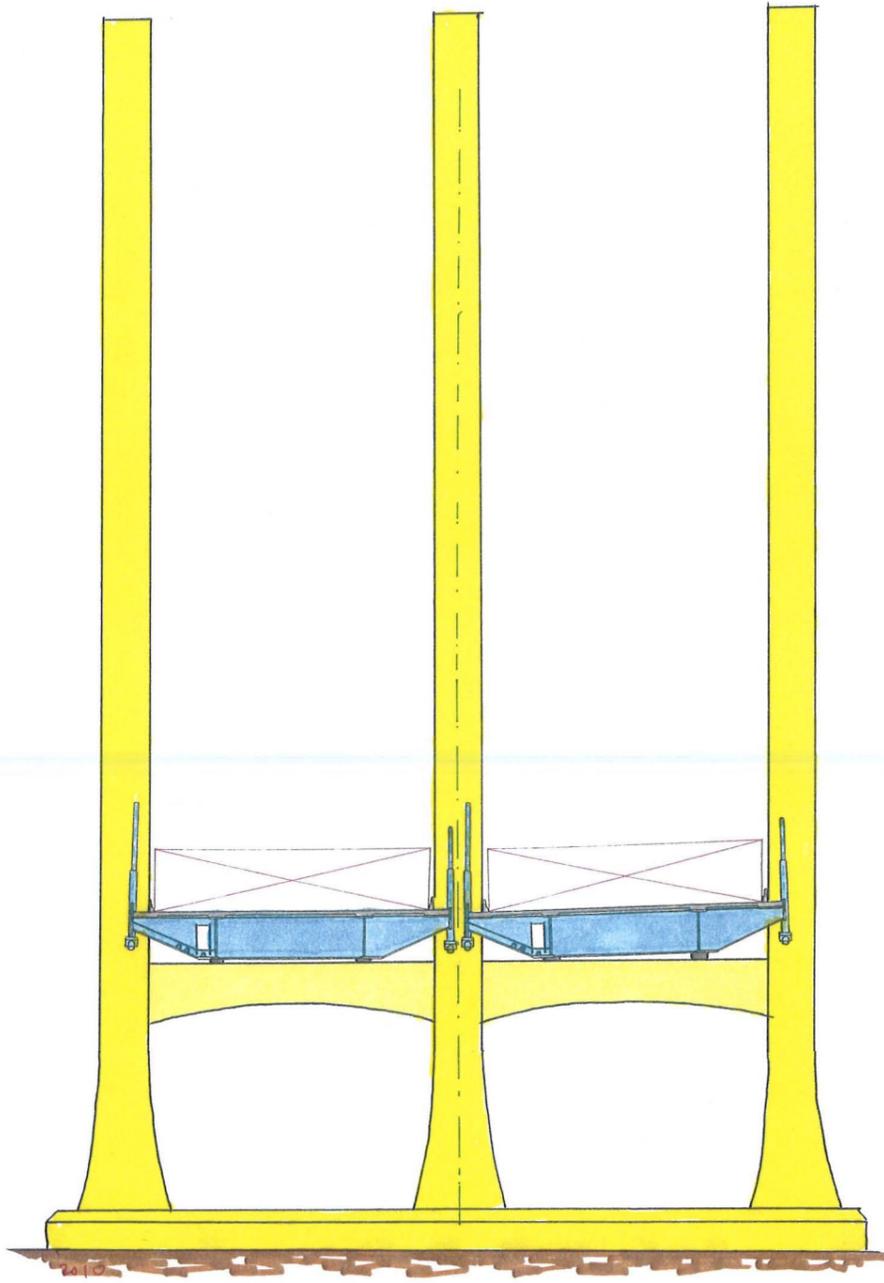
Solution 5C

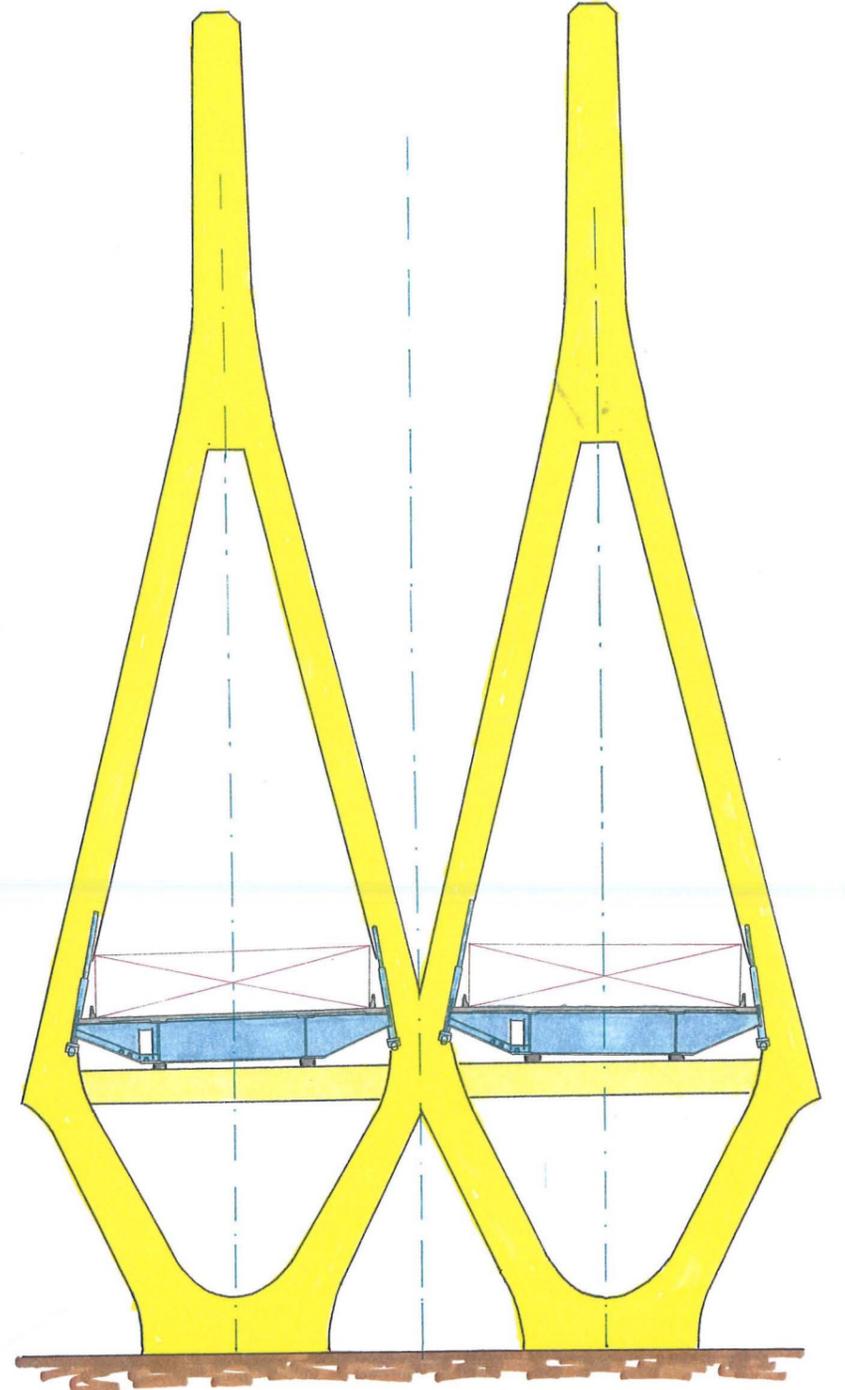
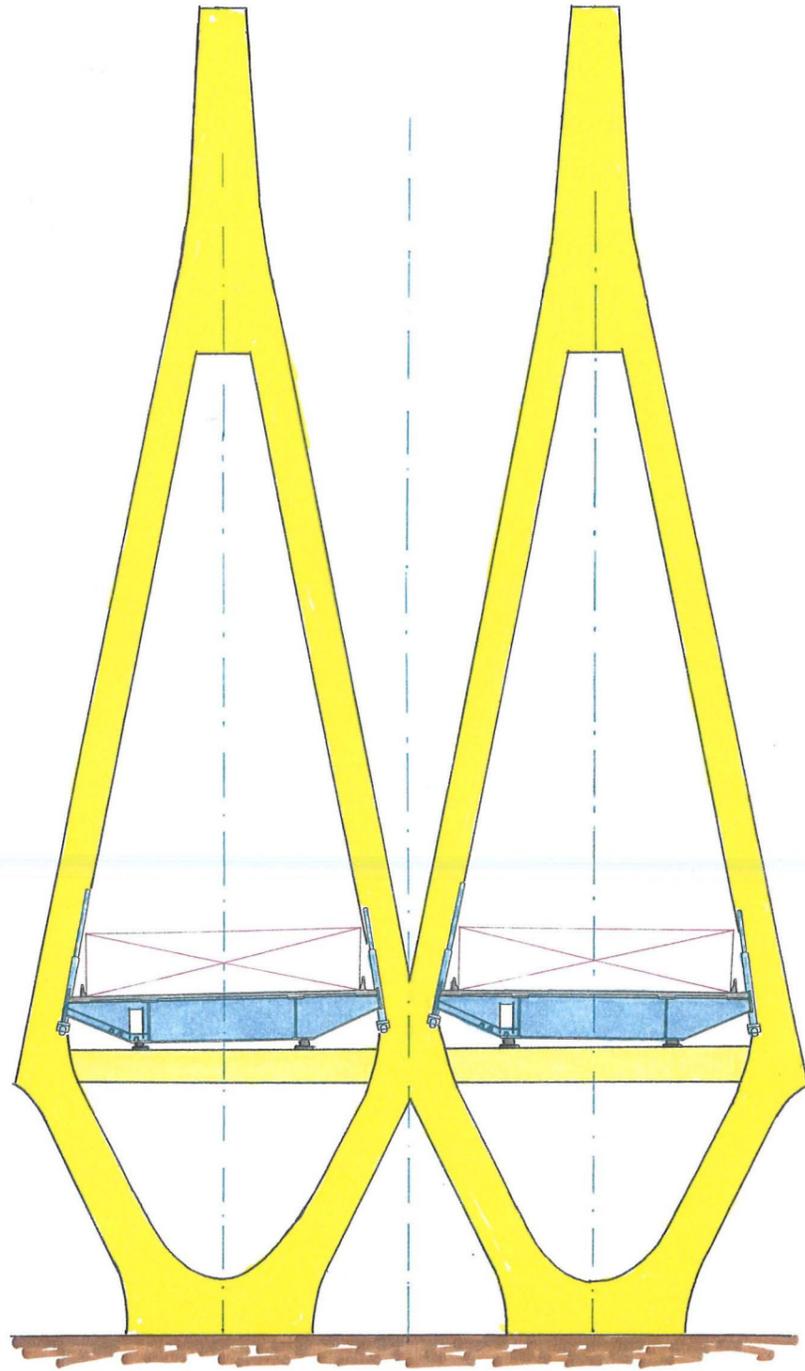
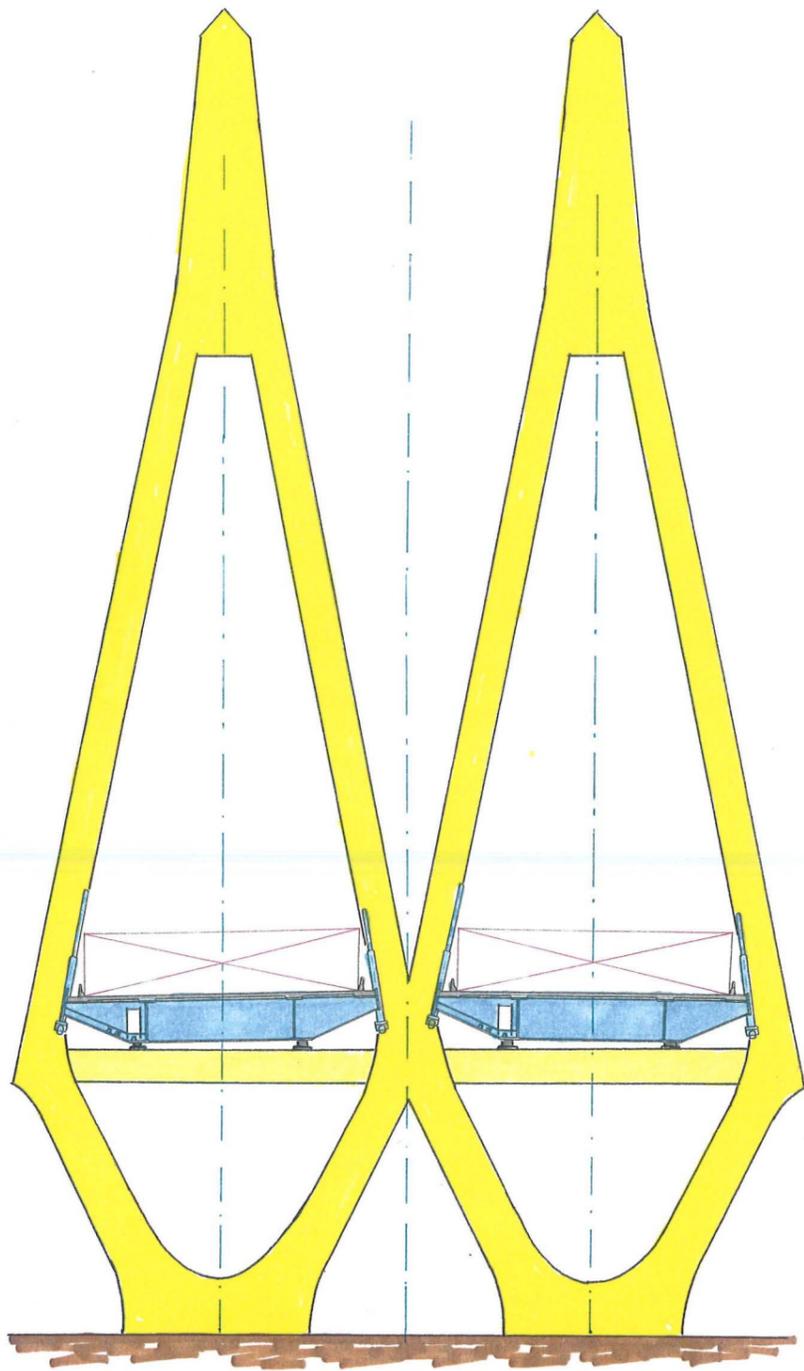


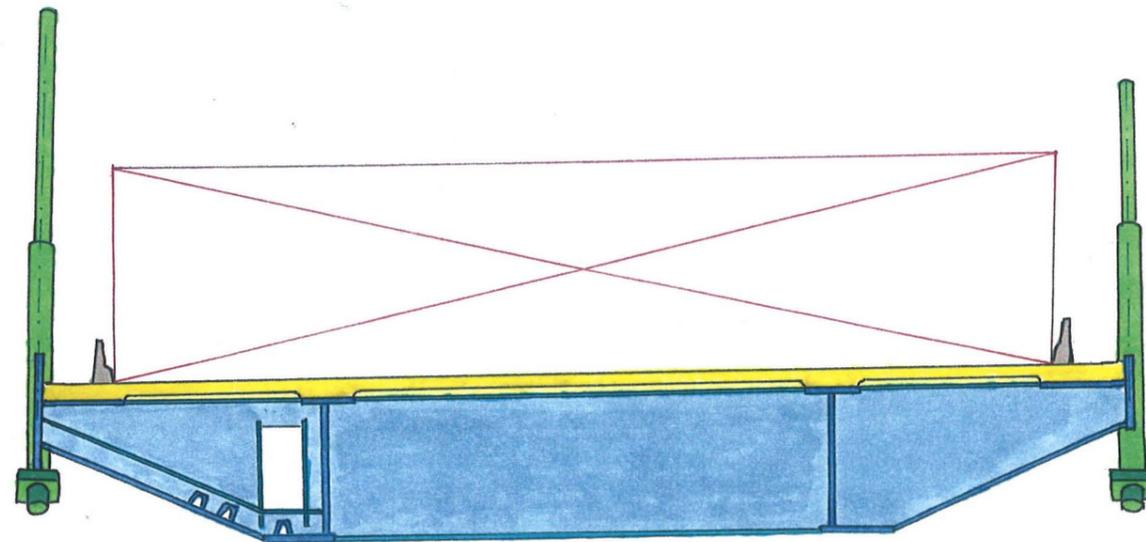
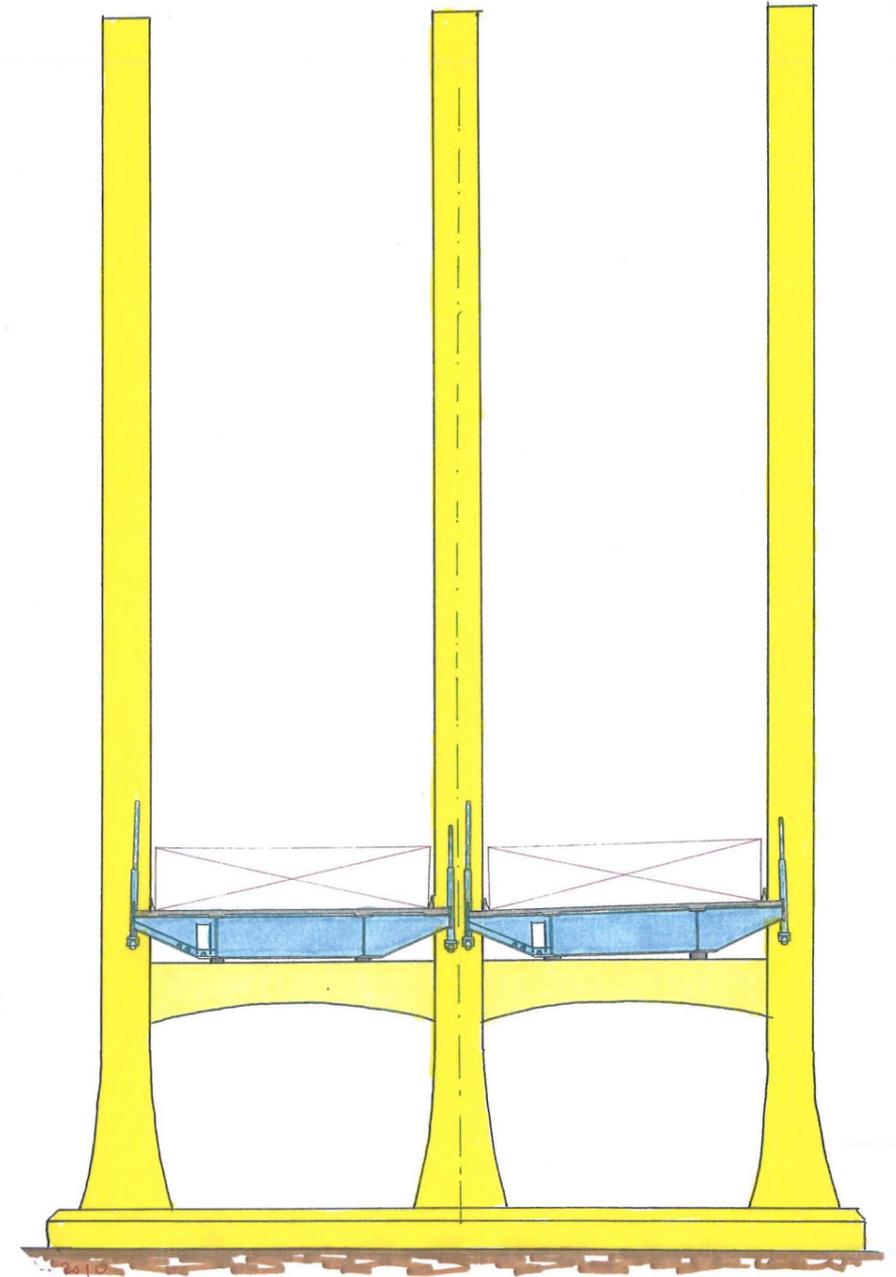
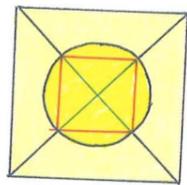
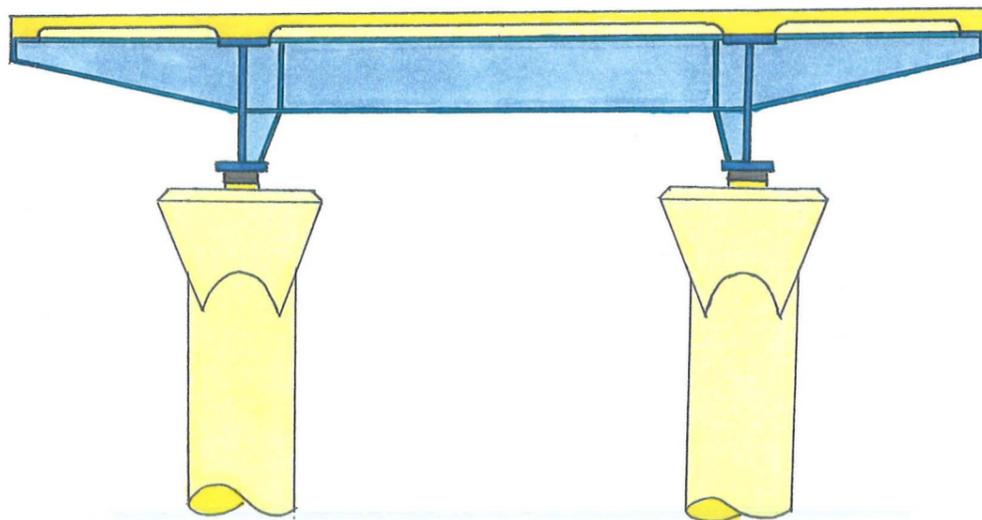
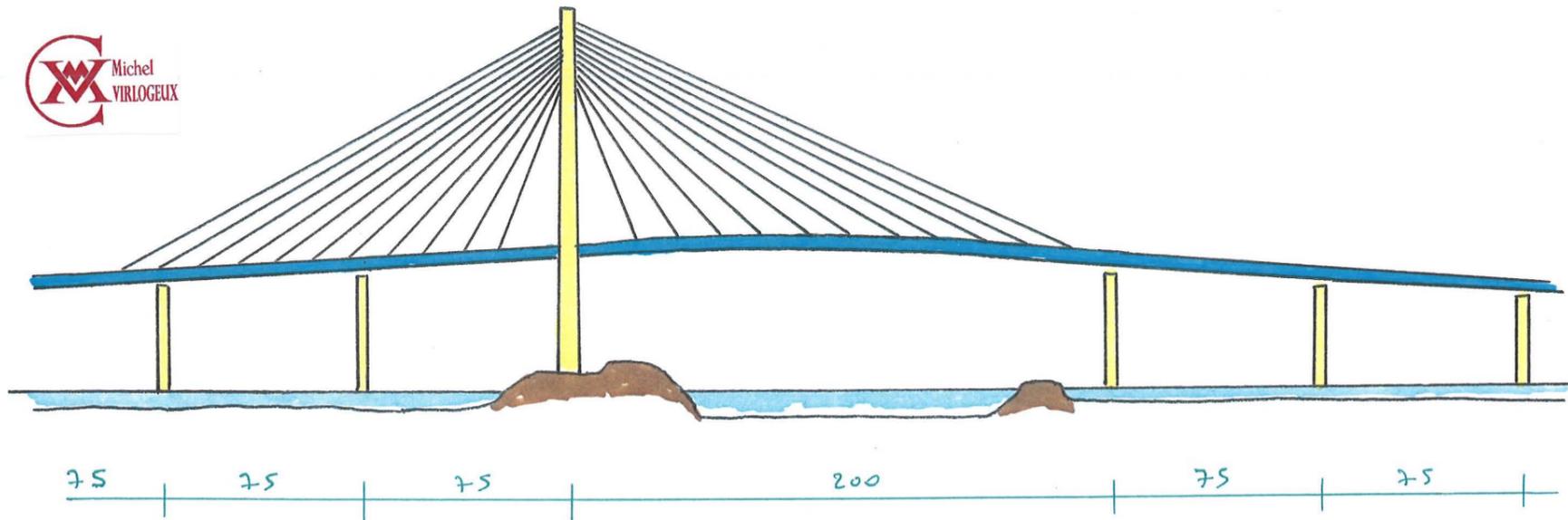
PONT CHAMPLAIN



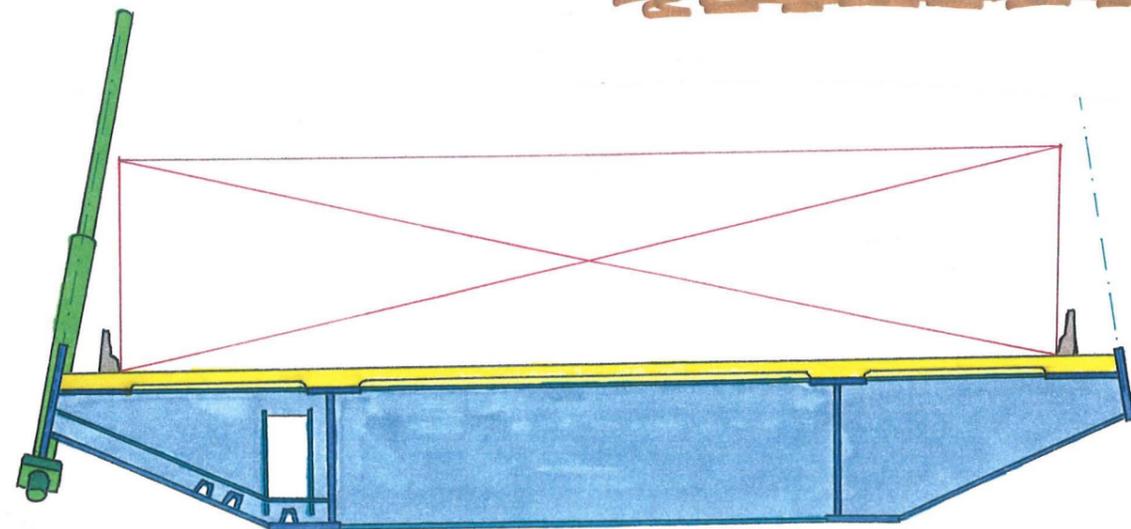
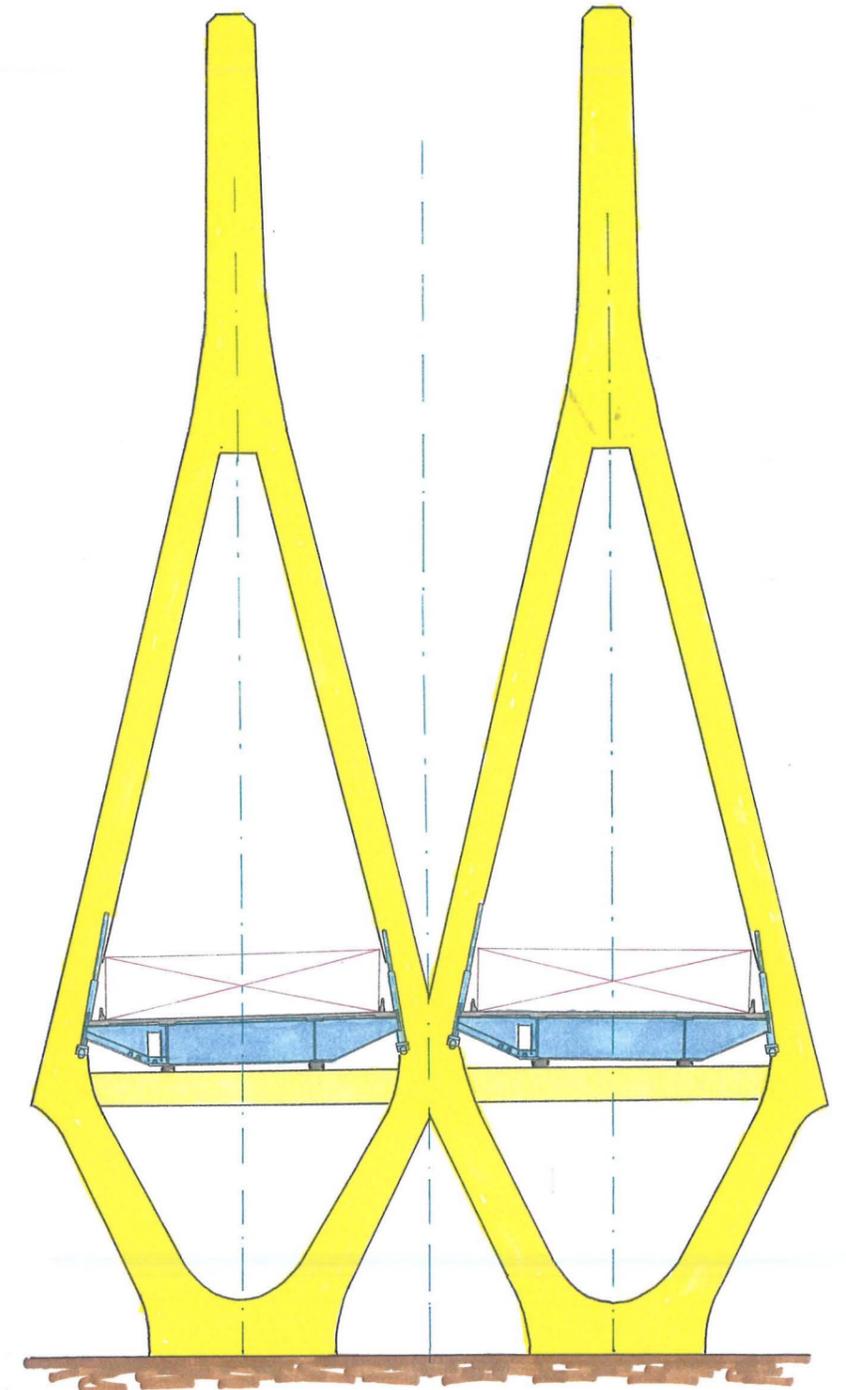
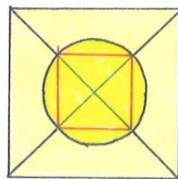
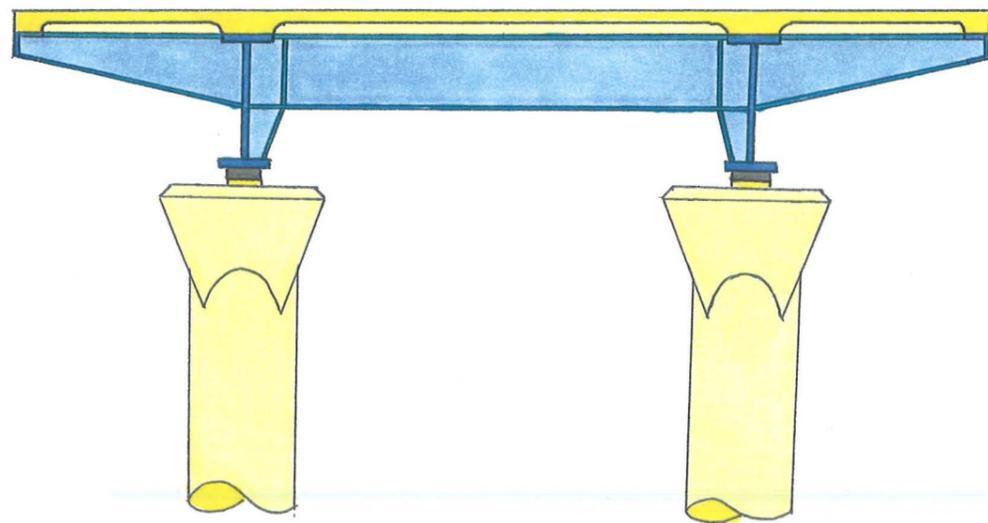
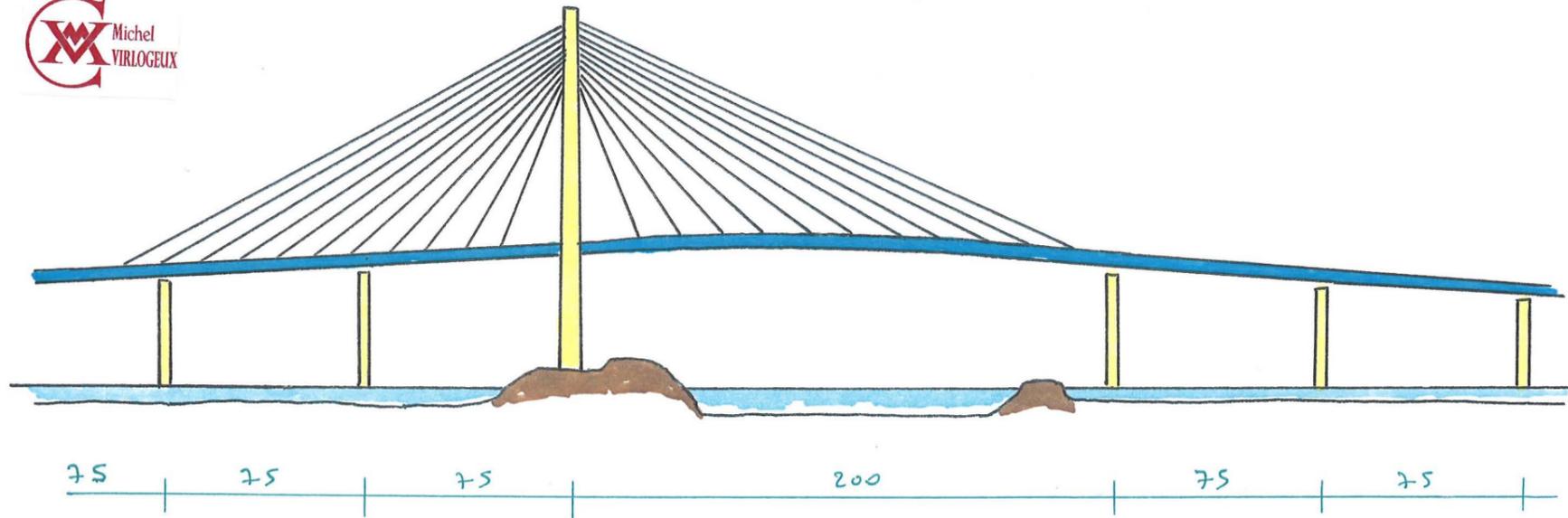
PONT CHAMPLAIN



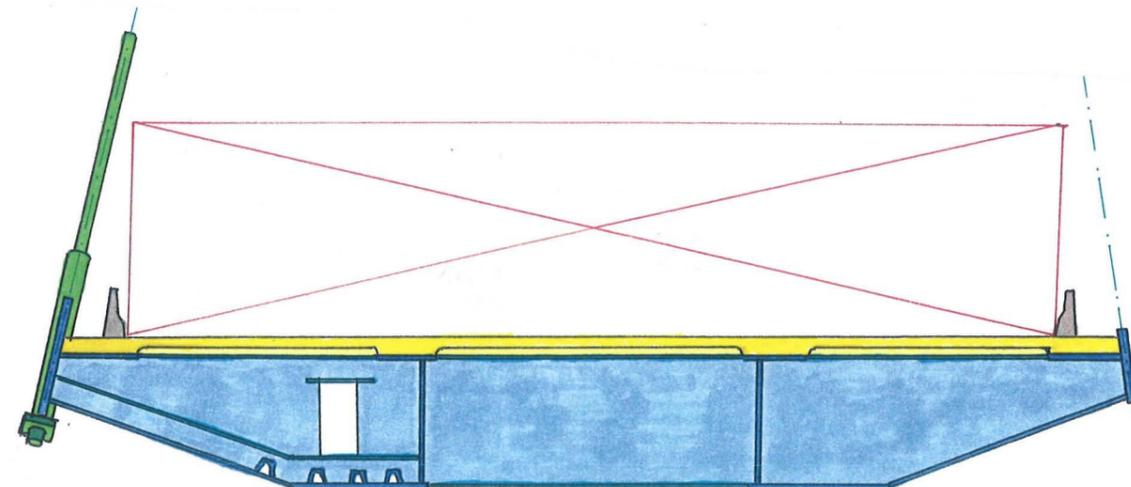
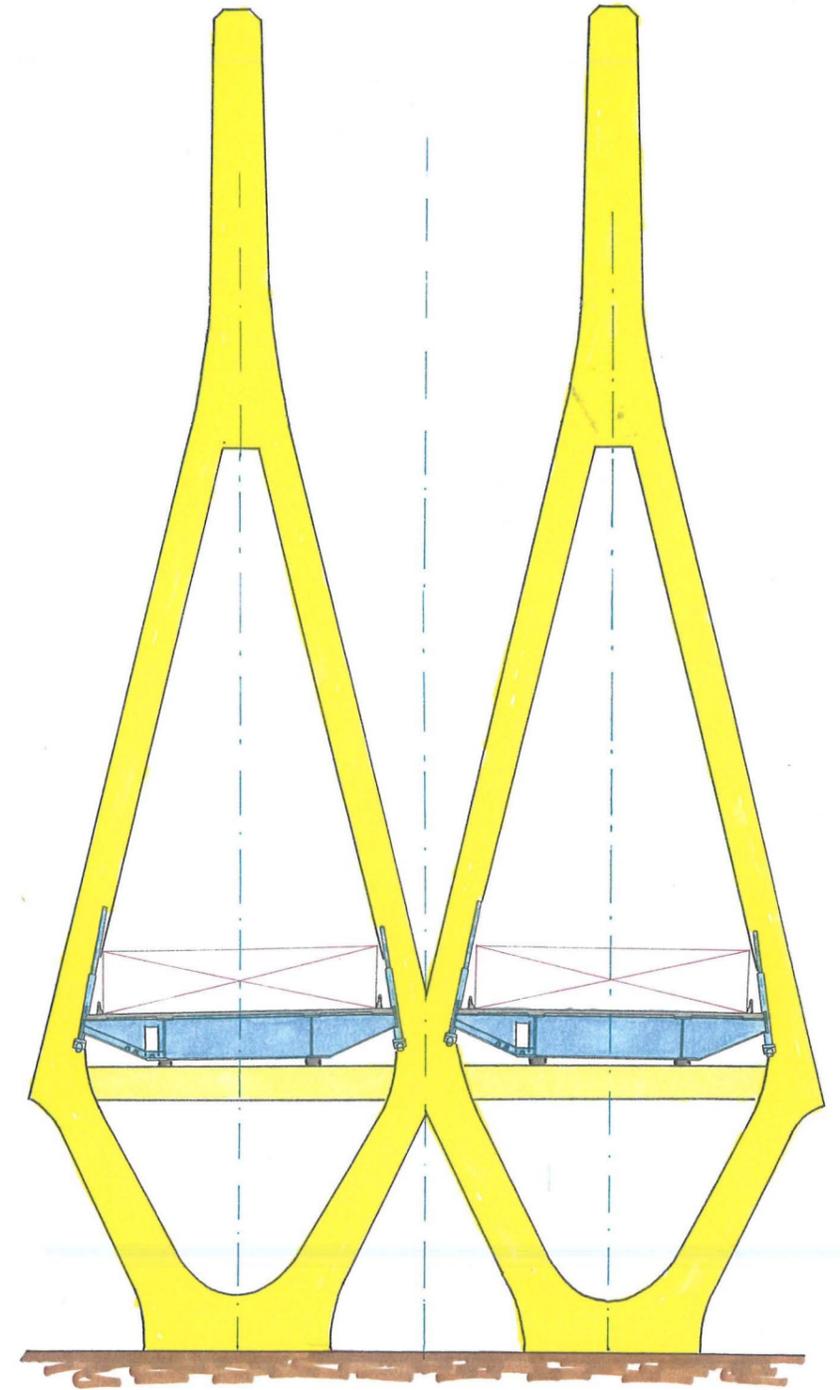
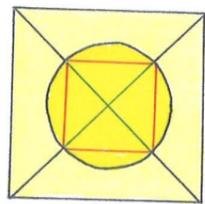
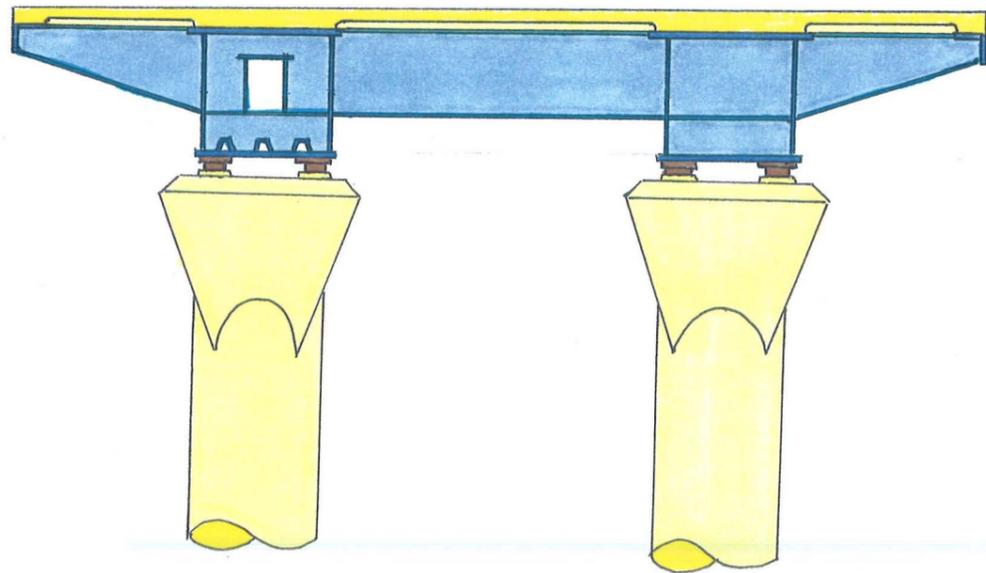
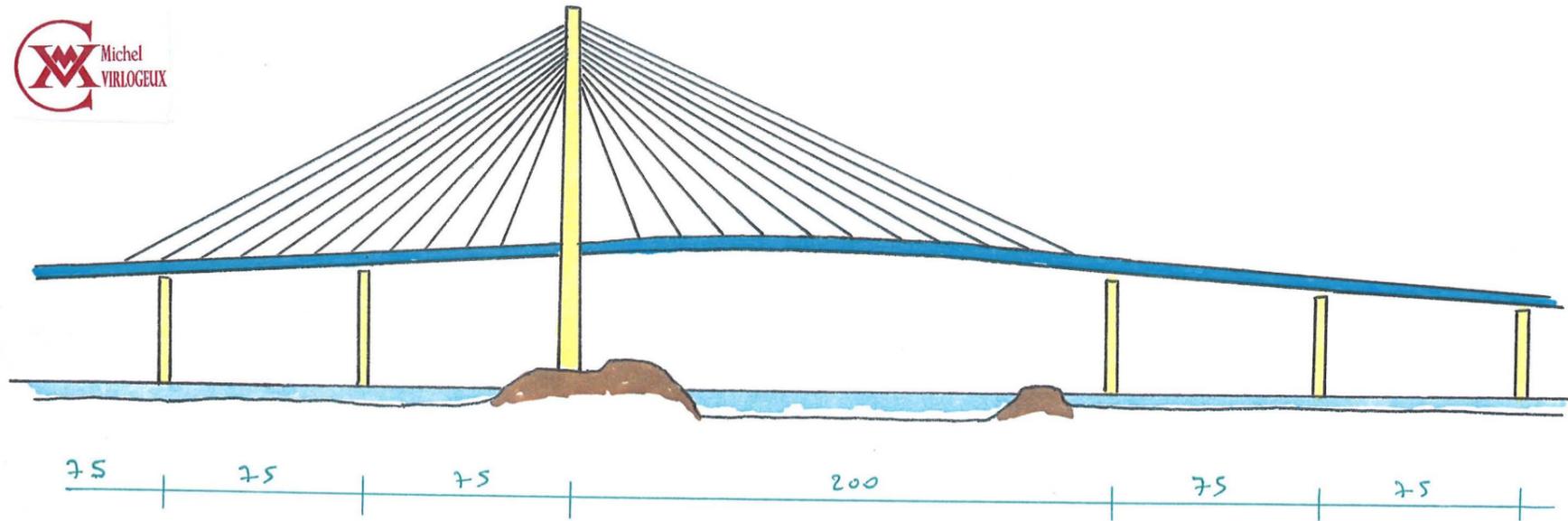




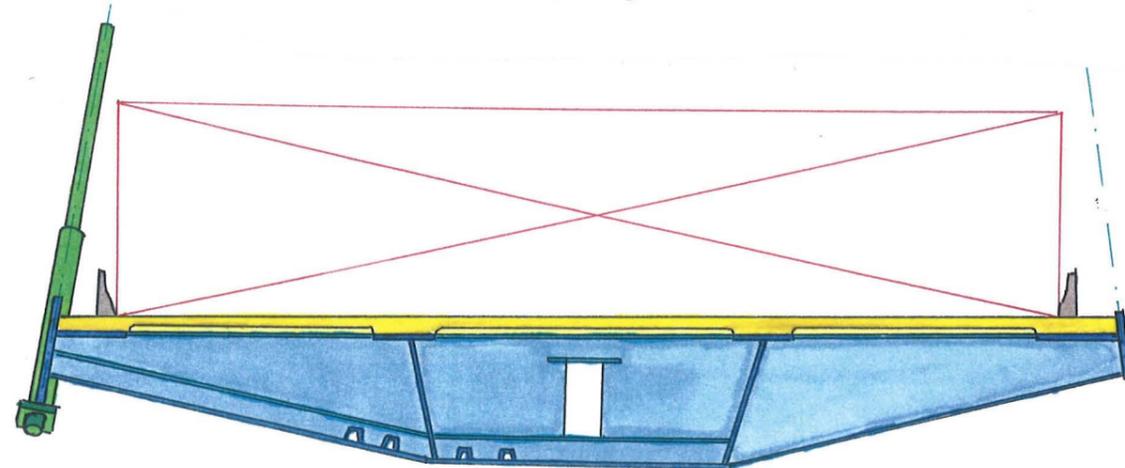
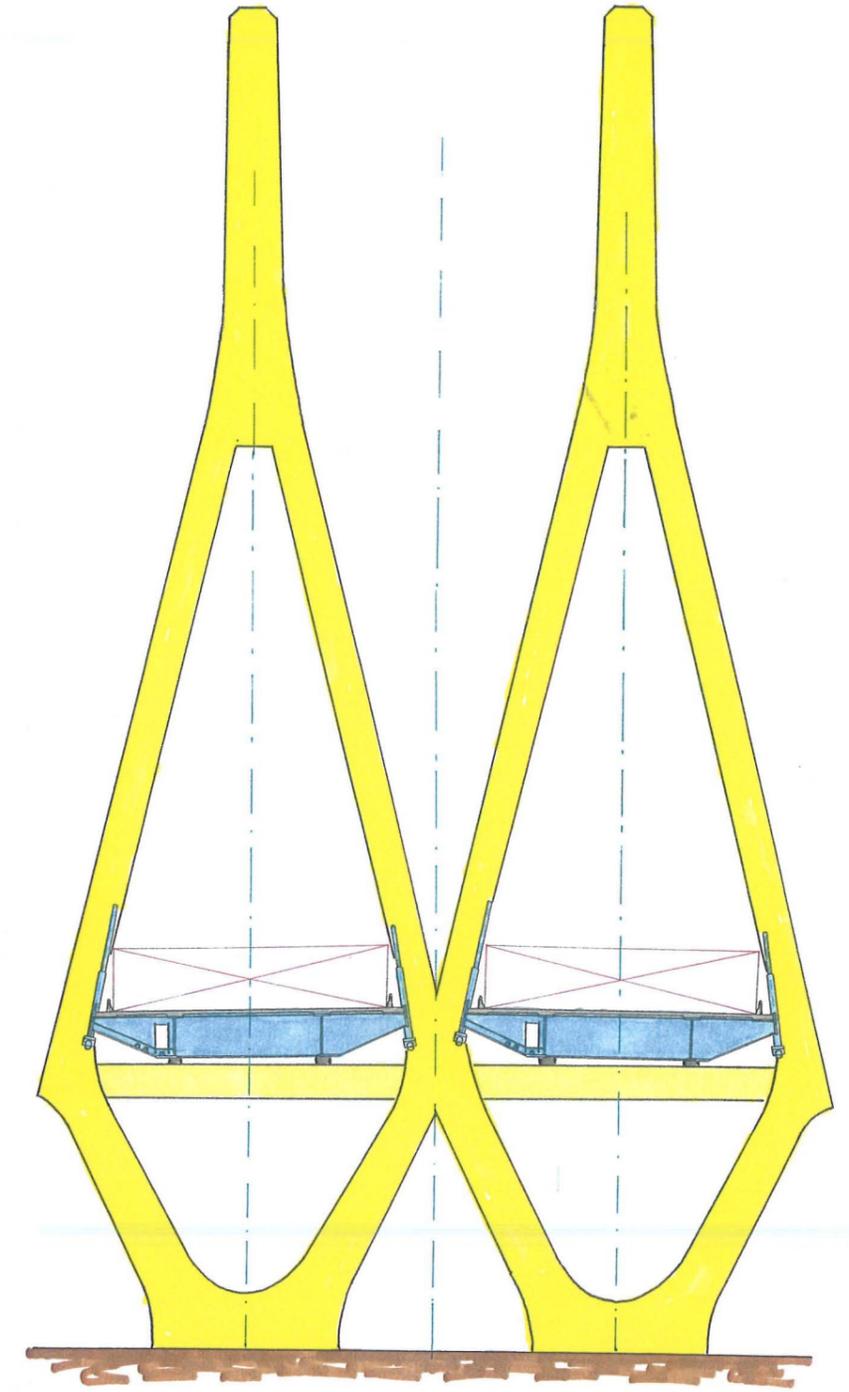
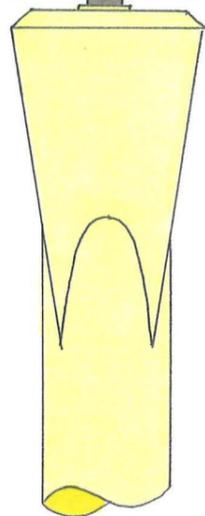
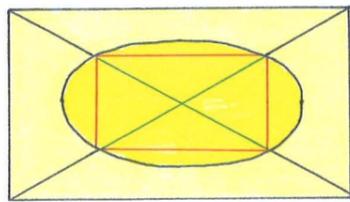
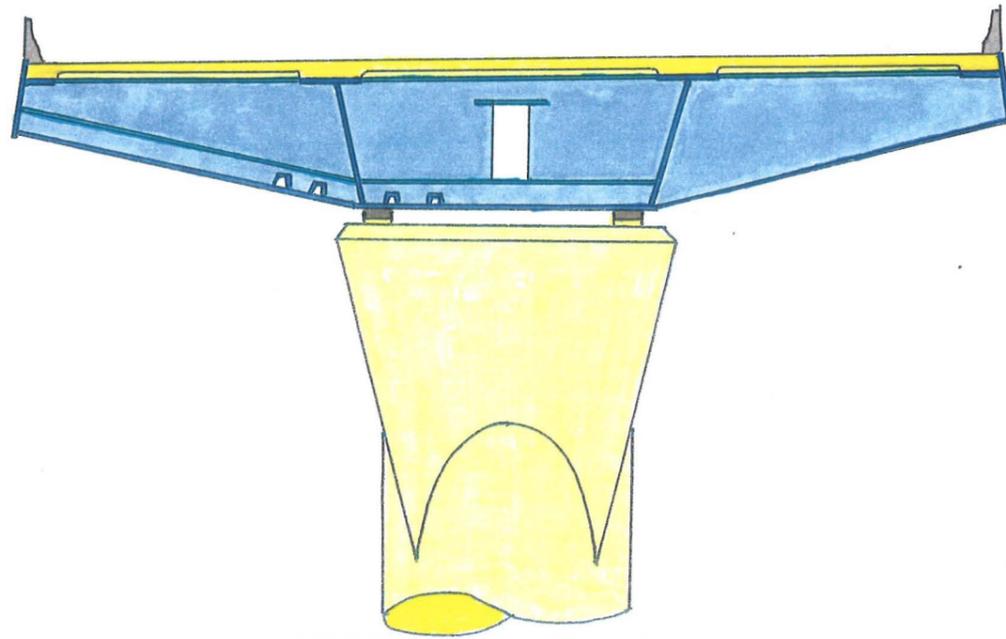
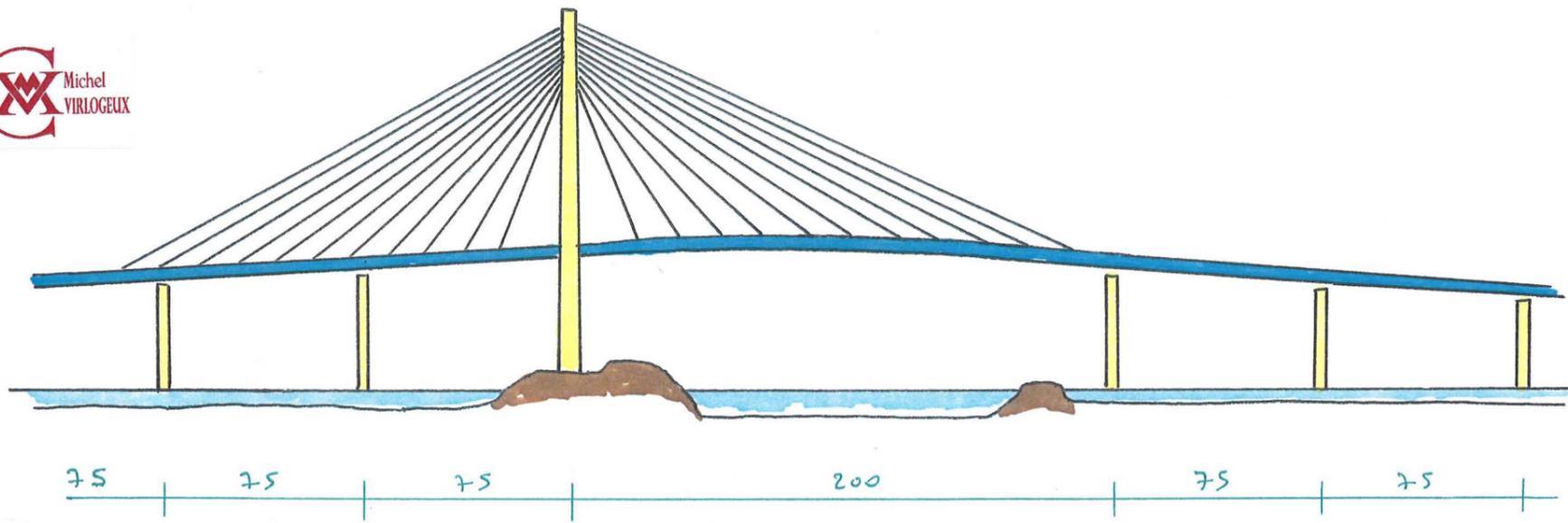
Solution 6A



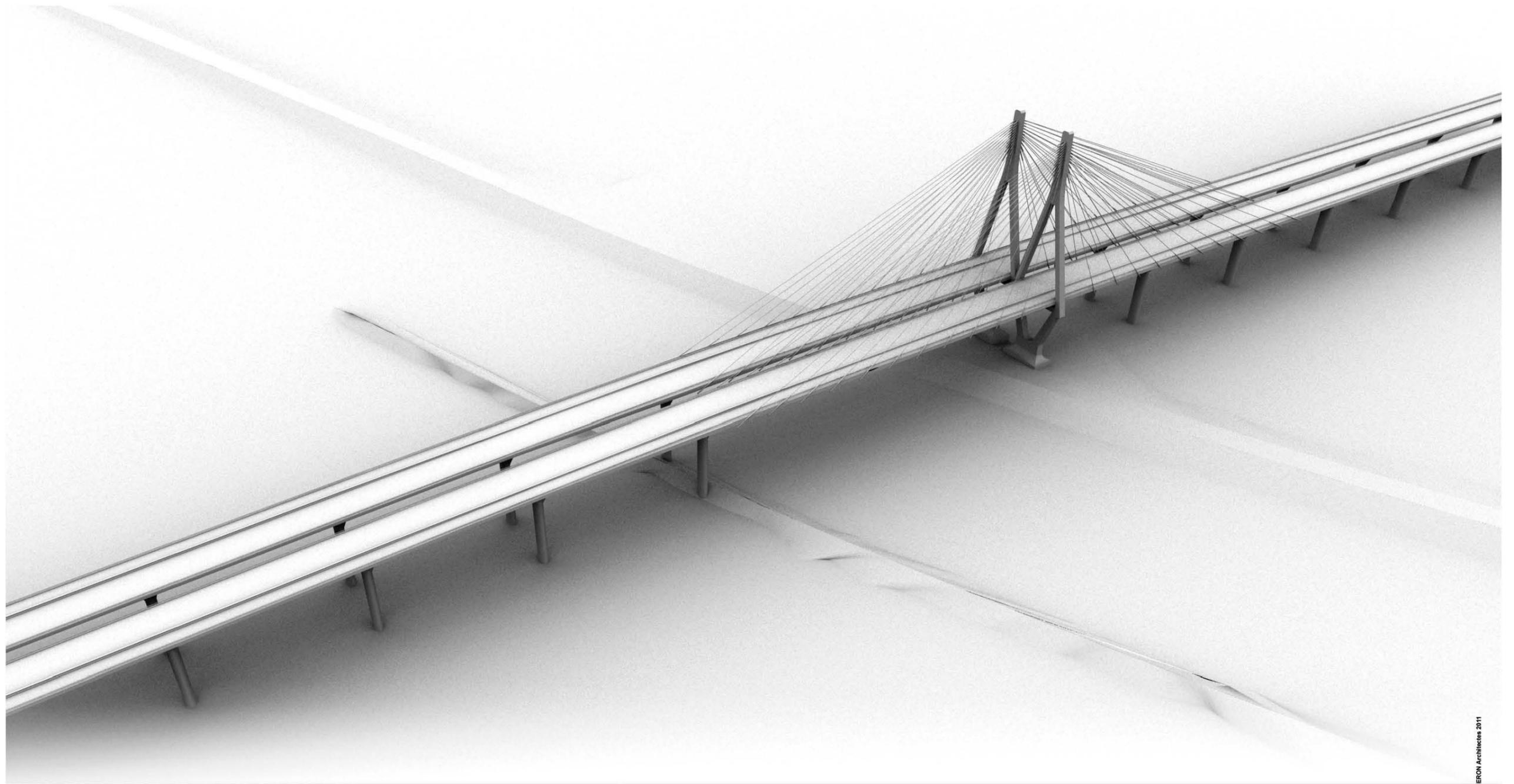
Solution 6A'



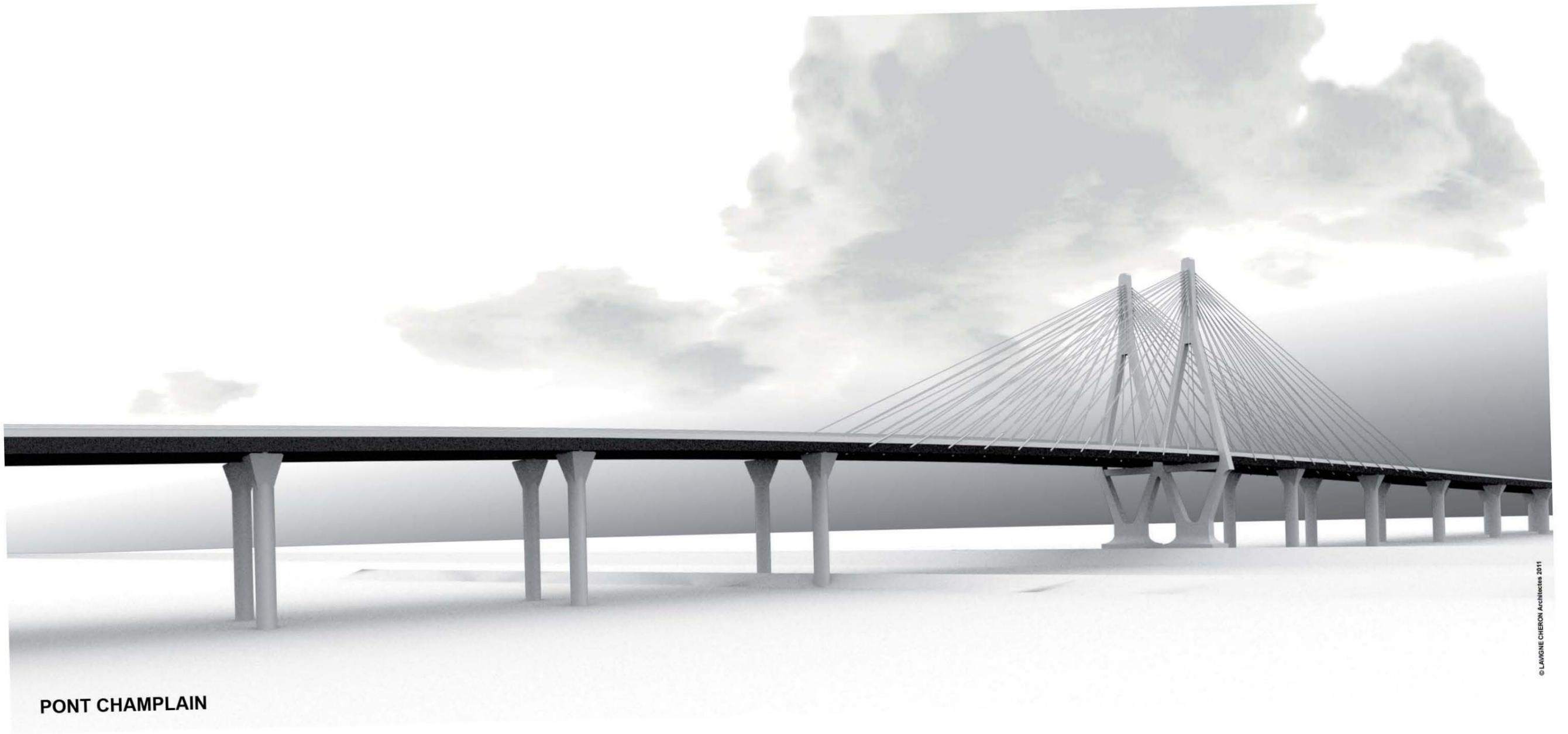
Solution 6B



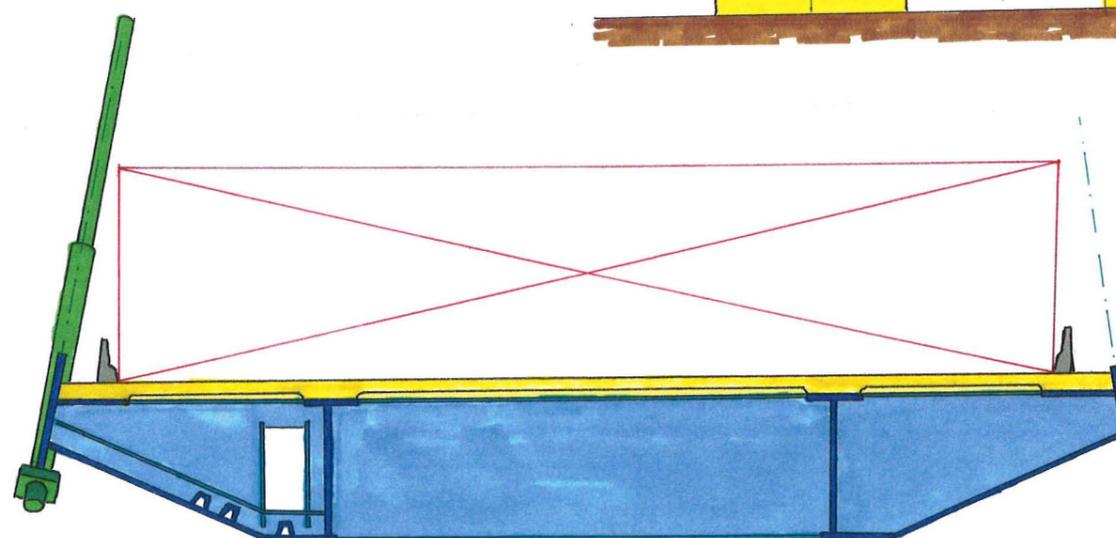
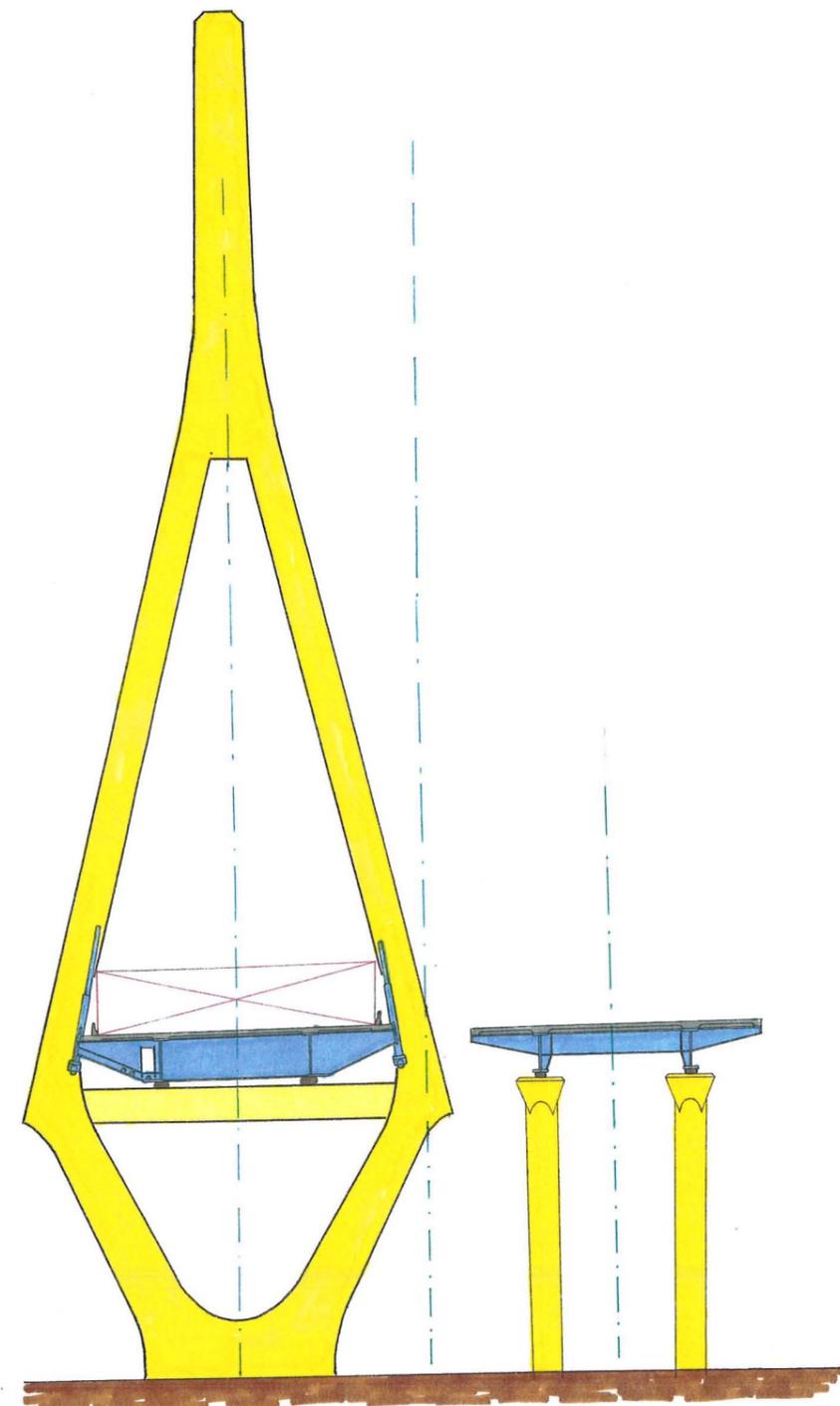
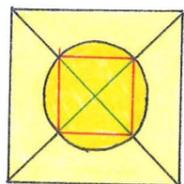
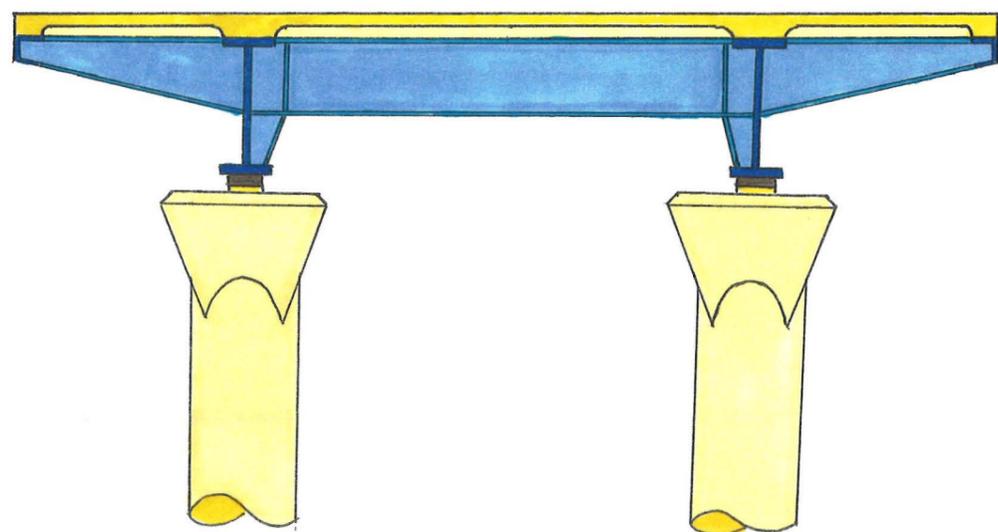
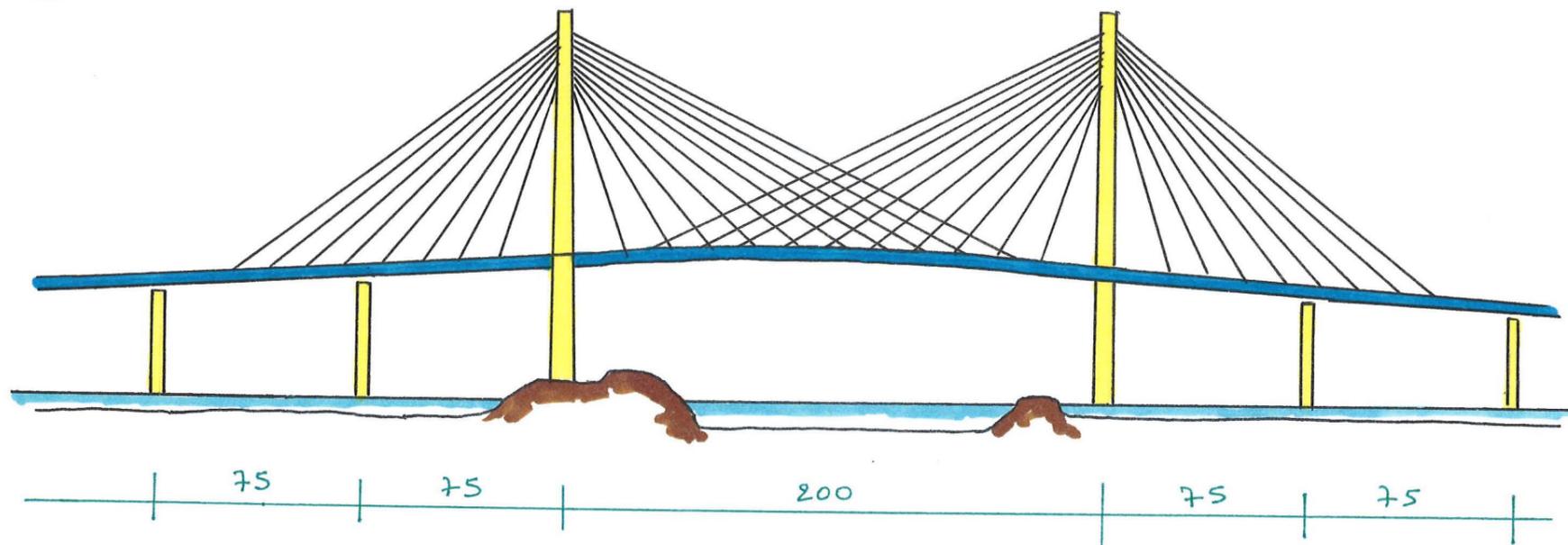
Solution 6C



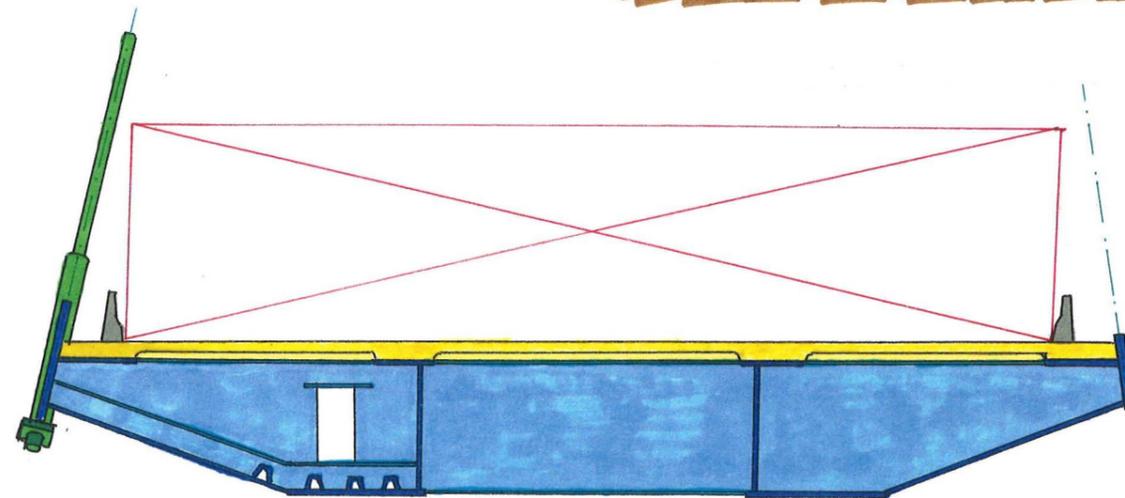
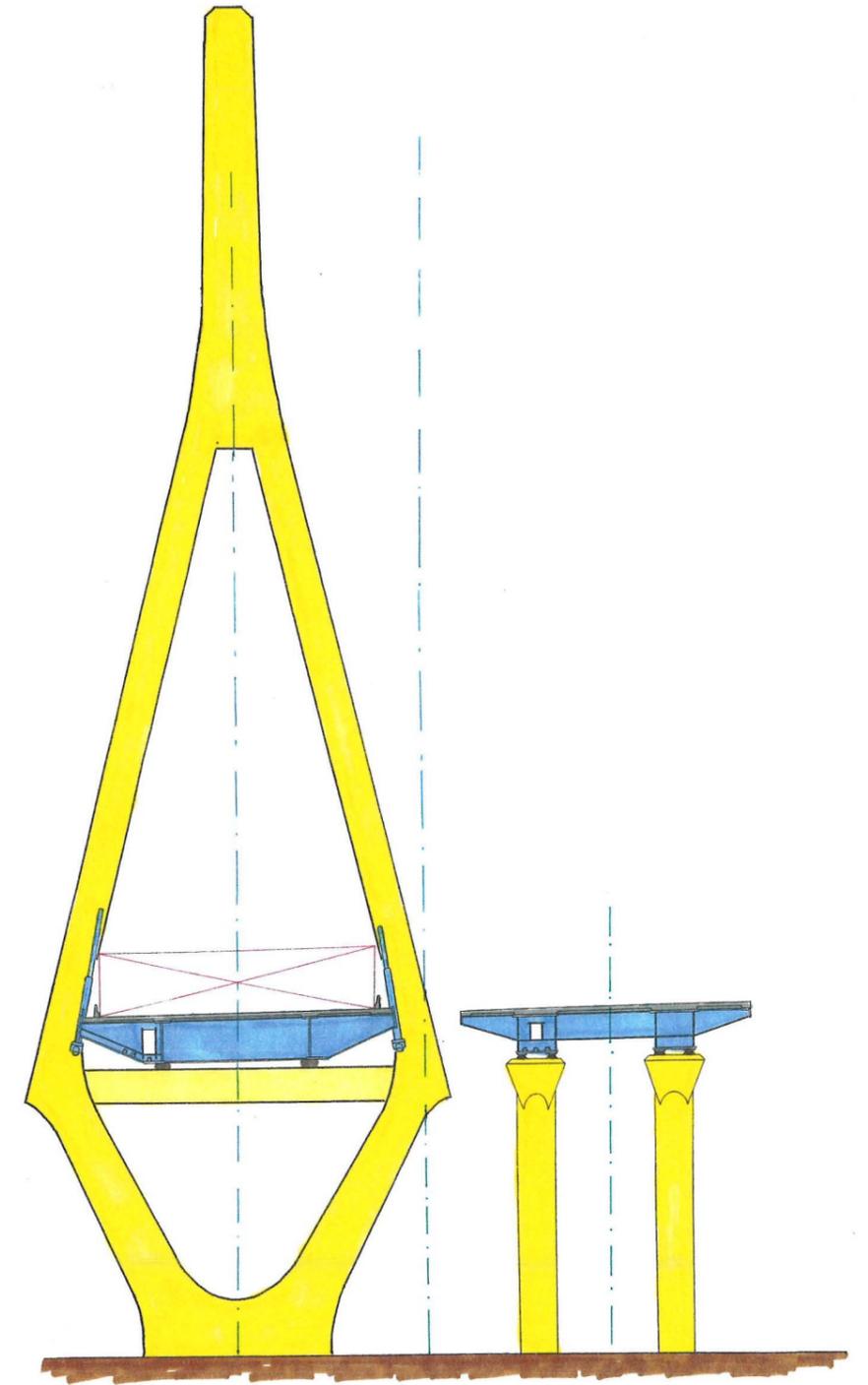
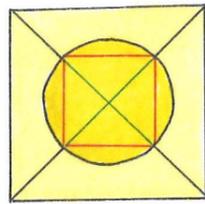
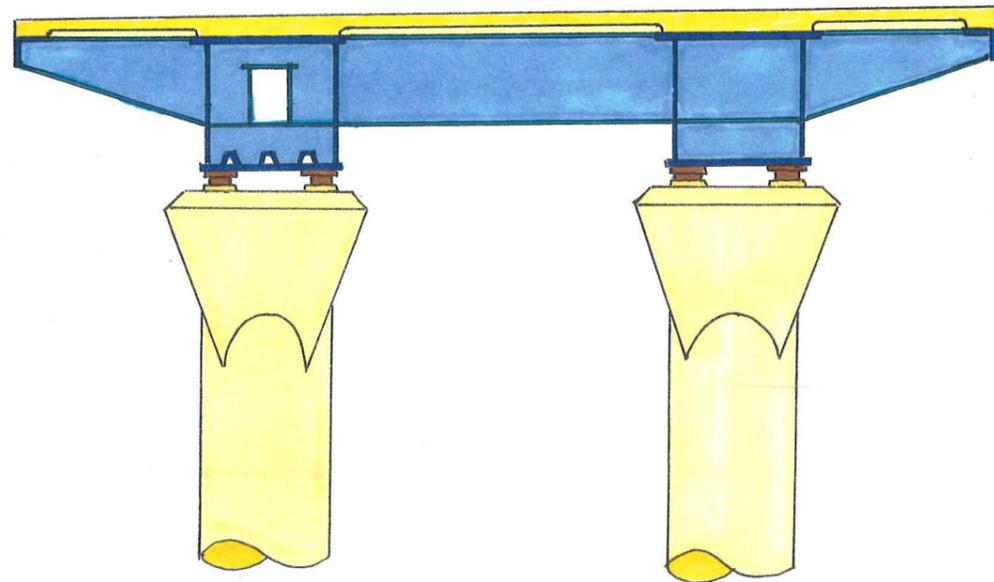
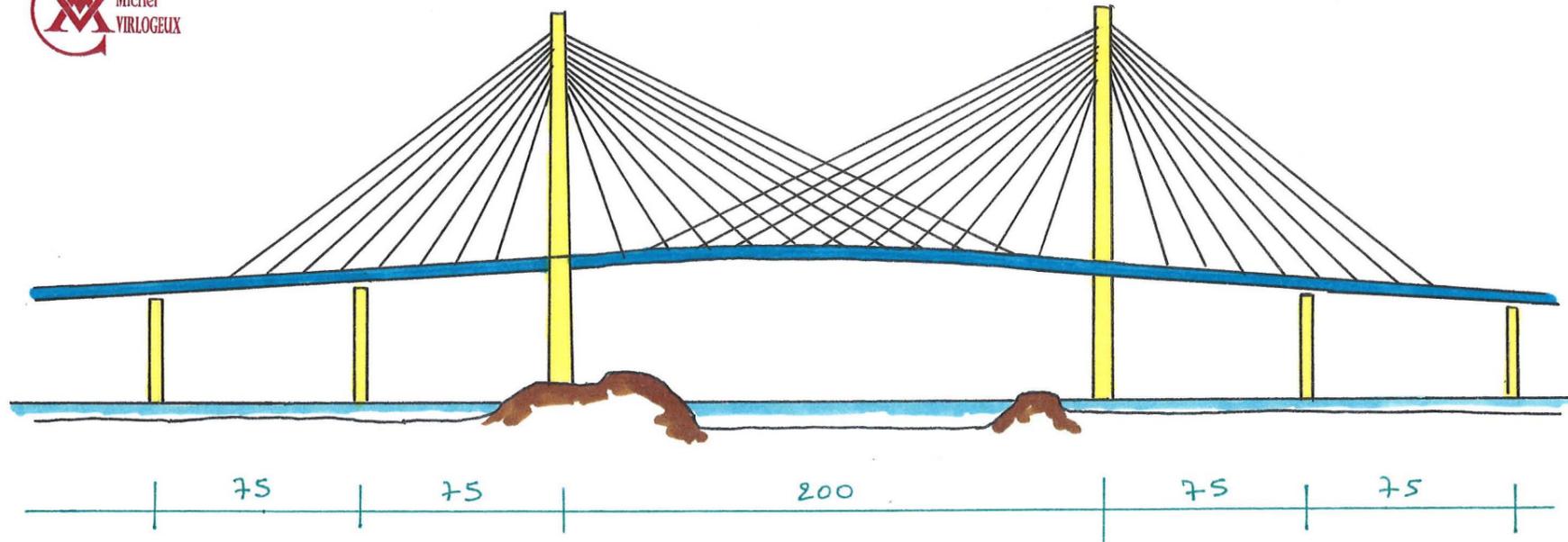
PONT CHAMPLAIN



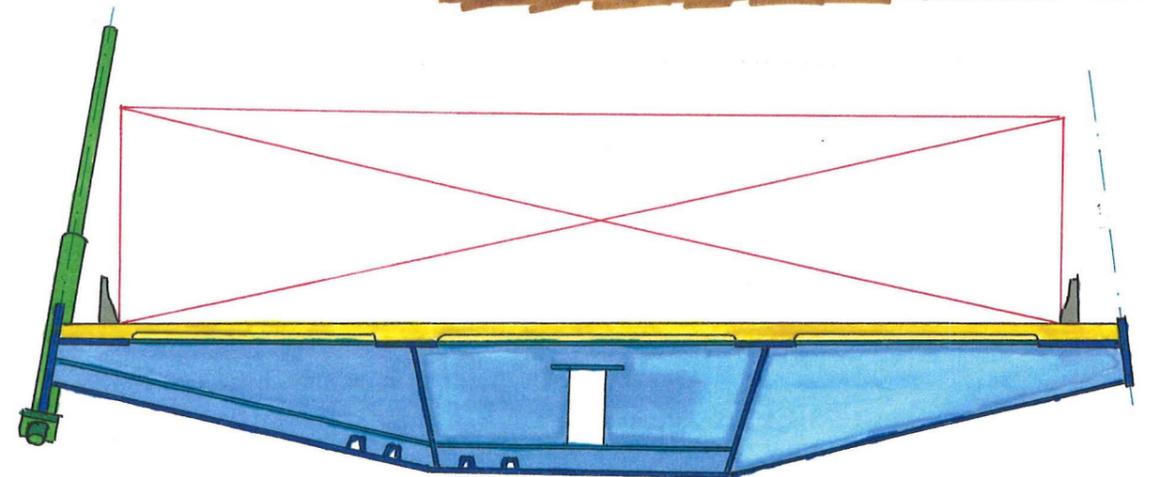
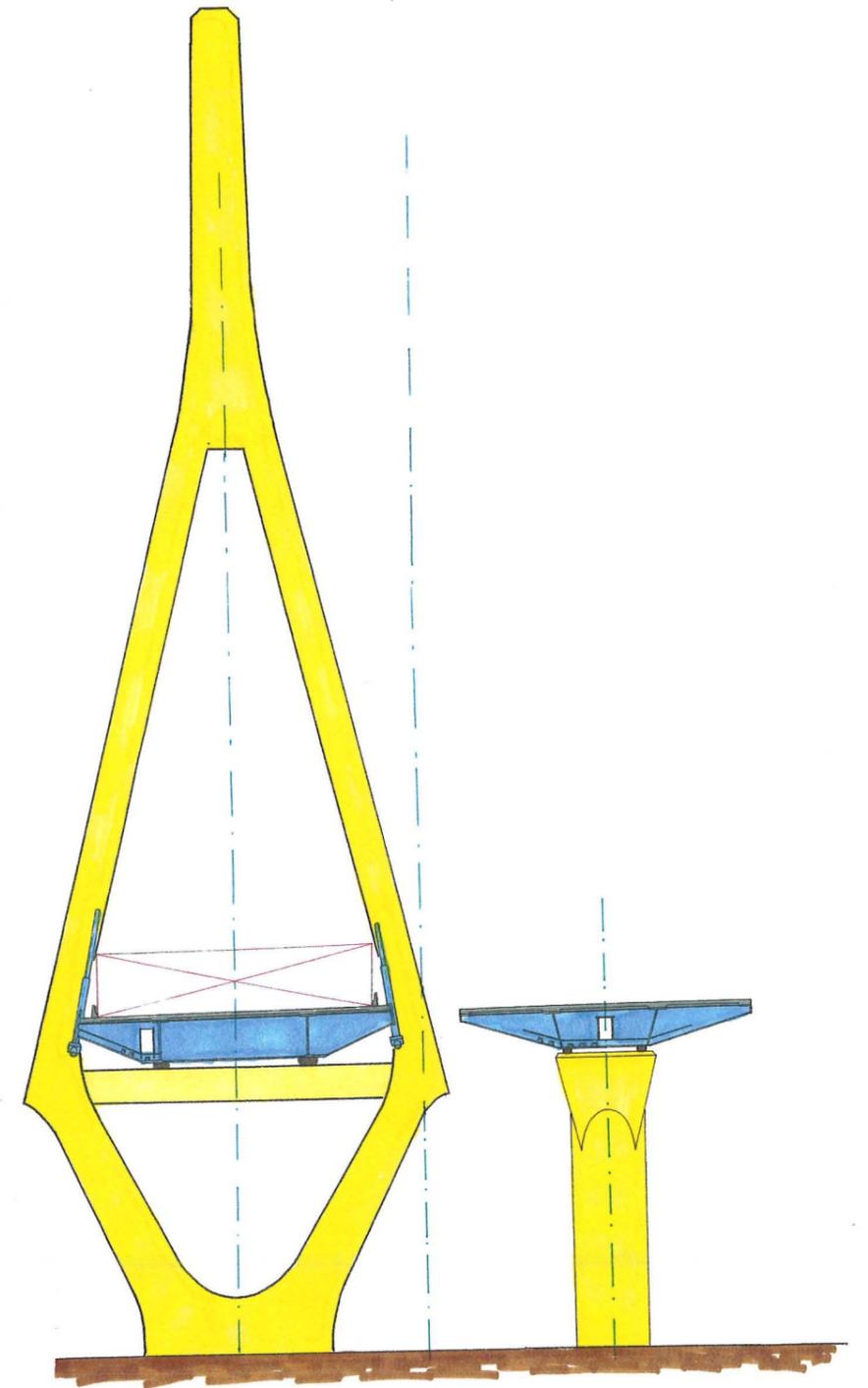
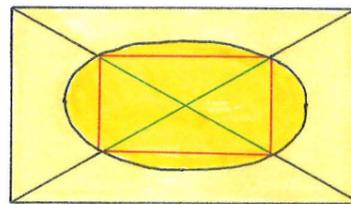
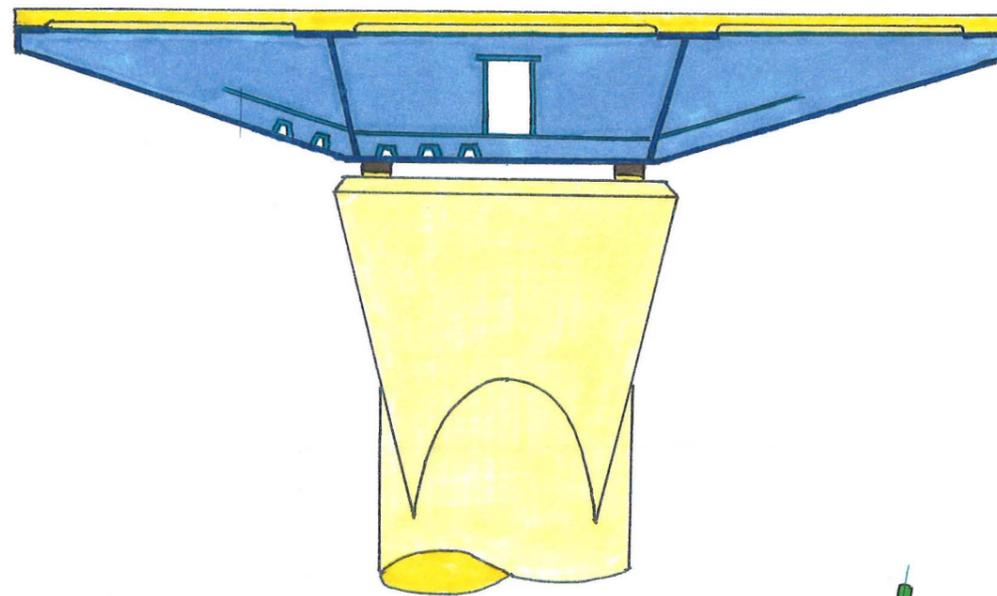
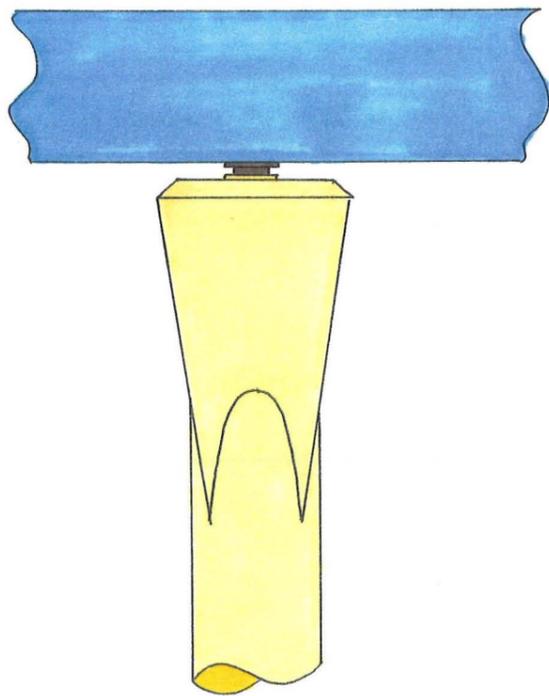
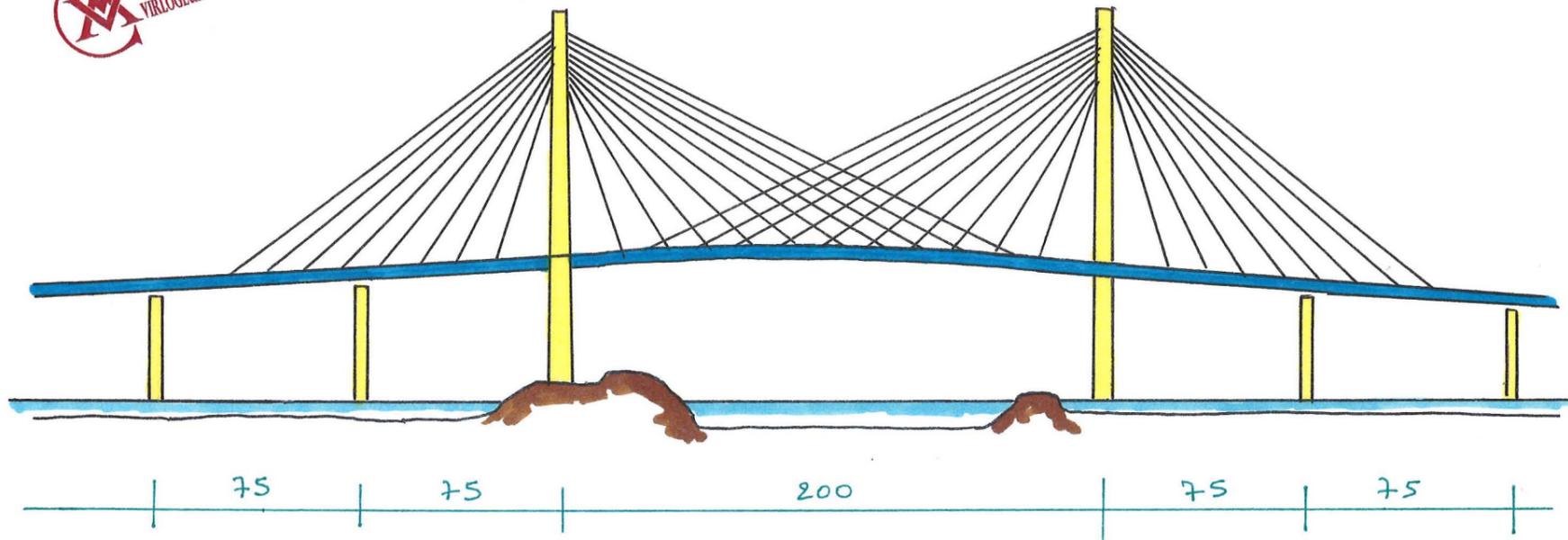
PONT CHAMPLAIN



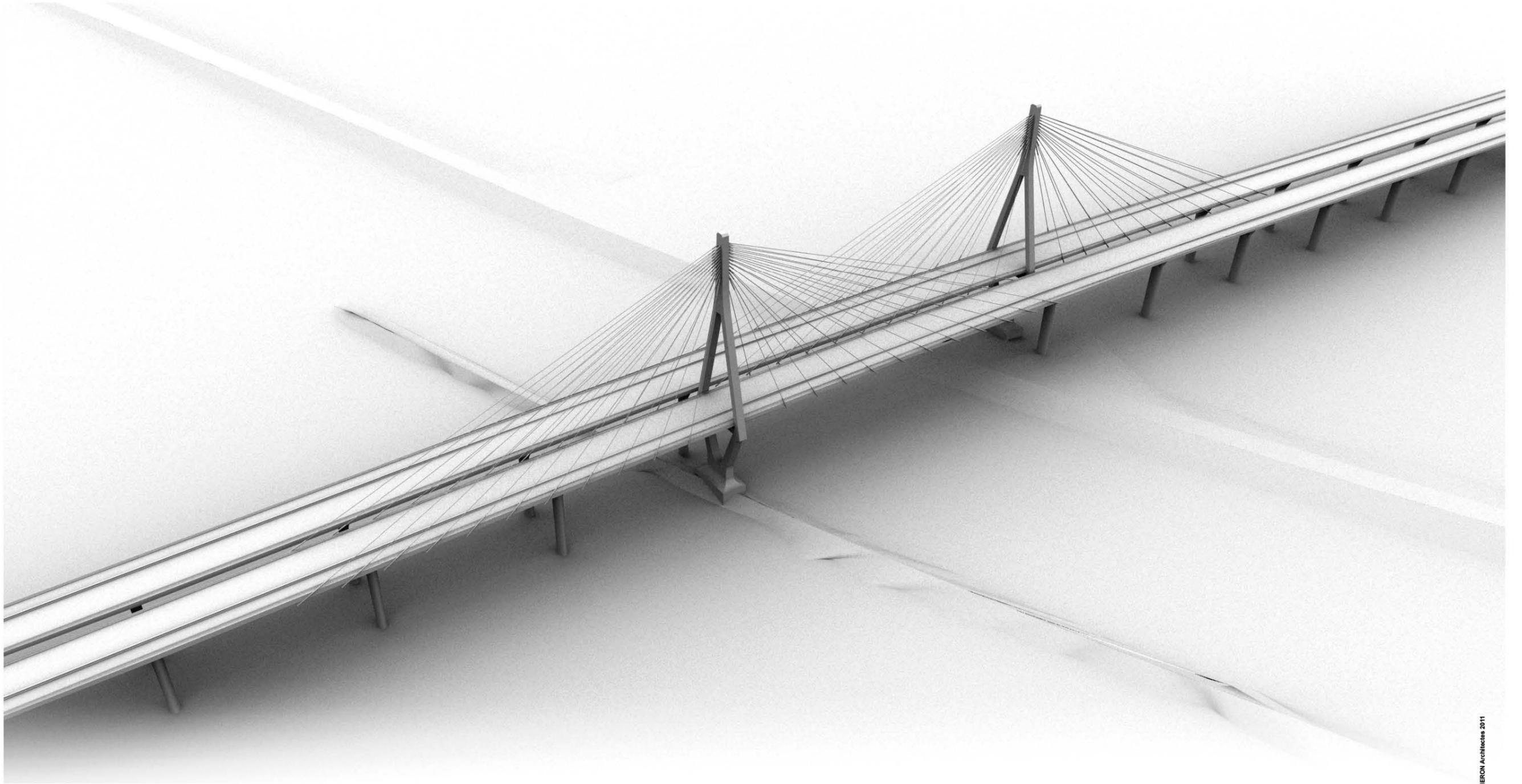
Solution 7A



Solution 7B



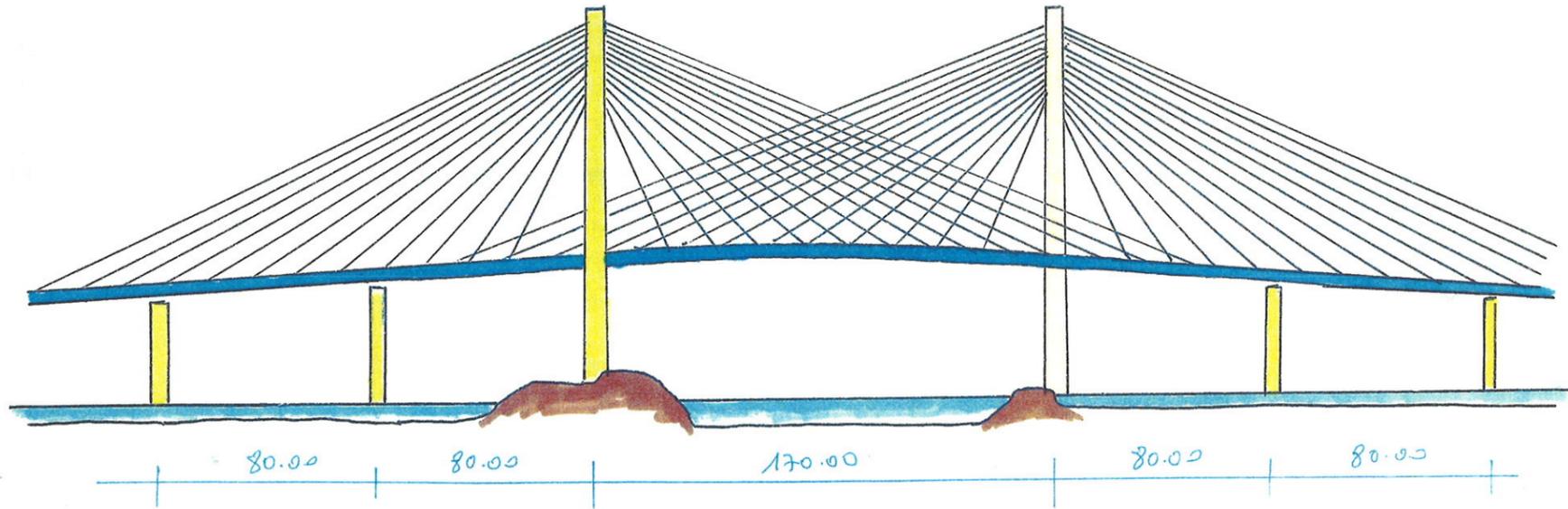
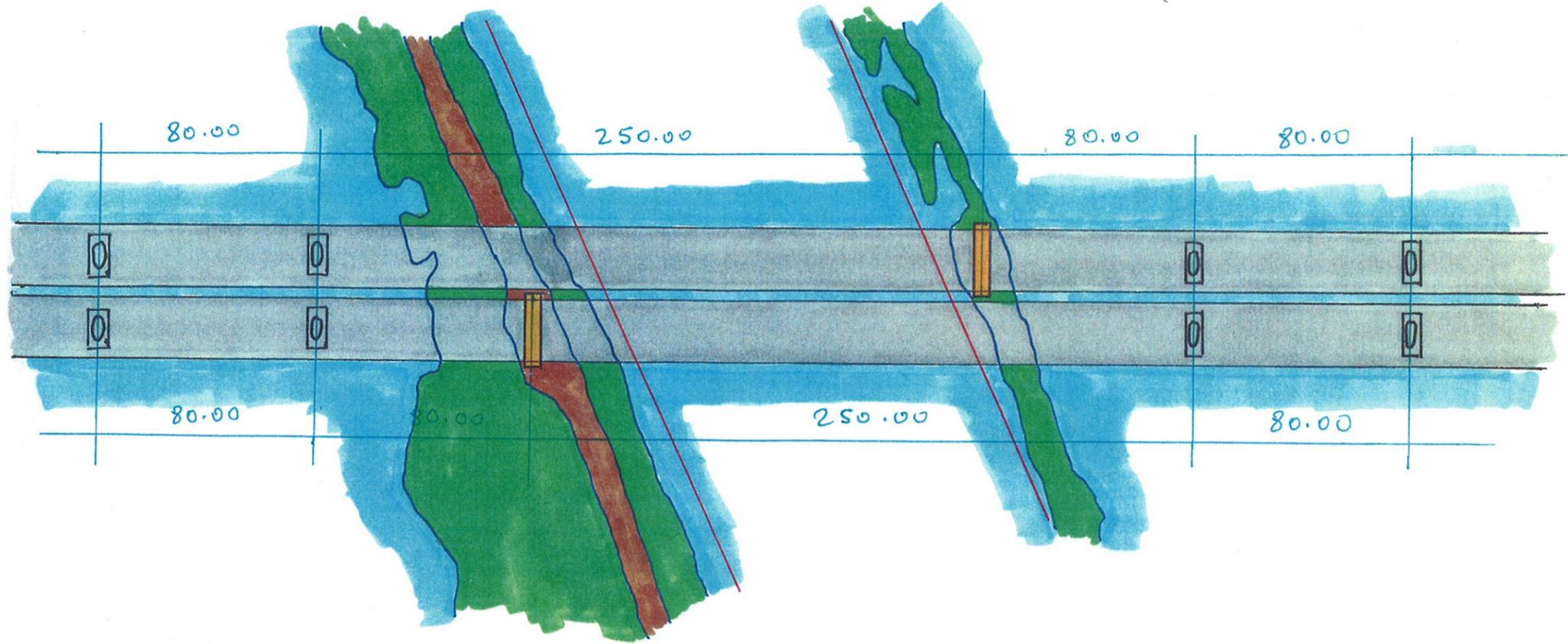
Solution 7C



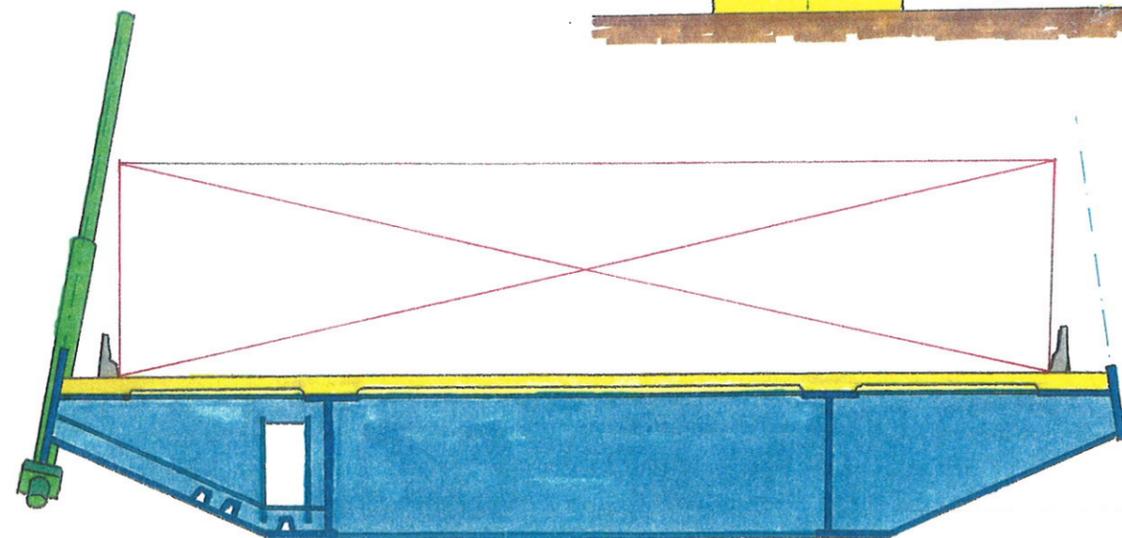
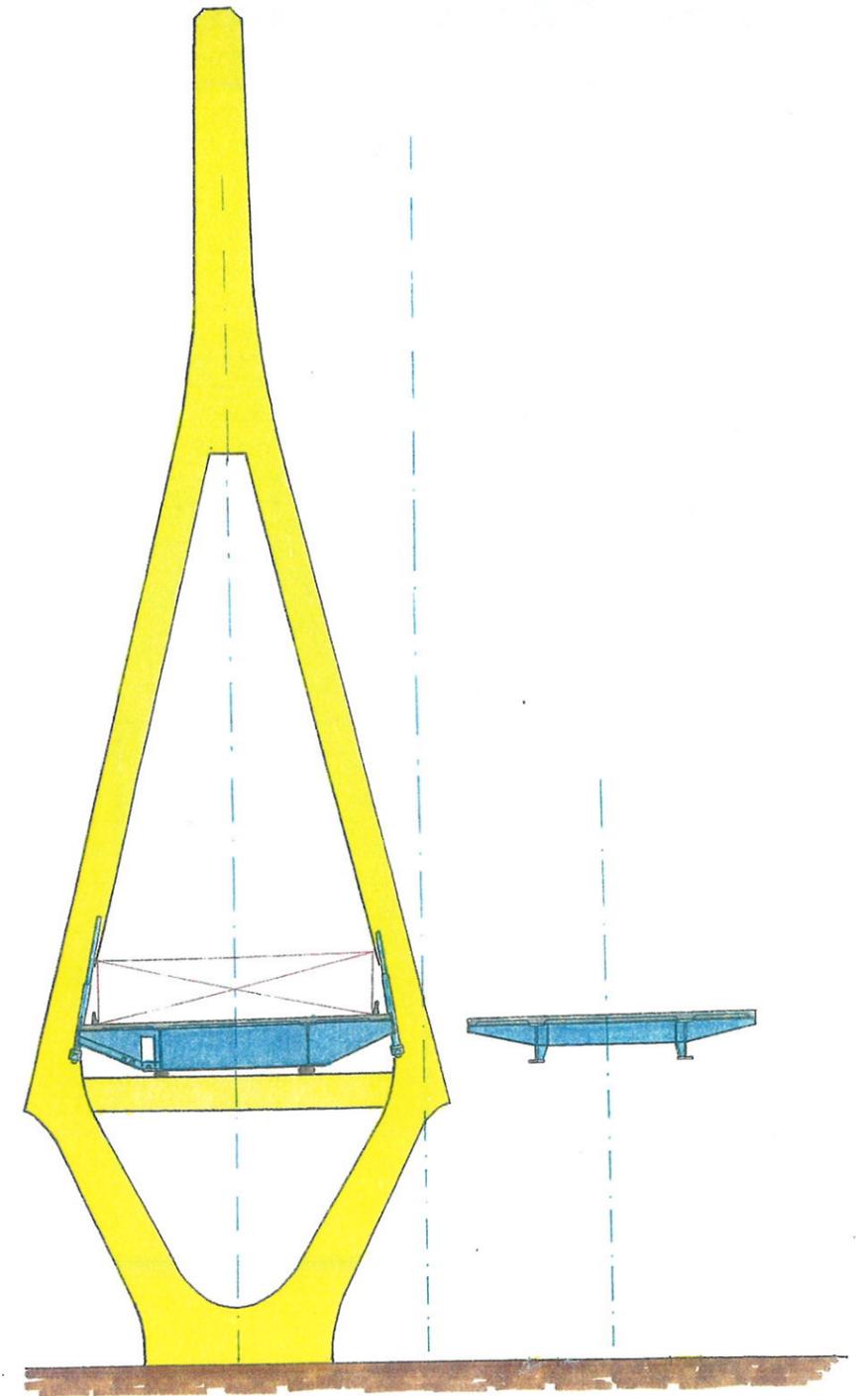
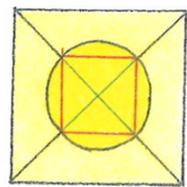
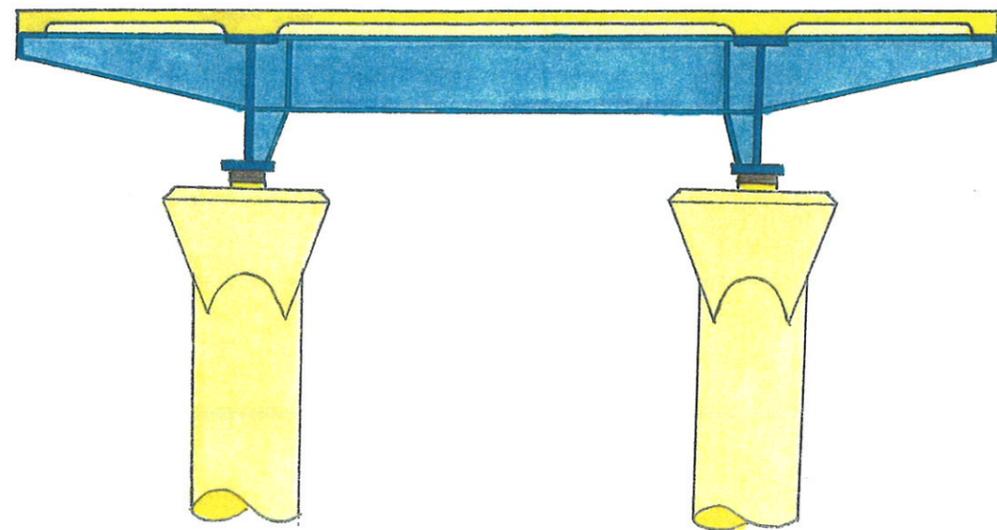
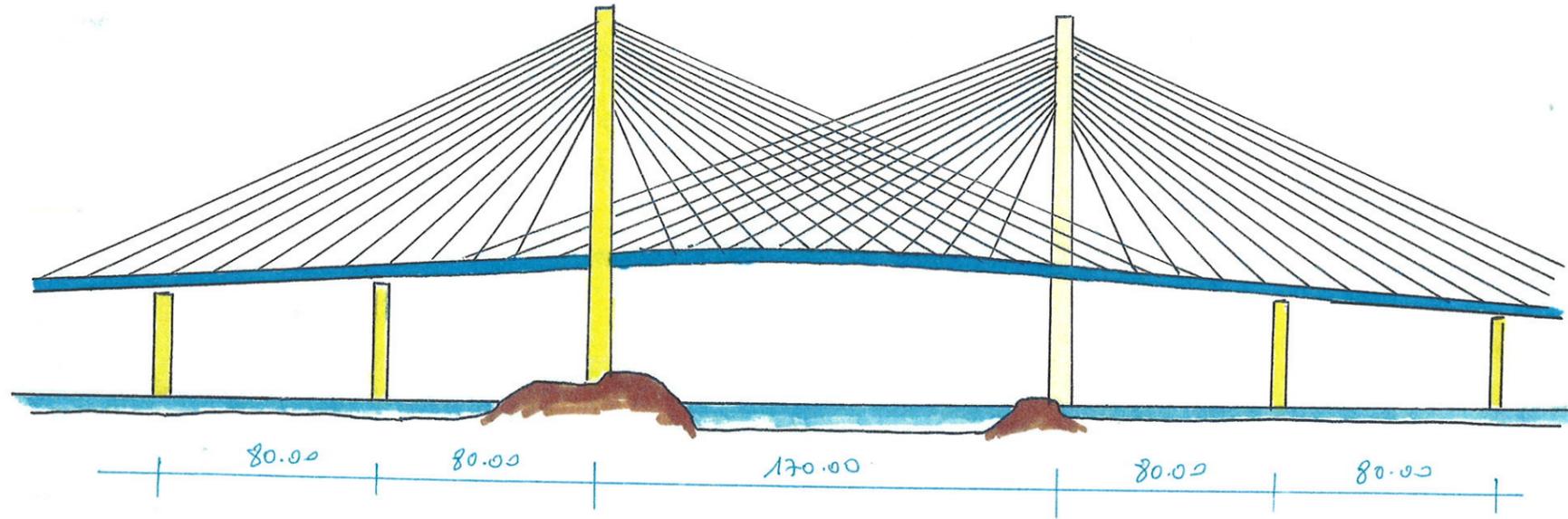
PONT CHAMPLAIN



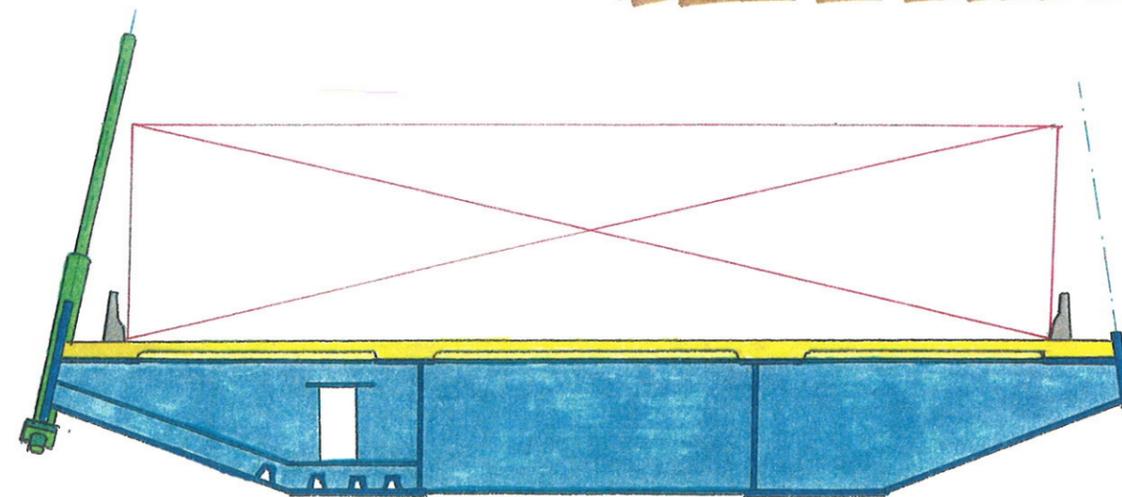
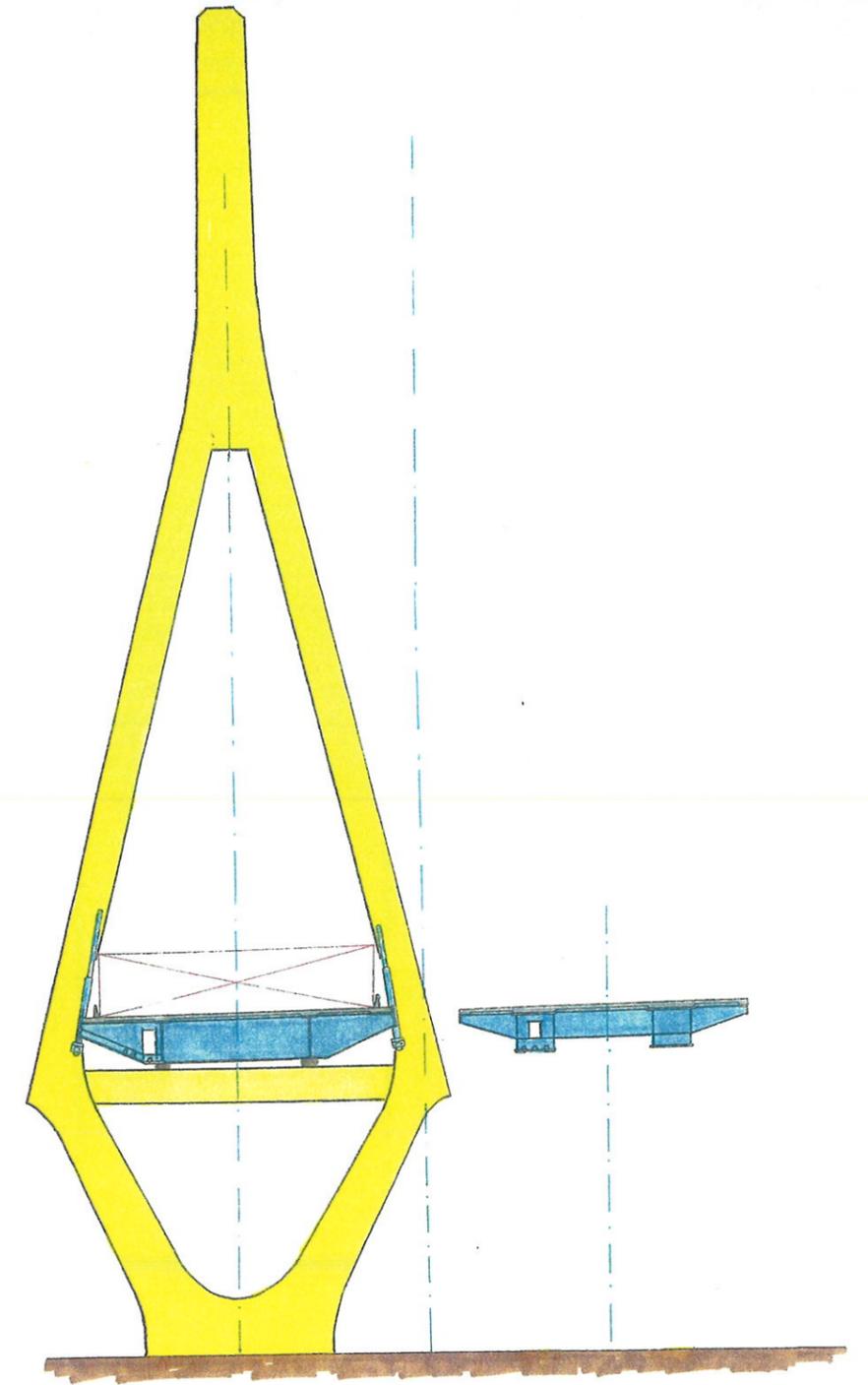
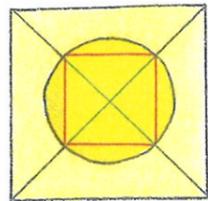
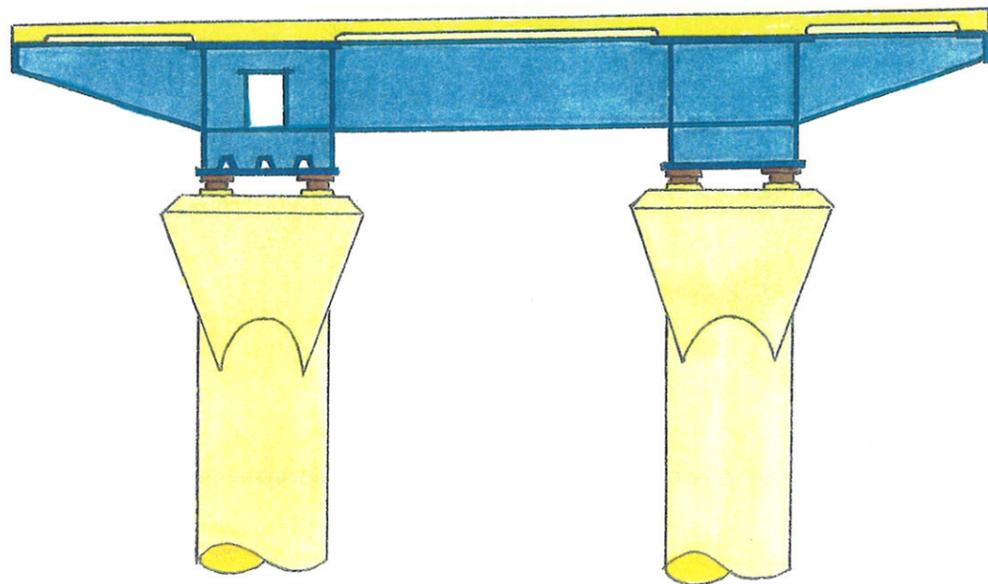
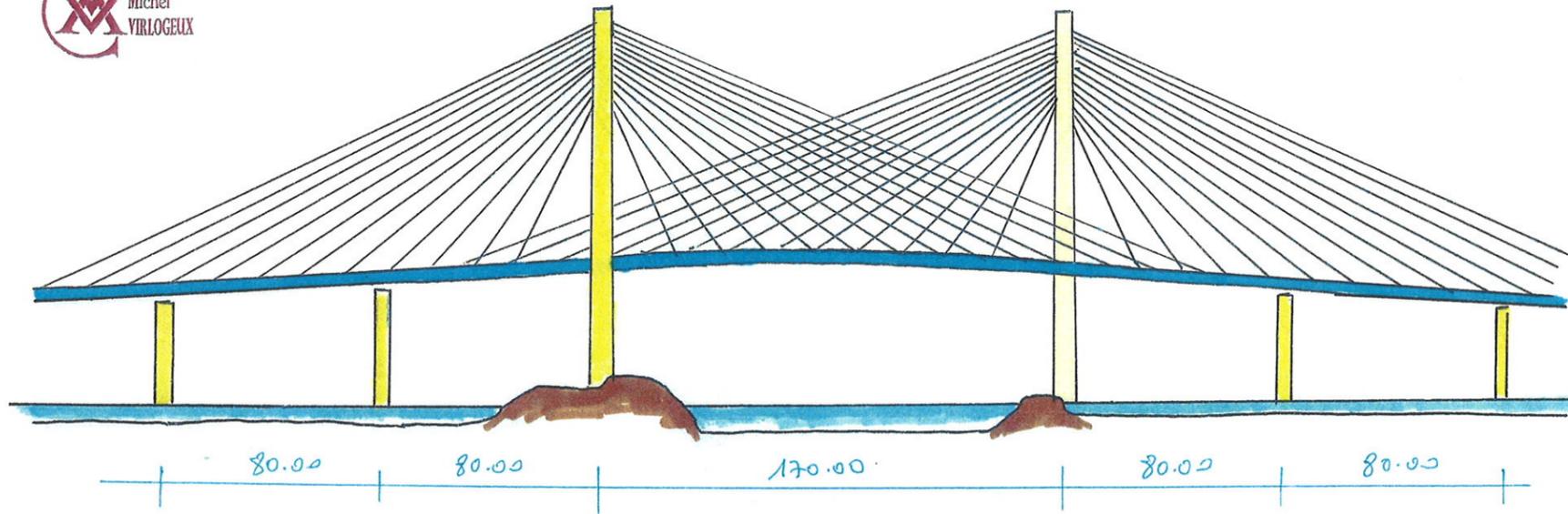
PONT CHAMPLAIN



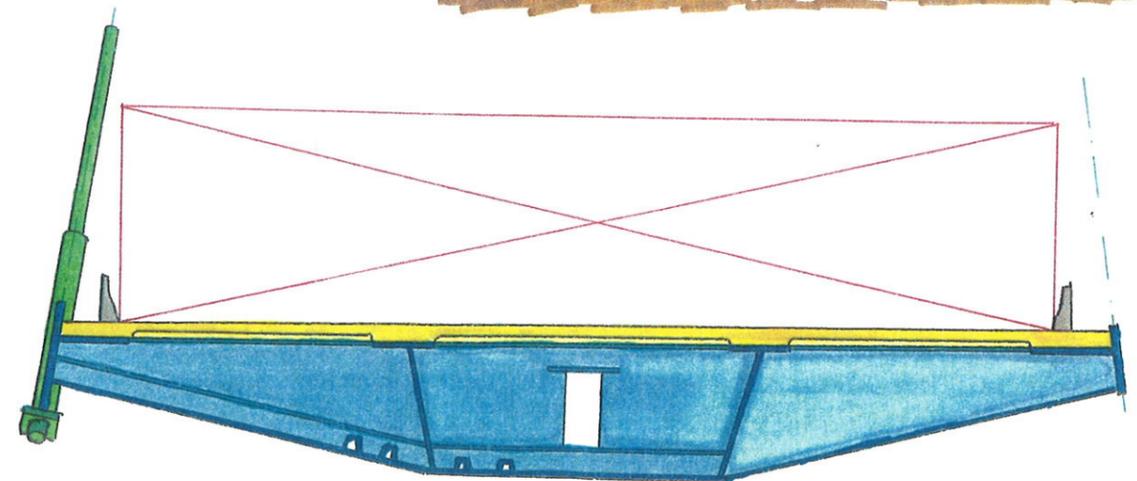
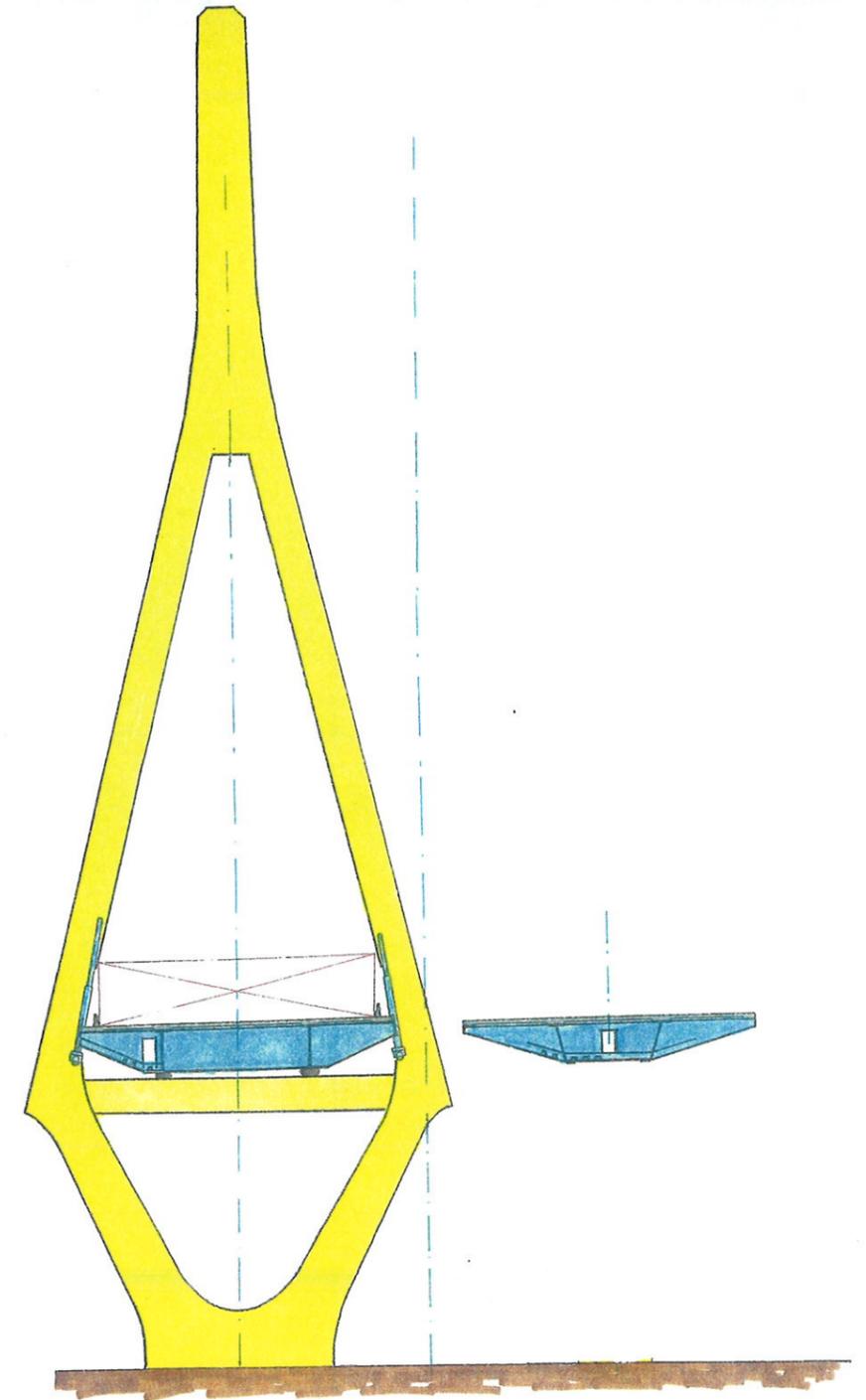
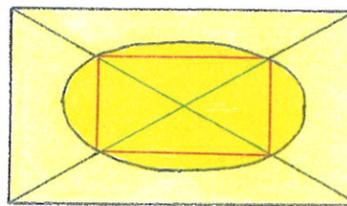
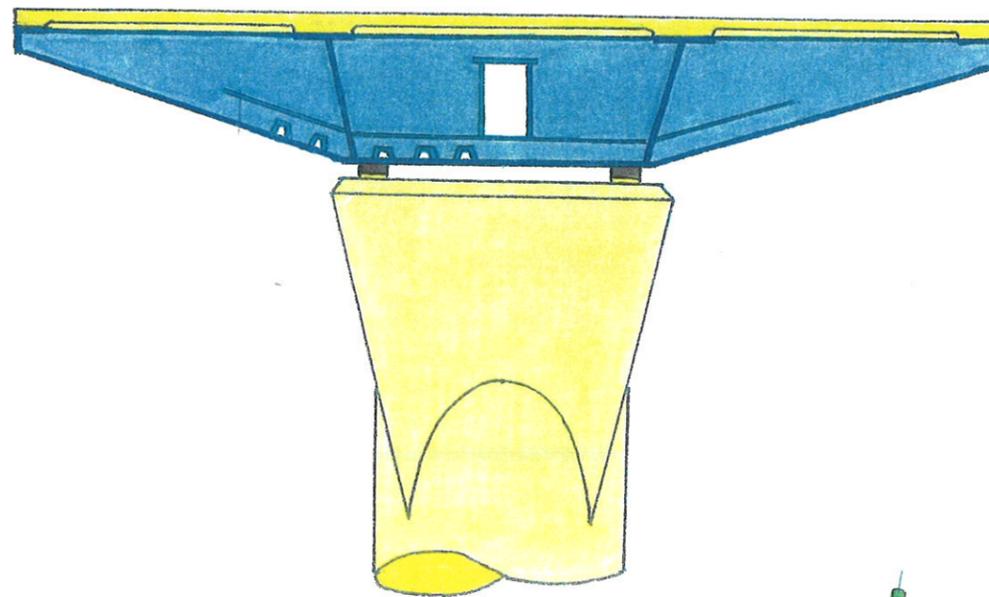
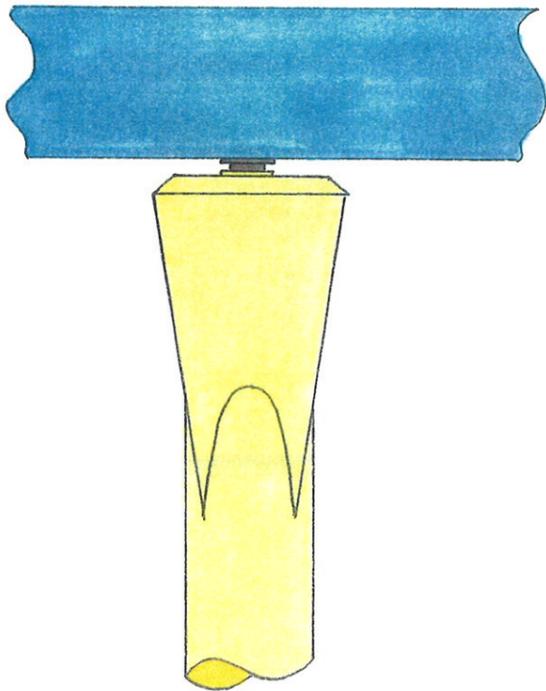
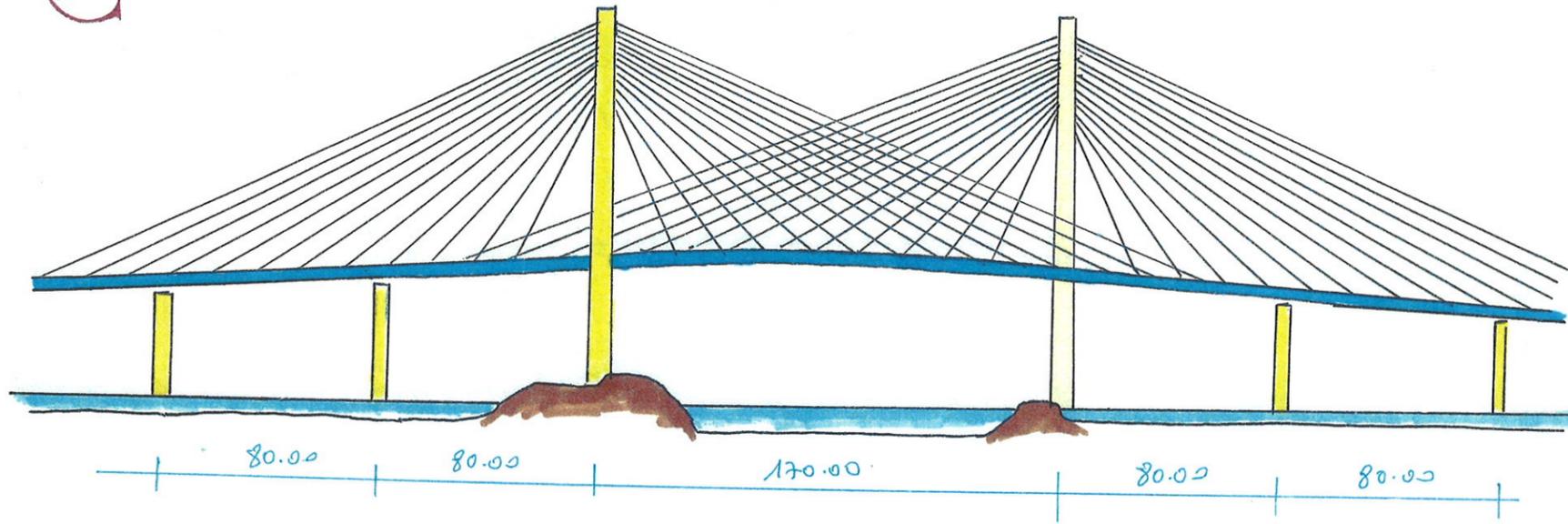
Solutions 8



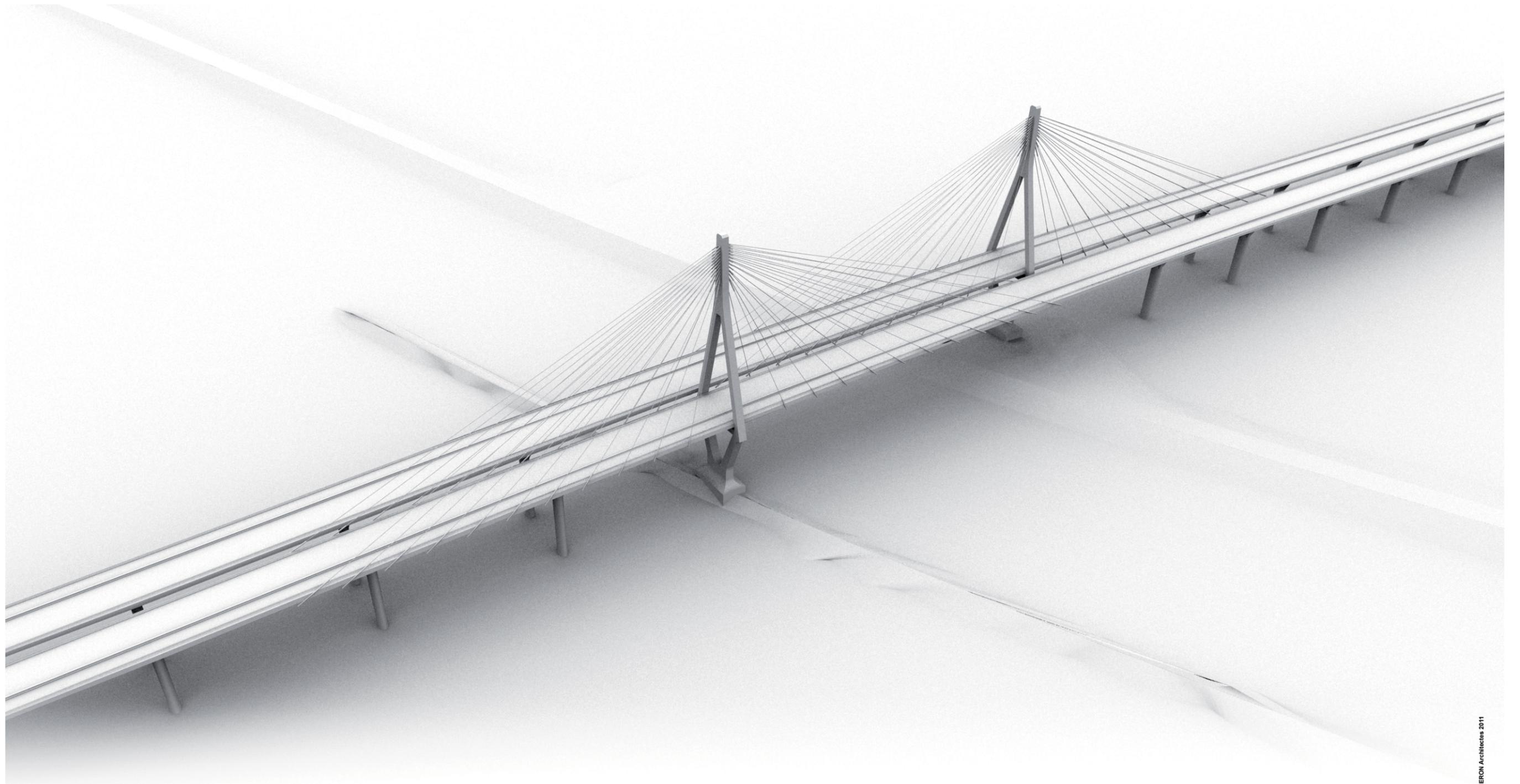
Solution 8A



Solution 8B



Solution 8C



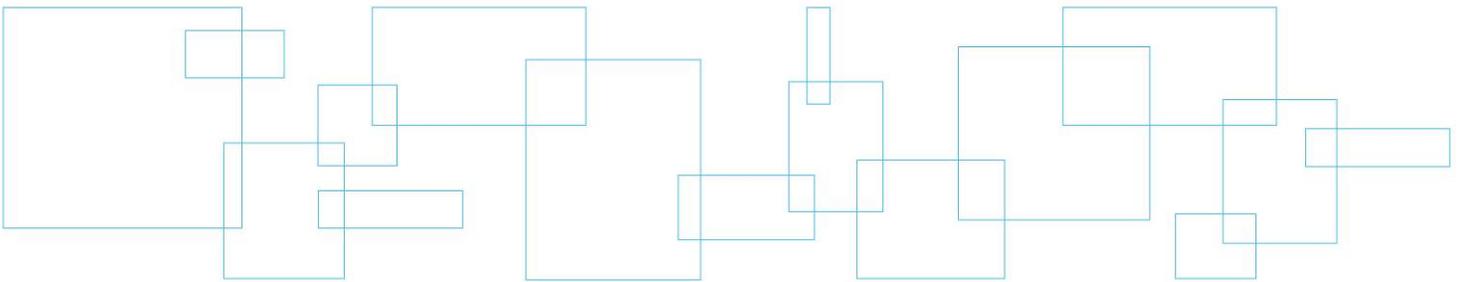
PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



Annexe 4-2 Plans (24 pages)



61100-04-01



AUCUNE ÉCHELLE / NOT TO SCALE

TABLEAU DES FEUILLES	
NUMÉRO FEUILLE	TITRE DE LA FEUILLE
61100-04-01	PAGE TITRE
61100-04-02	VARIANTES 1 @ 3 - CHAINAGE 13+800 @ 14+800 VUE EN PLAN
61100-04-03	VARIANTES 1 @ 3 - CHAINAGE 14+800 @ 15+800 VUE EN PLAN
61100-04-04	VARIANTES 1 @ 3 - CHAINAGE 15+800 @ 16+400 VUE EN PLAN & ÉLEVATION
61100-04-05	VARIANTES 1 @ 3 - CHAINAGE 16+400 @ 16+400 COUPES LONGITUDINALES
61100-04-06	VARIANTES 1 @ 3 - CHAINAGE 16+400 @ 17+300 VUE EN PLAN
61100-04-07	VARIANTE 1A - POUTRE CAISSON - BÉTON COUPES & ÉLEVATIONS
61100-04-08	VARIANTE 1B - POUTRE CAISSON - BÉTON COUPES
61100-04-09	VARIANTE 2 - POUTRE CAISSON - BÉTON & ACIER COUPES
61100-04-10	VARIANTES 3A & 3B - POUTRE ACIER & POUTRE CAISSON ACIER COUPES
61100-04-11	VARIANTES 3C & 3D - POUTRE CAISSON - ACIER COUPES
61100-04-12	VARIANTE 4 - CHAINAGE 13+800 @ 14+800 VUE EN PLAN
61100-04-13	VARIANTE 4 - CHAINAGE 14+800 @ 15+800 VUE EN PLAN
61100-04-14	VARIANTE 4 - CHAINAGE 15+800 @ 16+400 VUE EN PLAN & COUPE LONGITUDINALE
61100-04-15	VARIANTE 4 - CHAINAGE 16+400 @ 17+300 VUE EN PLAN
61100-04-16	VARIANTES 4A & 4B - CADRE V - ACIER COUPES
61100-04-17	VARIANTES 4C & 4D - CADRE V - ACIER COUPES
61100-04-18	VARIANTE 5 - CHAINAGE 13+800 @ 14+800 VUE EN PLAN
61100-04-19	VARIANTE 5 - CHAINAGE 14+800 @ 15+800 VUE EN PLAN
61100-04-20	VARIANTE 5 - CHAINAGE 15+800 @ 16+400 VUE EN PLAN & ÉLEVATION
61100-04-21	VARIANTE 5 - CHAINAGE 16+400 @ 17+300 VUE EN PLAN
61100-04-22	VARIANTE 6 - POUTRE CAISSON - ACIER COUPES
61100-04-23	VARIANTE 7 - CHAINAGE 15+800 @ 16+400 VUE EN PLAN & ÉLEVATION
61100-04-24	VARIANTE 7 - POUTRE CAISSON - ACIER COUPES

SHEET INDEX	
SHEET NUMBER	SHEET TITLE
61100-04-01	TITLE PAGE
61100-04-02	VARIANTS 1 @ 3 - STATION 13+800 @ 14+800 PLAN VIEW
61100-04-03	VARIANTS 1 @ 3 - STATION 14+800 @ 15+800 PLAN VIEW
61100-04-04	VARIANTS 1 @ 3 - STATION 15+800 @ 16+400 PLAN VIEW & ELEVATION
61100-04-05	VARIANTS 1 @ 3 - STATION 16+400 @ 16+400 LONGITUDINAL SECTIONS
61100-04-06	VARIANTS 1 @ 3 - STATION 16+400 @ 17+300 PLAN VIEW
61100-04-07	VARIANT 1A - BOX GIRDER - CONCRETE SECTIONS & ELEVATIONS
61100-04-08	VARIANT 1B - BOX GIRDER - CONCRETE SECTIONS
61100-04-09	VARIANT 2 - BOX GIRDER - CONCRETE & STEEL SECTIONS
61100-04-10	VARIANTES 3A & 3B - STEEL GIRDER & STEEL BOX GIRDER SECTIONS
61100-04-11	VARIANTES 3C & 3D - BOX GIRDER - STEEL SECTIONS
61100-04-12	VARIANT 4 - STATION 13+800 @ 14+800 PLAN VIEW
61100-04-13	VARIANT 4 - STATION 14+800 @ 15+800 PLAN VIEW
61100-04-14	VARIANT 4 - STATION 15+800 @ 16+400 PLAN VIEW & LONGITUDINAL SECTION
61100-04-15	VARIANT 4 - STATION 16+400 @ 17+300 PLAN VIEW
61100-04-16	VARIANTES 4A & 4B - FRAME V - STEEL SECTIONS
61100-04-17	VARIANTES 4C & 4D - FRAME V - STEEL SECTIONS
61100-04-18	VARIANT 5 - STATION 13+800 @ 14+800 PLAN VIEW
61100-04-19	VARIANT 5 - STATION 14+800 @ 15+800 PLAN VIEW
61100-04-20	VARIANT 5 - STATION 15+800 @ 16+400 PLAN VIEW & ELEVATION
61100-04-21	VARIANT 5 - STATION 16+400 @ 17+300 PLAN VIEW
61100-04-22	VARIANT 6 - BOX GIRDER - STEEL SECTIONS
61100-04-23	VARIANT 7 - STATION 15+800 @ 16+400 PLAN VIEW & ELEVATION
61100-04-24	VARIANT 7 - BOX GIRDER - STEEL SECTIONS

ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009) PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)



Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée
The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated



Revision: 0	Description: RAPPORT FINAL FINAL REPORT	Date: 2011-02-21
No. DG 128823	Concepteur/ Designer: Bertrand Voutaz, ing.	Int.
No. OD 32917	Approuvé/ Approved: Christian Lemay, ing.	Int.
Source:		



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



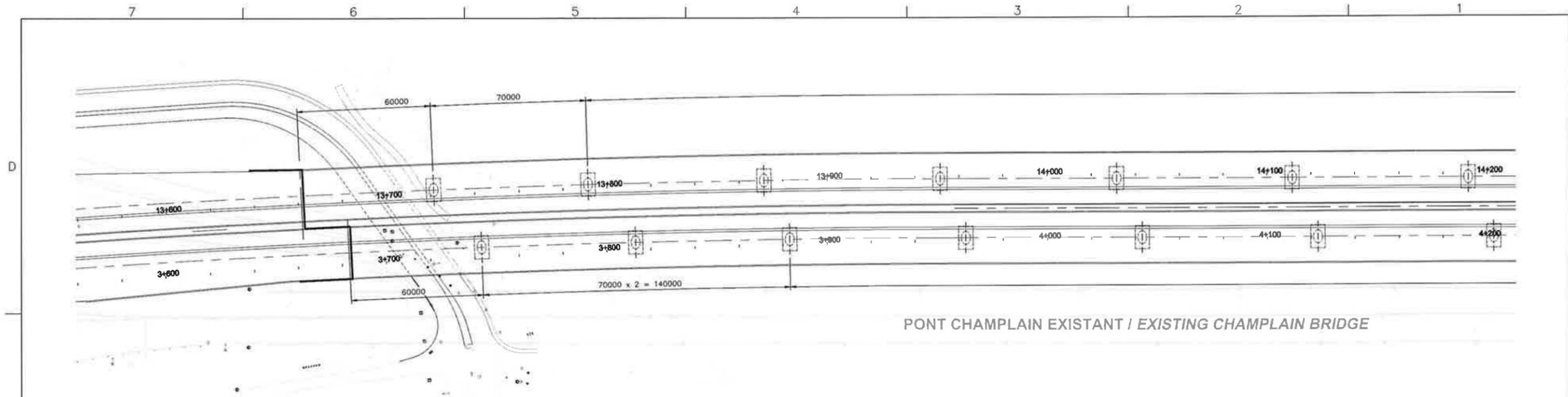
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
PAGE TITRE

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
SHEET TITLE

Échelle / Scale: AUCUNE ÉCHELLE / NO TO SCALE	Date: 2010-11-05
Dessiné / Drawn: Simon Portny	Vérifié / Checked: Claudia Bolinez, ing.
Conçu / Designed: Bertrand Voutaz, ing.	Approuvé / Approved: Christian Lemay, ing.
No. Contrat / Contract No.: 61100	
No. Dessin / Drawing No.: 61100-04-01	Rév. / Rev.: 0

File I. D. No. 61100-04-01.dwg

61100-04-02a06

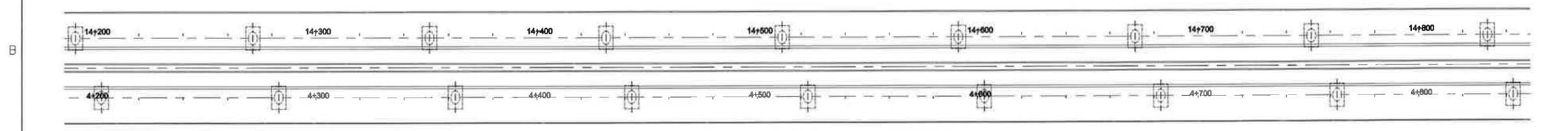


PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

80000 x 26 = 208000



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

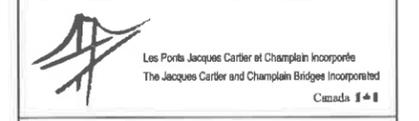
VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemoy, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
 Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
 ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
 REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISIBILITÉ PORTANT SUR
 SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
 PONT CHAMPLAIN (2009)
 VARIANTES 1 @ 3
 CHAINAGE 13+600 @ 14+800
 VUE EN PLAN

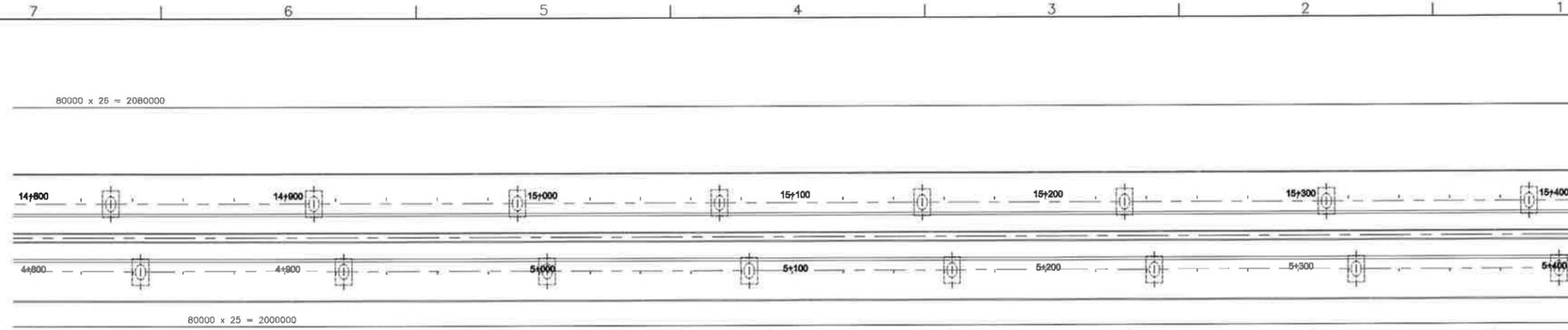
PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
 THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
 CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
 VARIANTES 1 @ 3
 STATION 13+600 @ 14+800
 PLAN VIEW

Échelle / Scale	1=1000	Date	2010-11-05
Projet / Project	Simon Portny	Projet / Project	Claudia Boiaimez, ing.
Projet / Project	Bertrand Voutaz, ing.	Projet / Project	Christian Lemoy, ing.

61100
 61100-04-02 0

File: I. D. No. 61100-04-02a06.dwg

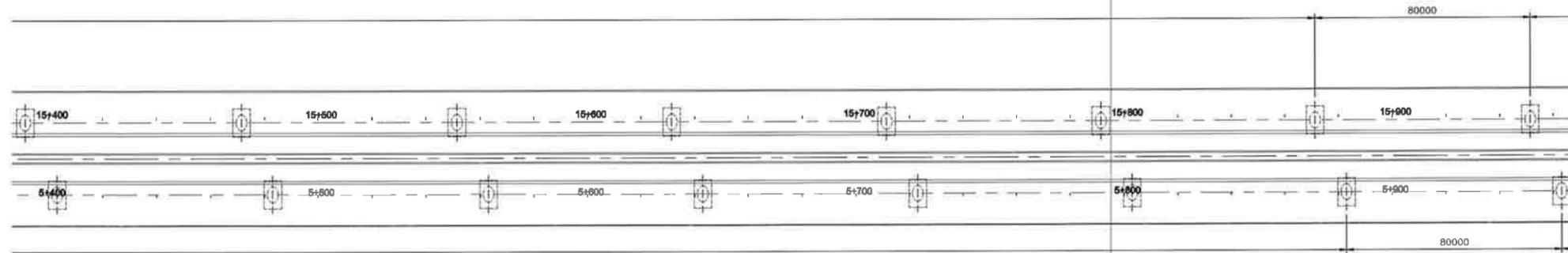
61100-04-02a06



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

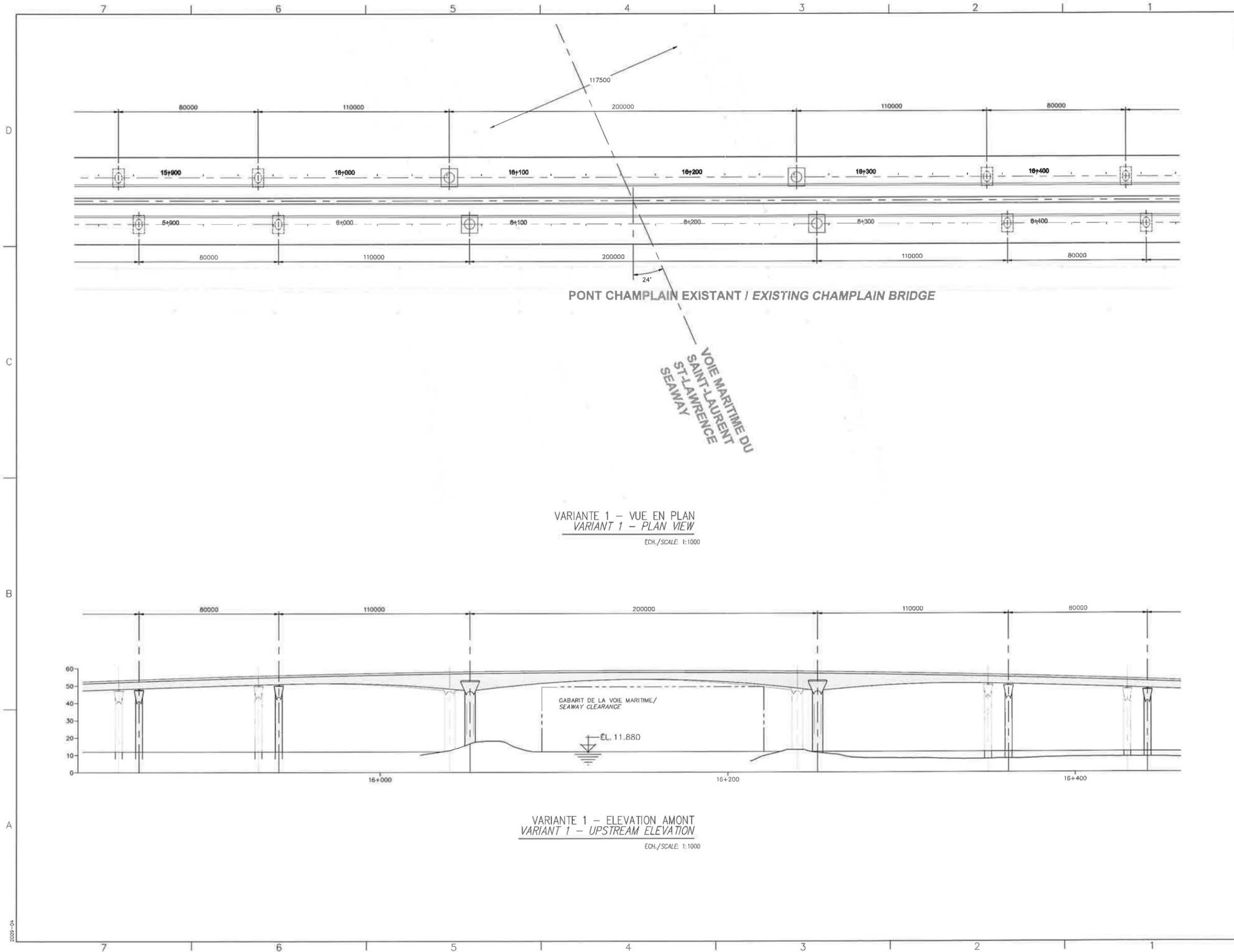


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 1 @ 3
CHAINAGE 14+800 @ 15+900
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 1 @ 3
STATION 14+800 @ 15+900
PLAN VIEW

Échelle de dessin	1=1000	Date	2010-11-05
Élaboré par	Simon Portny	Approuvé par	Claudia Bolainez, ing.
Revisé par	Bertrand Voutaz, ing.	Revisé par	Christian Lemay, ing.
N° de projet	61100		
N° de dessin	61100-04-03		
N° de version	0		

61100-04-02a06



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VOIE MARITIME DU
ST-LAURENT
SEAWAY

VARIANTE 1 - VUE EN PLAN
VARIANT 1 - PLAN VIEW

ECH./SCALE 1:1000

VARIANTE 1 - ELEVATION AMONT
VARIANT 1 - UPSTREAM ELEVATION

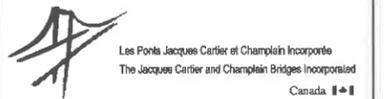
ECH./SCALE 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120693	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemay, ing.	



CONSORTIUM BCDE
CIMA DESSAU @egis

Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

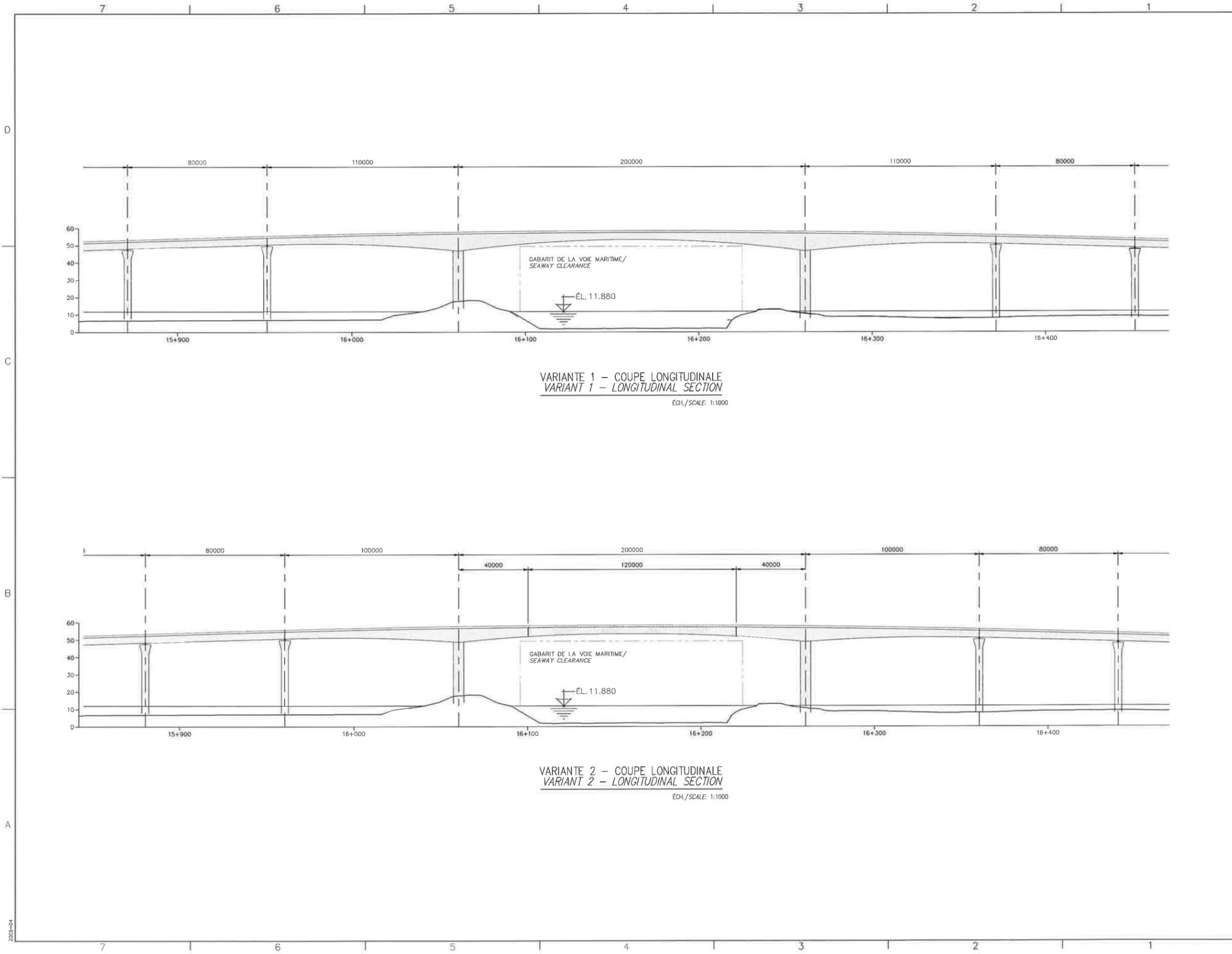


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 1 @ 3
CHAINAGE 15+900 @ 16+400
VUE EN PLAN ET ÉLEVATION

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 1 @ 3
STATION 15+900 @ 16+400
PLAN VIEW & ELEVATION

1=1000	2010-11-05
Simon Portny	Claudio Bolainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.
61100	
61100-04-04	0

61100-04-02a06



VARIANTE 1 - COUPE LONGITUDINALE
VARIANT 1 - LONGITUDINAL SECTION

ECH./SCALE: 1:1000

VARIANTE 2 - COUPE LONGITUDINALE
VARIANT 2 - LONGITUDINAL SECTION

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
12893	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 1 @ 3
CHAINAGE 15+900 @ 16+400
COUPES LONGITUDINALES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 1 @ 3
STATION 15+900 @ 16+400
LONGITUDINAL SECTIONS

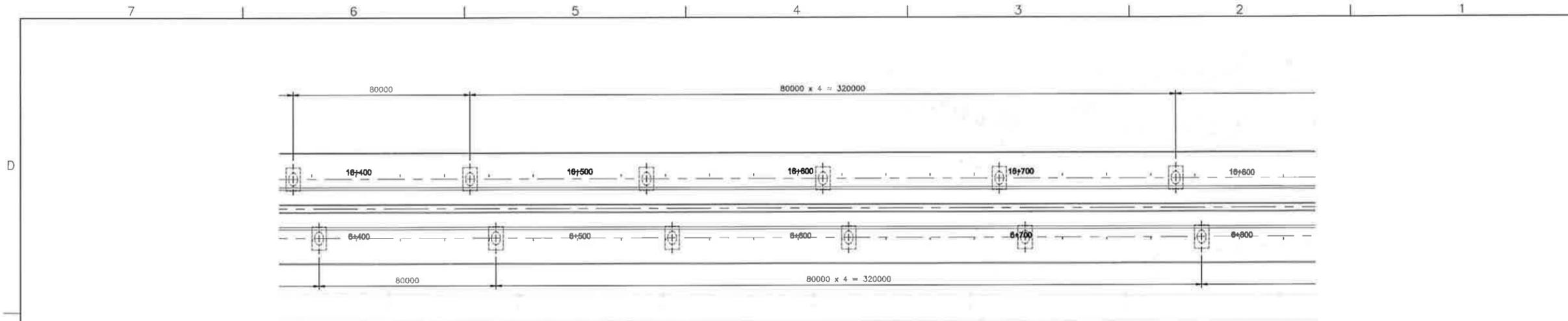
1=1000	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Bolainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.

61100

61100-04-05 0

File I. D. No. 61100-04-02a06.dwg

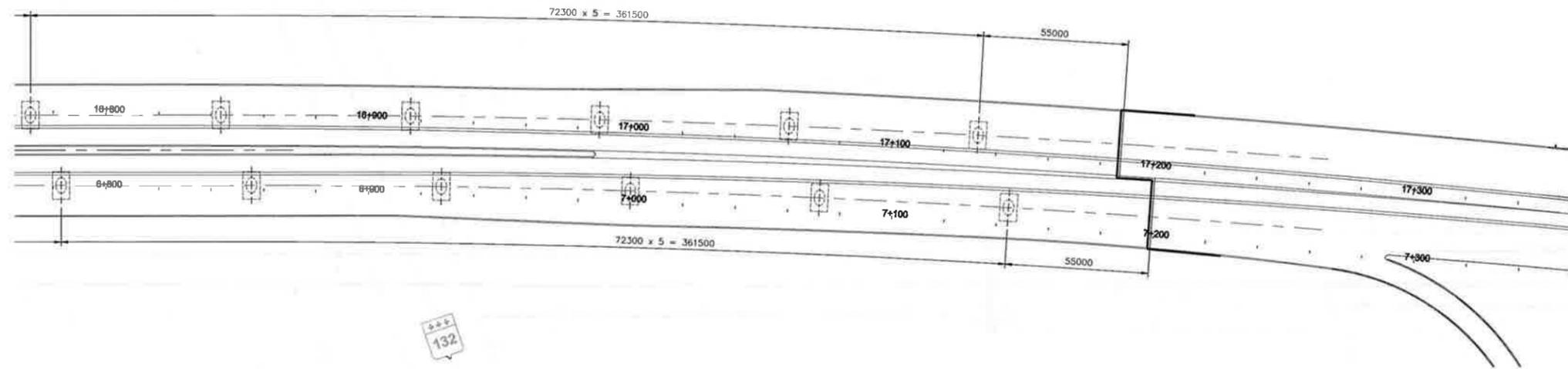
61100-04-02a06



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ÉCH./SCALE: 1:1000



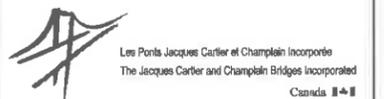
VARIANTES 1 @ 3 - VUE EN PLAN
VARIANTS 1 @ 3 - PLAN VIEW

ÉCH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120993	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 1 @ 3
CHAINAGE 16+400 @ 17+300
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 1 @ 3
STATION 16+400 @ 17+300
PLAN VIEW

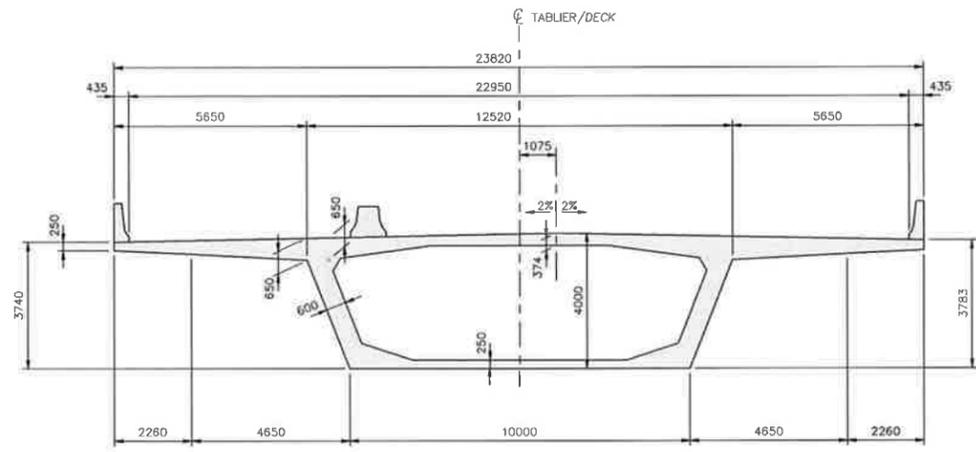
1:1000	2010-11-05
Simon Portny	Claudio Bolainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.

61100

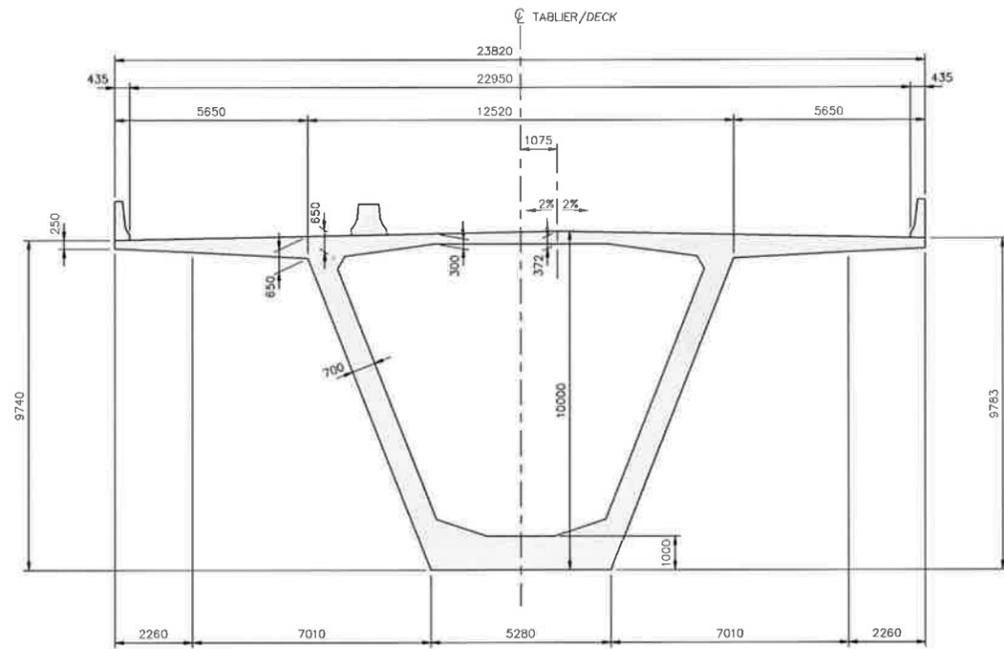
61100-04-06

0

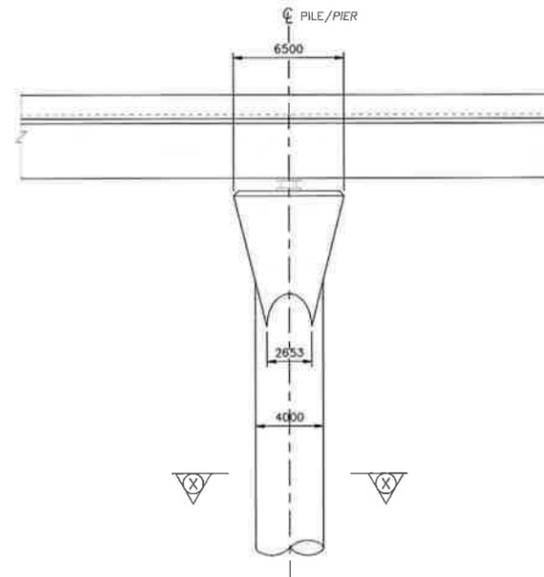
61100-04-07



TRAVÉES COURANTES / TYPICAL SPANS
COUPE/SECTION 1A-1
ÉCH./SCALE: 1:100



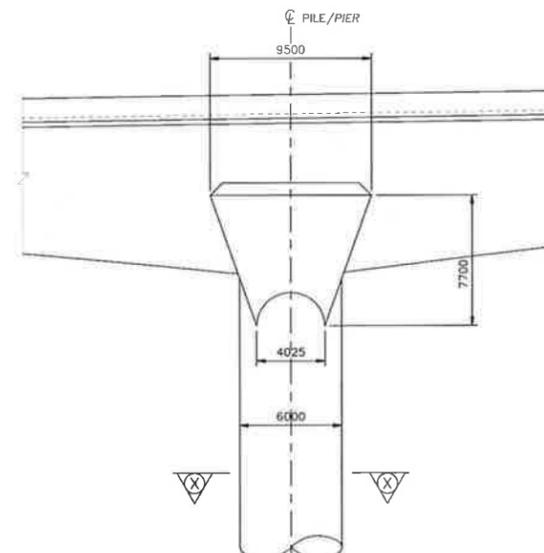
À LA PILE / AT SUPPORT
(VOIE MARITIME) / (SEAWAY)
COUPE/SECTION 1A-2
ÉCH./SCALE: 1:100



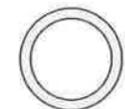
ÉLEVATION
ELEVATION
ÉCH./SCALE: 1:200



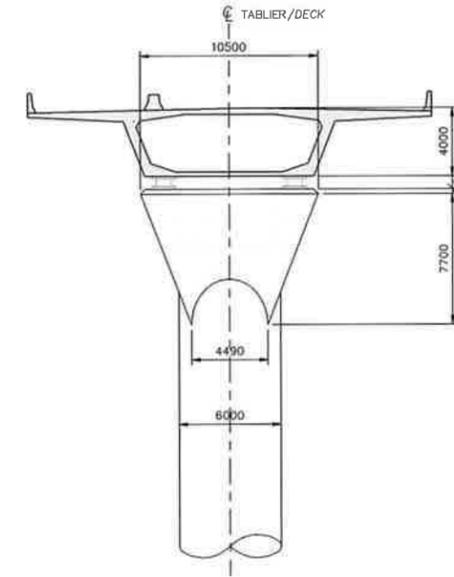
COUPE/SECTION X-X
ÉCH./SCALE: 1:200



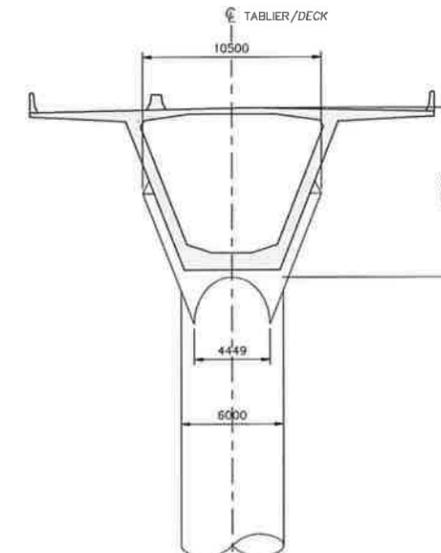
ÉLEVATION
ELEVATION
ÉCH./SCALE: 1:200



COUPE/SECTION X-X
ÉCH./SCALE: 1:200



COUPE/SECTION 1A-1
ÉCH./SCALE: 1:200

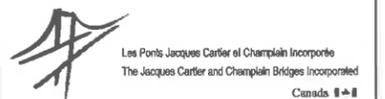


COUPE/SECTION 1A-2
ÉCH./SCALE: 1:200

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 1A
POUTRE CAISSON - BÉTON
COUPES & ÉLEVATIONS

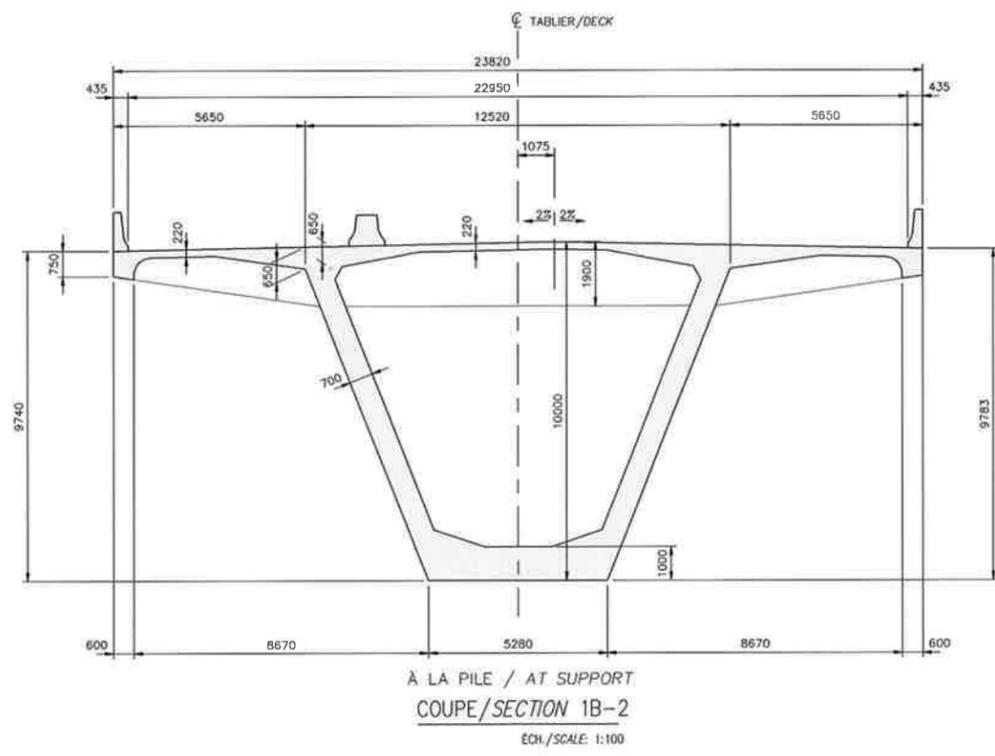
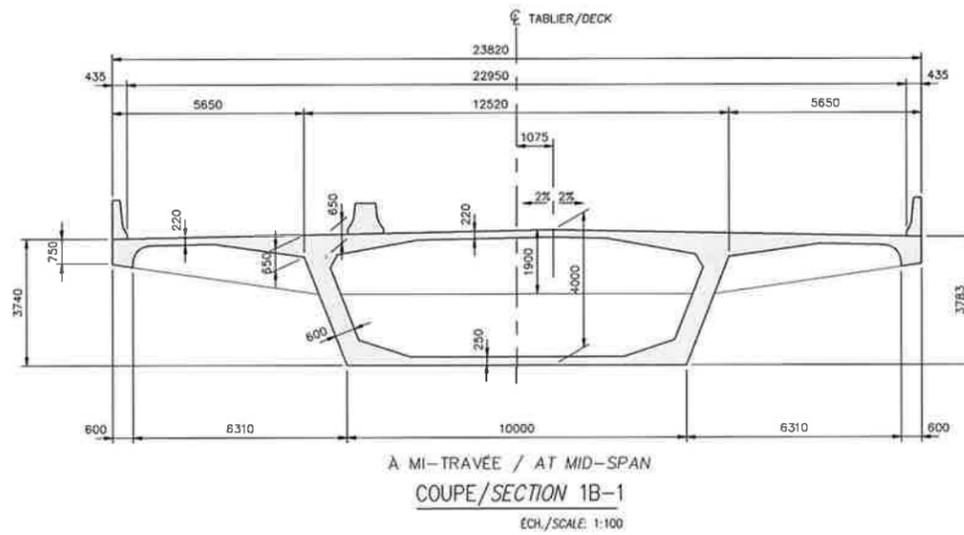
PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 1A
BOX GIRDER - CONCRETE
SECTIONS & ELEVATIONS

INDIQUÉE/AS SHOWN	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Bolajnez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.

61100

61100-04-07 0

61100-04-08



0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres.
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



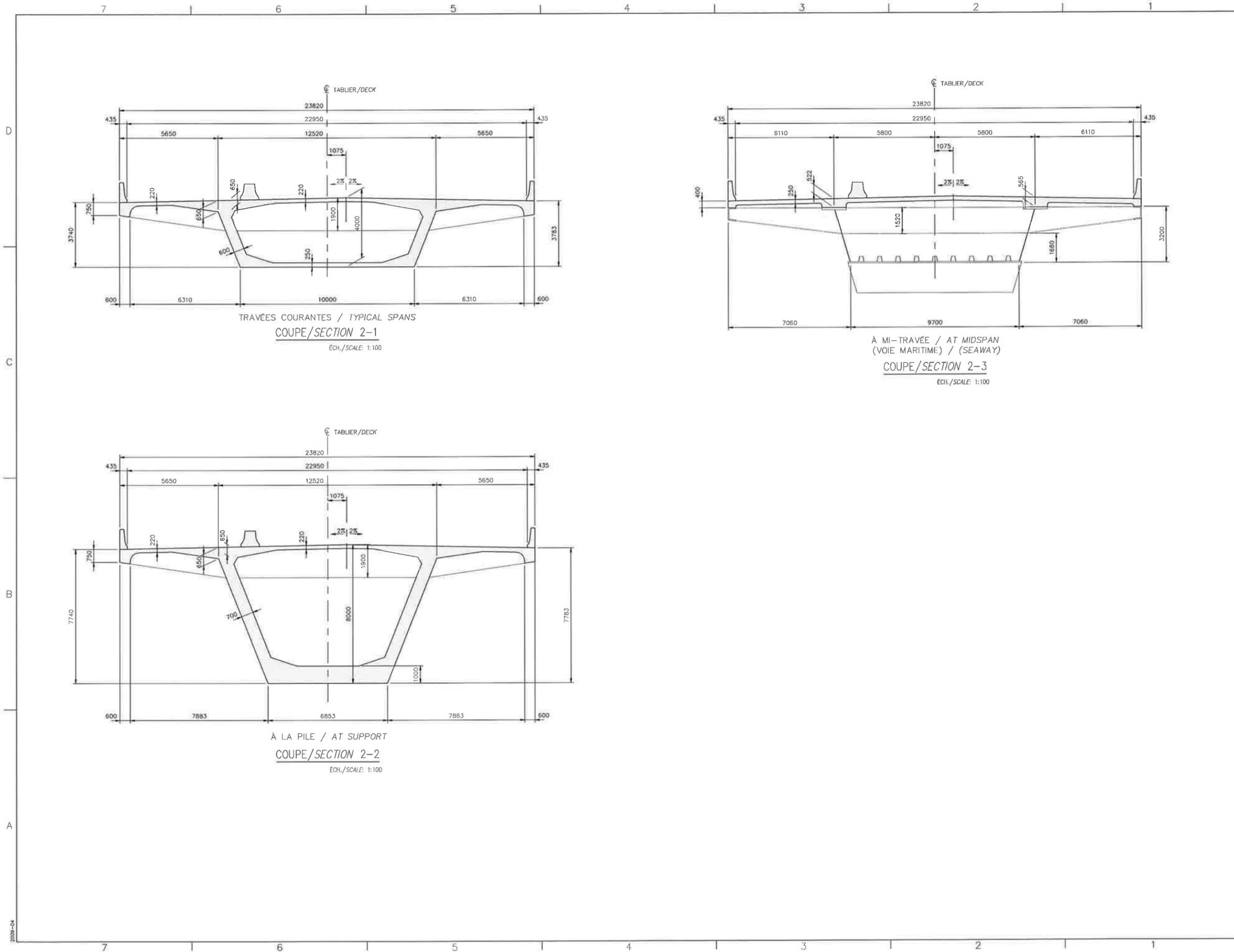
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 1B
POUTRE CAISSON - BÉTON
COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 1B
BOX GIRDER - CONCRETE
SECTIONS

1=100	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Balainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.
61100	
61100-04-08	0

File I. D. No. 61100-04-08.dwg

61100-04-09



0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

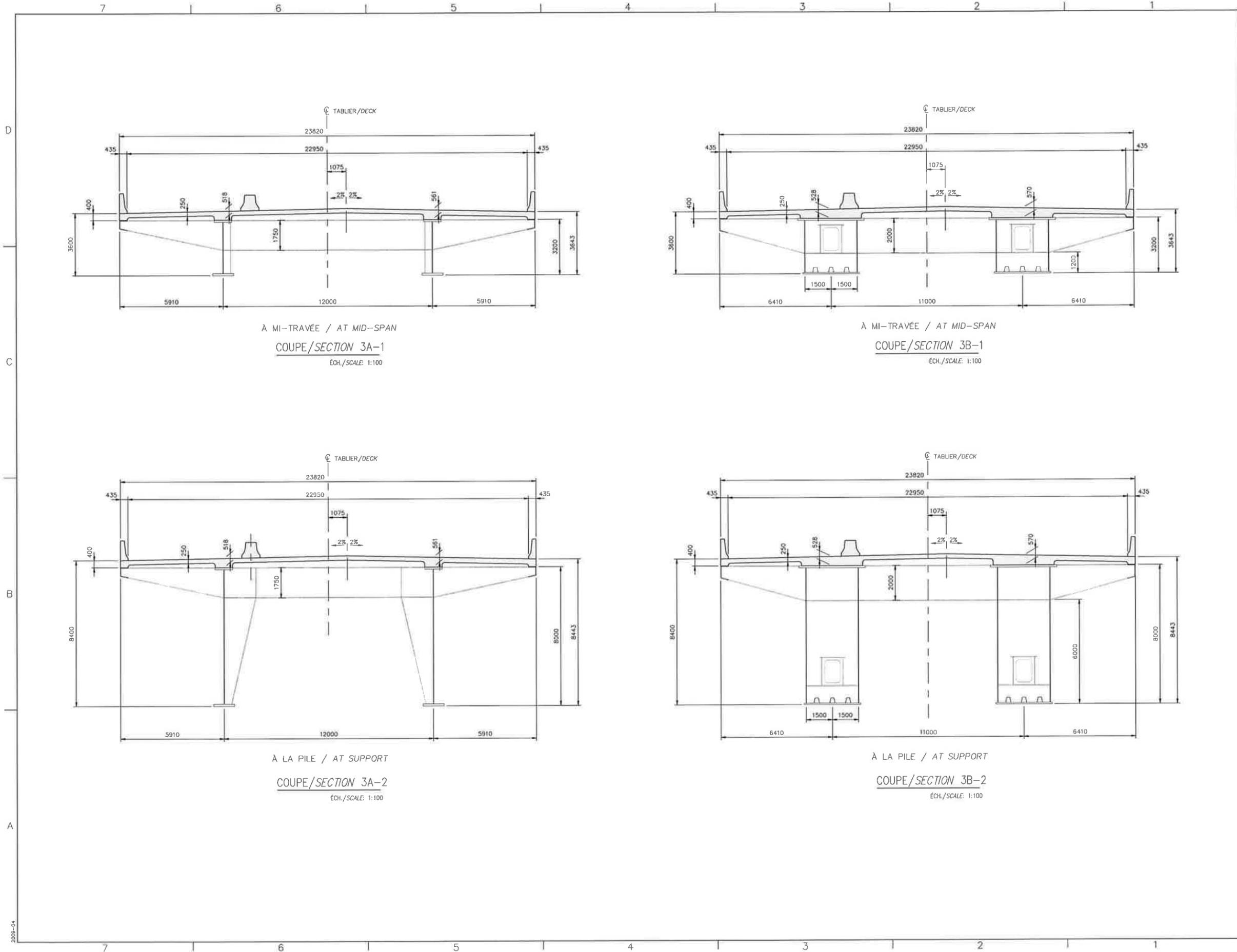


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 2
POUTRE CAISSON - BÉTON & ACIER
COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 2
BOX GIRDER - CONCRETE & STEEL
SECTIONS

Échelle / Scale	1=100	Date / Date	2010-11-05
Établi par / Drawn by	Simon Portny	Revisé par / Checked by	Claudia Bolainez, ing.
Approuvé par / Approved by	Bertrand Voutaz, ing.	Approuvé par / Approved by	Christian Lemay, ing.
61100			
61100-04-09			
			0

61100-04-10



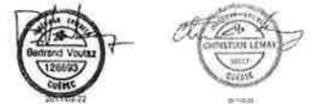
À MI-TRAVÉE / AT MID-SPAN
COUPE/SECTION 3A-1
ECH./SCALE: 1:100

À MI-TRAVÉE / AT MID-SPAN
COUPE/SECTION 3B-1
ECH./SCALE: 1:100

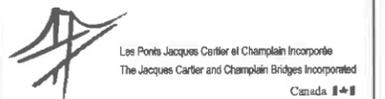
À LA PILE / AT SUPPORT
COUPE/SECTION 3A-2
ECH./SCALE: 1:100

À LA PILE / AT SUPPORT
COUPE/SECTION 3B-2
ECH./SCALE: 1:100

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120993	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

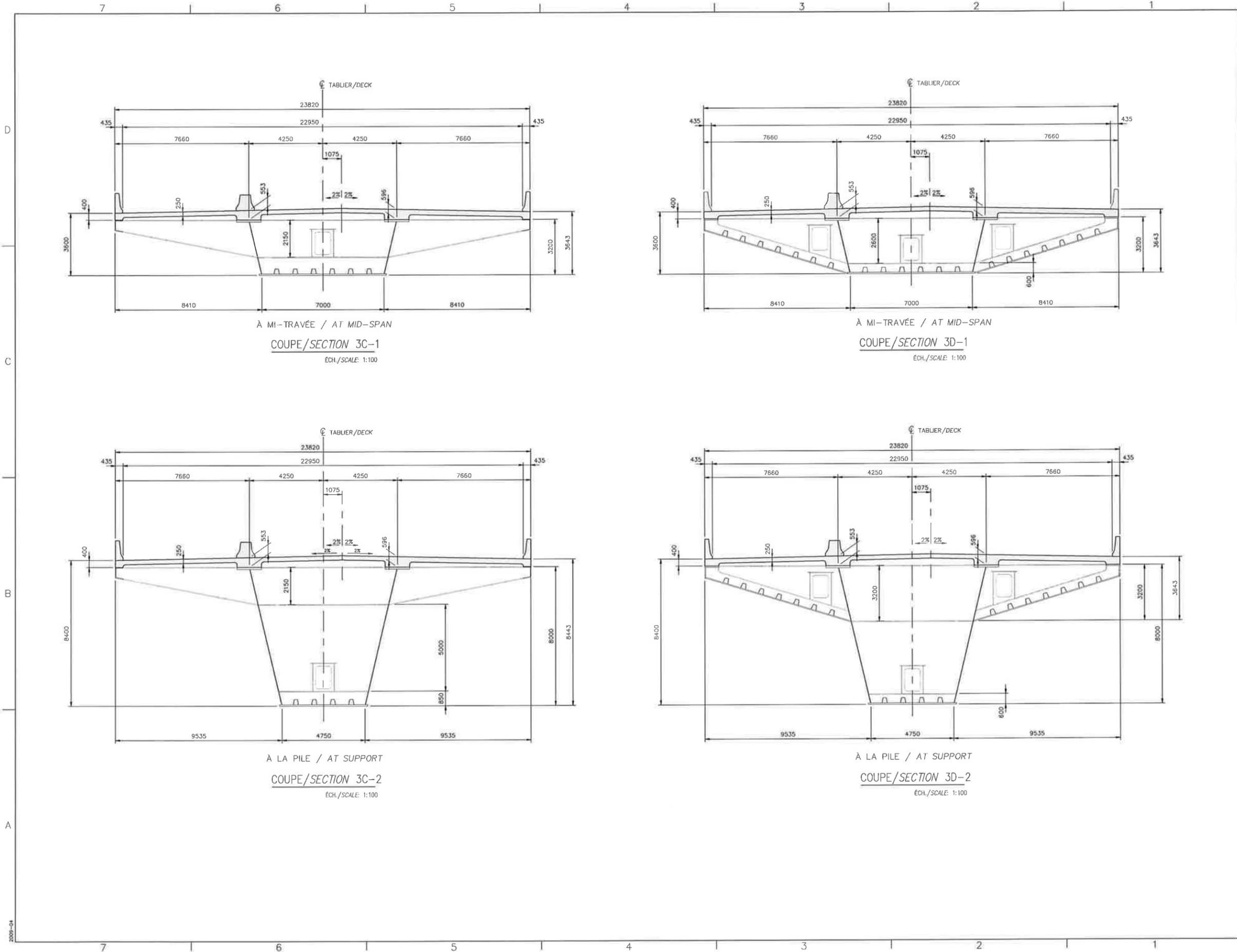


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 3A & 3B
POUTRE ACIER & POUTRE CAISSON ACIER
COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 3A & 3B
STEEL GIRDER & STEEL BOX GIRDER
SECTIONS

Échelle / Scale	1=100	Date / Date	2010-11-05
Établi par / Drawn by	Simon Portny	Revisé par / Checked by	Claudia Bolainez, ing.
Approuvé par / Approved by	Bertrand Voutaz, ing.	Revisé par / Checked by	Christian Lemay, ing.
61100			
61100-04-10			
			0

61100-04-11



0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
126693	Bertrand Voutoz, ing.	
32917	Christian Lemoy, ing.	



CONSORTIUM BCDE
CIMA DESSAU
 OUVRAGES D'ART

Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
 Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
 ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
 REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



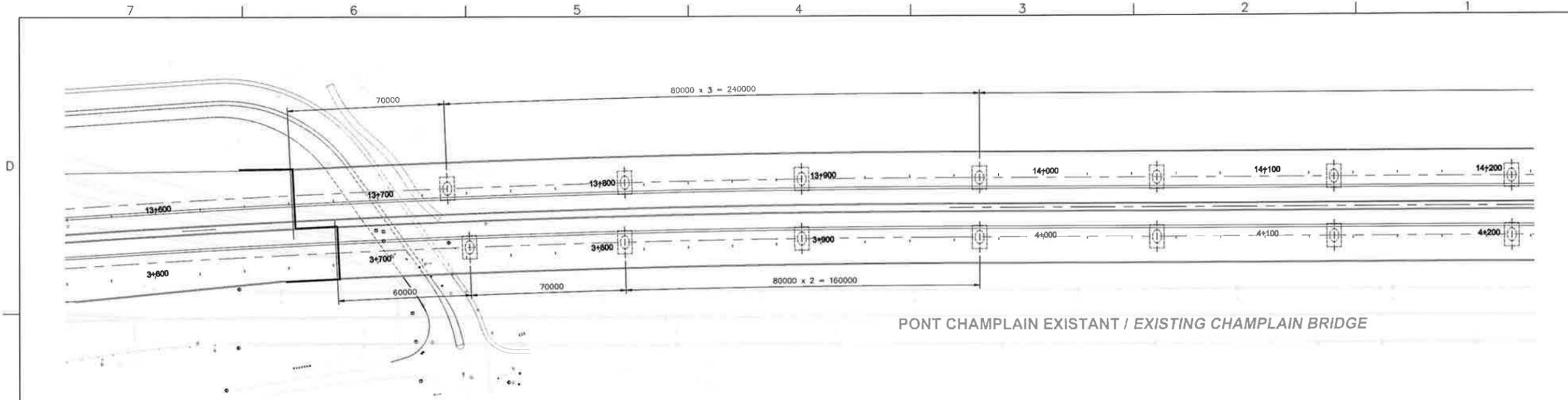
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
 SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
 PONT CHAMPLAIN (2009)
 VARIANTES 3C & 3D
 POUTRE CAISSON - ACIER
 COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
 THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
 CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
 VARIANTS 3C & 3D
 BOX GIRDER - STEEL
 SECTIONS

Échelle de plan	1=100	Date	2010-11-05
Élaboré par	Simon Portny	Revisé par	Claudia Bolainez, ing.
Approuvé par	Bertrand Voutoz, ing.	Approuvé par	Christian Lemoy, ing.
61100			
61100-04-11			
			0

File I. D. No. 61100-04-11.dwg

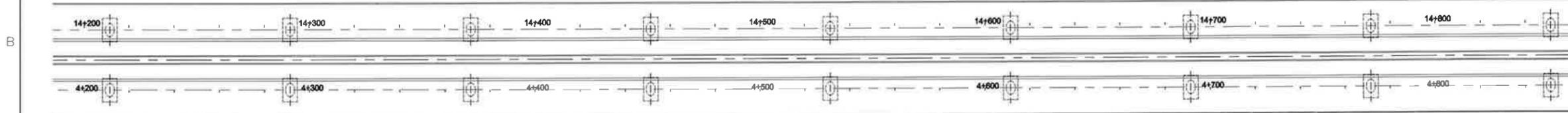
61100-04-12a15



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemoy, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 4
CHAINAGE 13+600 @ 14+800
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 4
STATION 13+600 @ 14+800
PLAN VIEW

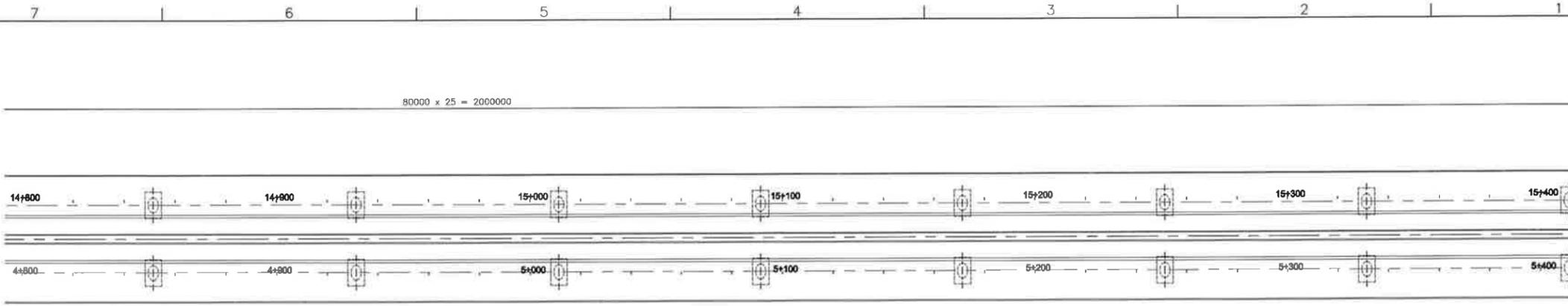
Échelle / Scale	1=1000	Date	2010-11-05
Concepteur / Designer	Simon Portny	Revisé / Checked	Claudia Bolainez, ing.
Approuvé / Approved	Bertrand Voutaz, ing.	Revisé / Checked	Christian Lemoy, ing.

61100	
61100-04-12	0

© Les Ponts Jacques Cartier et Champlain Incorporée / The Jacques Cartier and Champlain Bridges Incorporated 2009

File I. D. No. 61100-04-12a15.dwg

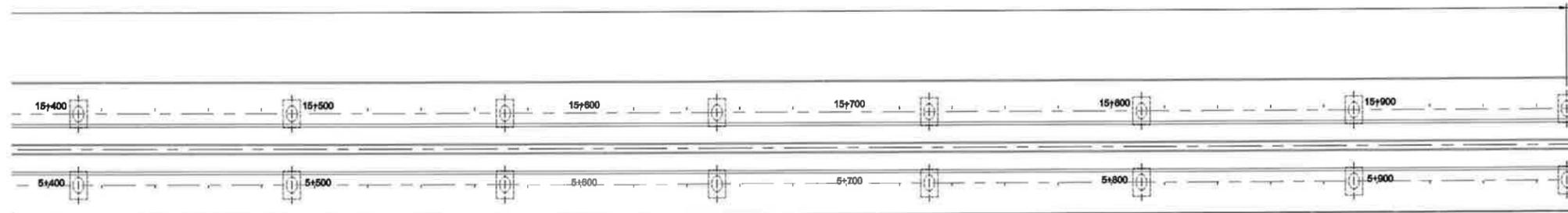
61100-04-12d15



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.

ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



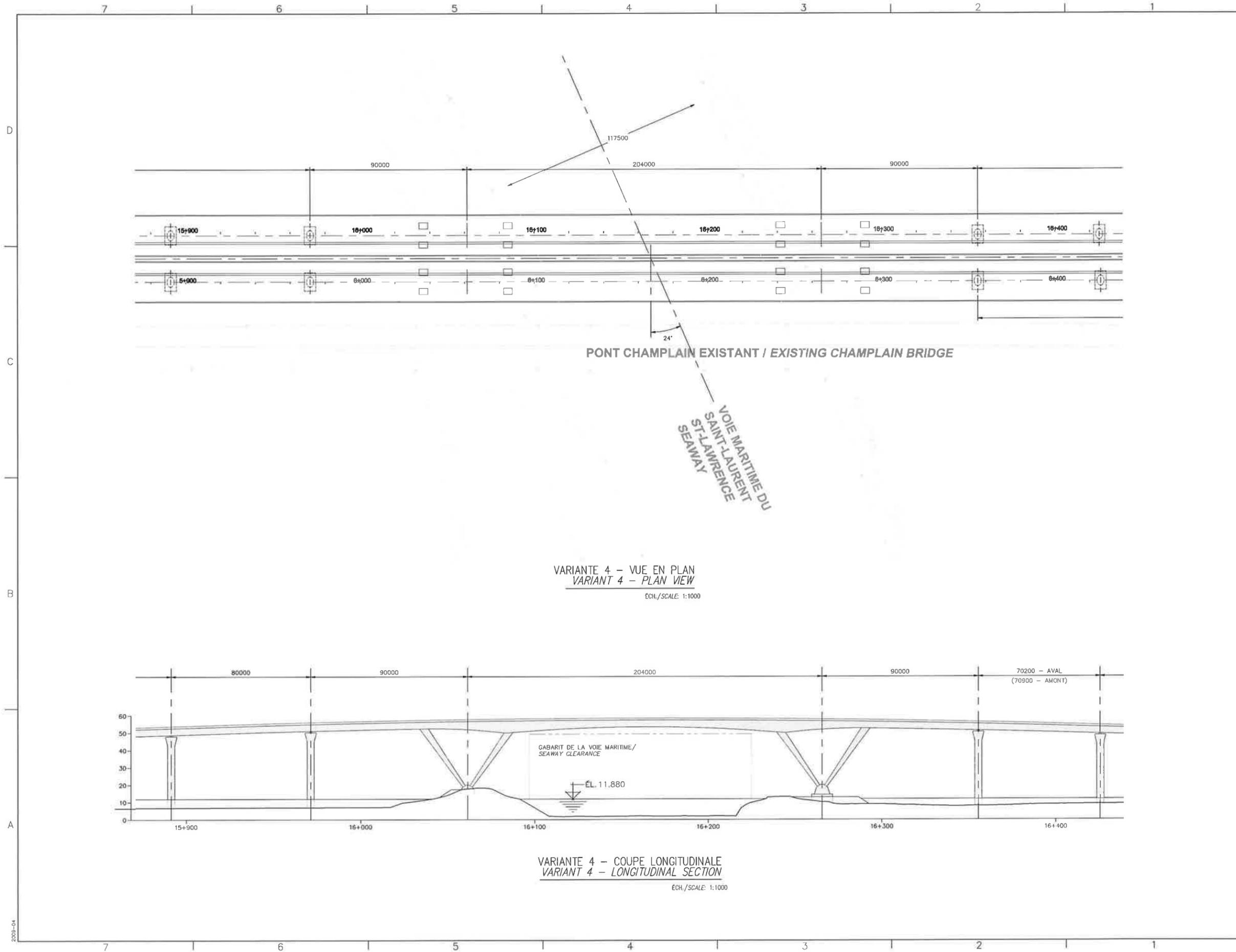
ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 4
CHAINAGE 14+800 @ 15+900
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 4
STATION 14+800 @ 15+900
PLAN VIEW

Échelle / Scale	1=1000	Date	2010-11-05
Ingénieur / Engineer	Simon Portny	Ingénieur / Engineer	Claudia Bolainez, ing.
Ingénieur / Engineer	Bertrand Voutaz, ing.	Ingénieur / Engineer	Christian Lemay, ing.
Projet / Project	61100		
Projet / Project	61100-04-13		
État / Status	0		

File I. D. No. 61100-04-12d15.dwg

61100-04-12a15



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VOIE MARITIME DU
SAINT-LAURENT
SEAWAY

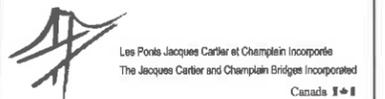
VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW
ÉCH./SCALE: 1:1000

VARIANTE 4 - COUPE LONGITUDINALE
VARIANT 4 - LONGITUDINAL SECTION
ÉCH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120693	Bertrand Voutoz, ing.	
32917	Christian Lemoy, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

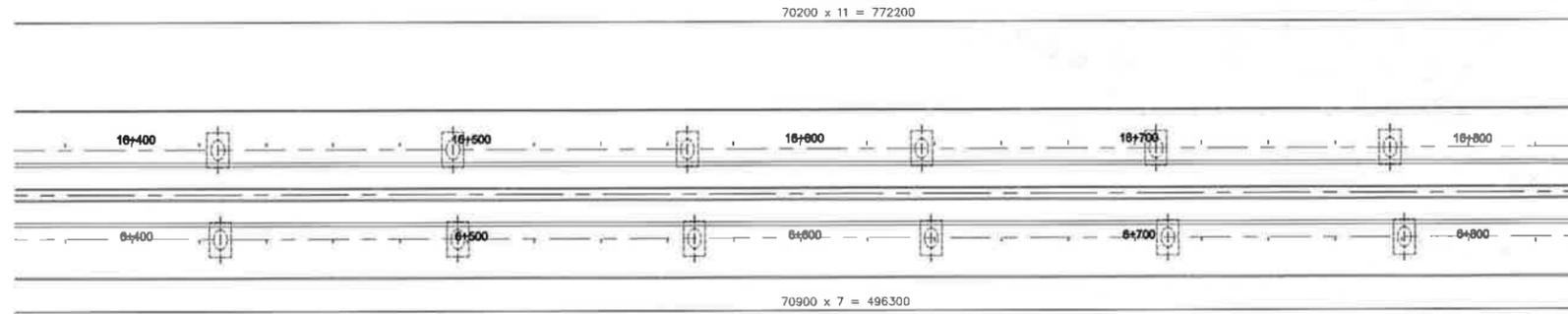


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 4
CHAINAGE 15+900 @ 16+400
VUE EN PLAN ET COUPE LONGITUDINALE

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 4
STATION 15+900 @ 16+400
PLAN VIEW & LONGITUDINAL SECTION

Échelle / Scale	1=1000	Date	2010-11-05
Élaboré / Prepared by	Simon Portny	Approuvé / Checked by	Claudia Balainez, ing.
Revisé / Revised by	Bertrand Voutoz, ing.	Approuvé / Checked by	Christian Lemoy, ing.
61100			
61100-04-14			0

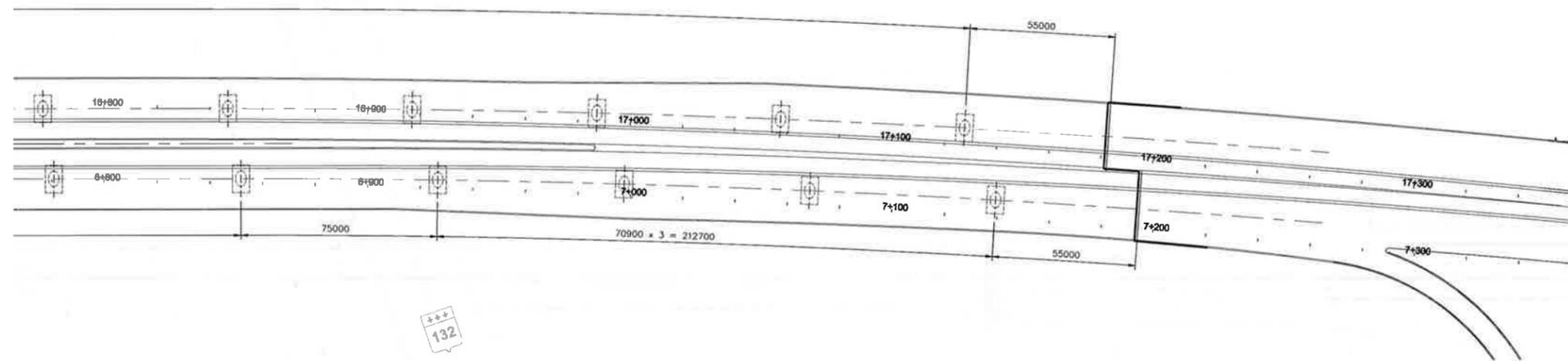
61100-04-12a15



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



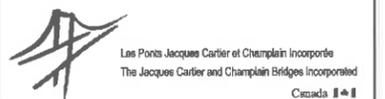
VARIANTE 4 - VUE EN PLAN
VARIANT 4 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 4
CHAINAGE 16+400 @ 17+300
VUE EN PLAN

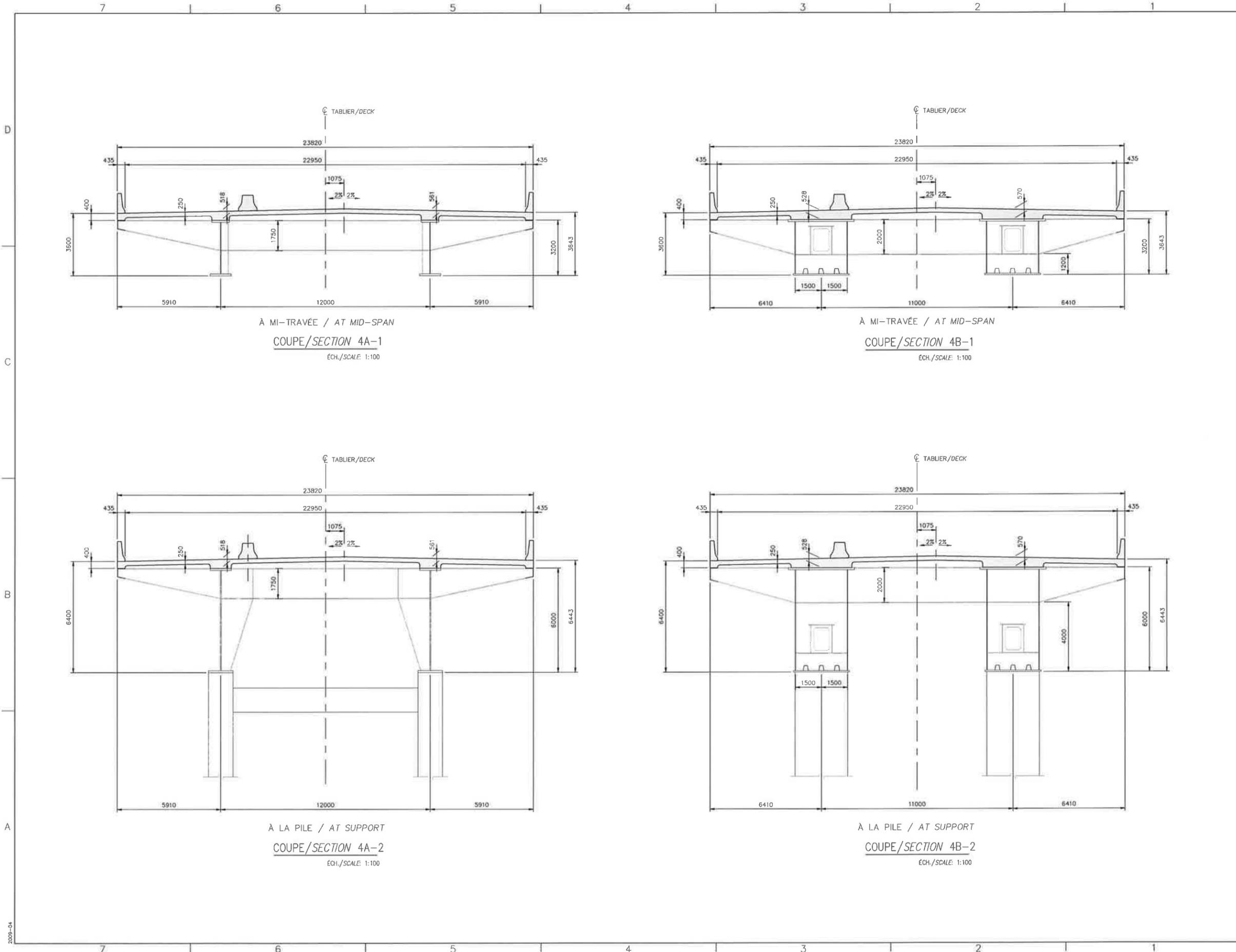
PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 4
STATION 16+400 @ 17+300
PLAN VIEW

Échelle de plan 1=1000	Date 2010-11-05
Étudié par Simon Portny	Approuvé par Claudia Balaizez, ing.
Revisé par Bertrand Voutaz, ing.	Revisé par Christian Lemay, ing.

61100

61100-04-15

0



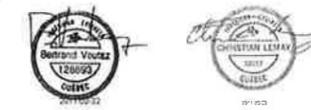
À MI-TRAVÉE / AT MID-SPAN
COUPE/SECTION 4A-1
ECH./SCALE: 1:100

À MI-TRAVÉE / AT MID-SPAN
COUPE/SECTION 4B-1
ECH./SCALE: 1:100

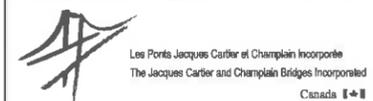
À LA PILE / AT SUPPORT
COUPE/SECTION 4A-2
ECH./SCALE: 1:100

À LA PILE / AT SUPPORT
COUPE/SECTION 4B-2
ECH./SCALE: 1:100

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
120003	Bertrand Vautaz, ing.	
32017	Christian Lemoy, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

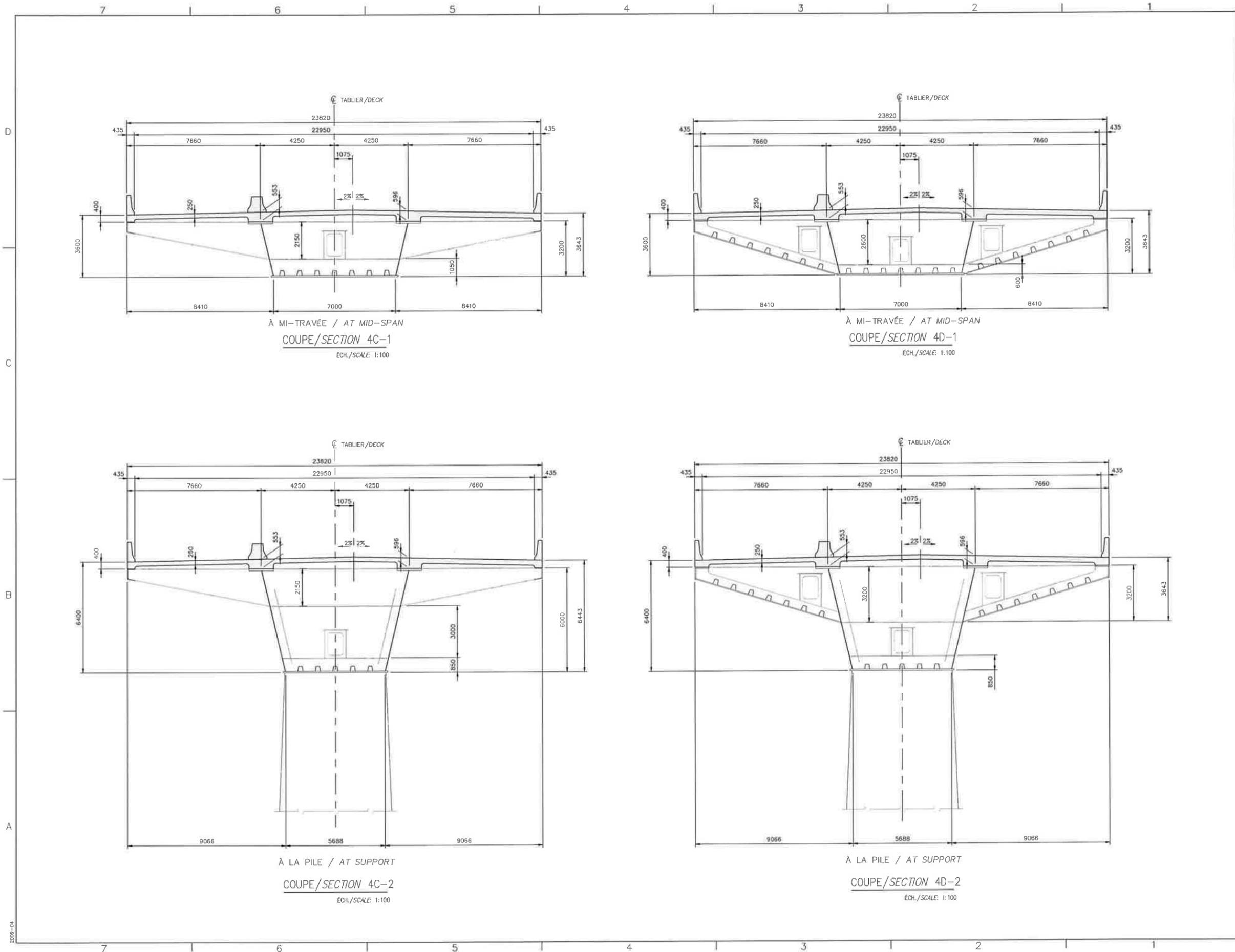


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTES 4A & 4B
CADRE V - ACIER
COUPES

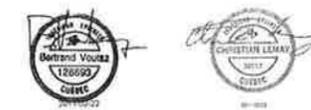
PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANTS 4A & 4B
FRAME V - STEEL
SECTIONS

1=100	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Boloinex, ing.
Bertrand Vautaz, ing.	Christian Lemoy, ing.

61100
61100-04-16 0

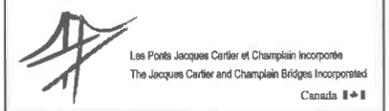


0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
12869.5	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemay, ing.	



CONSORTIUM BCDE
CIMA **DESSAU** **egis**
 TRAVAUX D'OUVRAGES D'ART

Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
 Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
 ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
 REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES

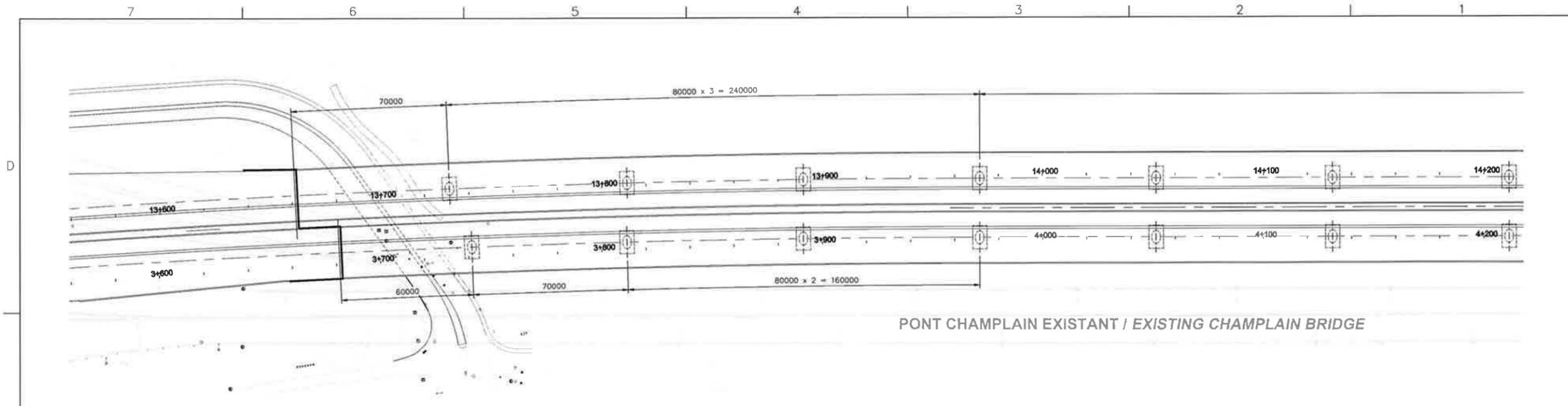


ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
 SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
 PONT CHAMPLAIN (2009)
 VARIANTES 4C & 4D
 CADRE V - ACIER
 COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
 THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
 CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
 VARIANTS 4C & 4D
 FRAME V - STEEL
 SECTIONS

1=100	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Bolinez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.
61100	
61100-04-17	
	0

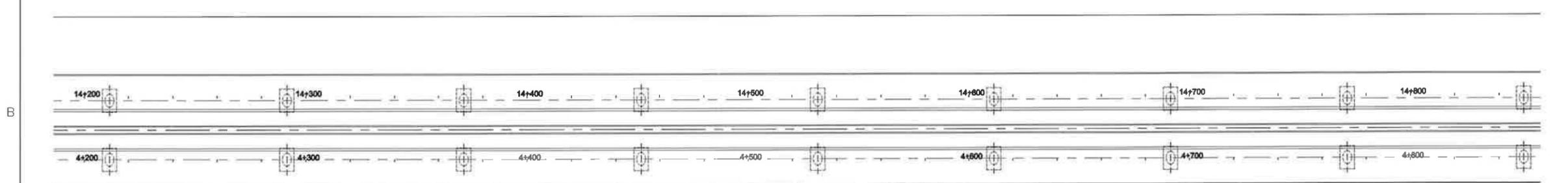
61100-04-18a21



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



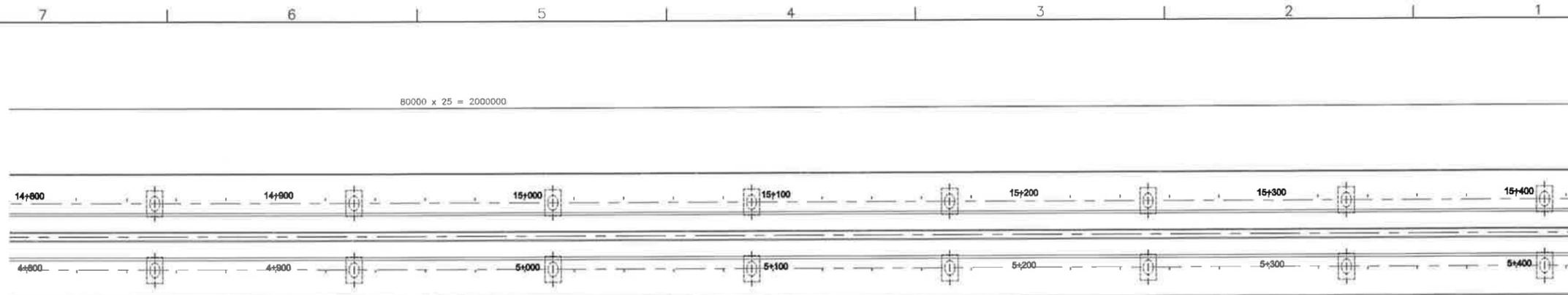
ÉTUDE DE PRÉFAISIBILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 6
CHAINAGE 13+600 @ 14+800
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 6
STATION 13+600 @ 14+800
PLAN VIEW

Échelle / Scale	1=1000	Date / Date	2010-11-05
Élaboré par / Prepared by	Simon Portny	Revisé par / Checked by	Claudia Balainez, ing.
Approuvé par / Approved by	Bertrand Voutaz, ing.	Revisé par / Checked by	Christian Lemay, ing.
61100			
61100-04-18			0

File I. D. No. 61100-04-18a21.dwg

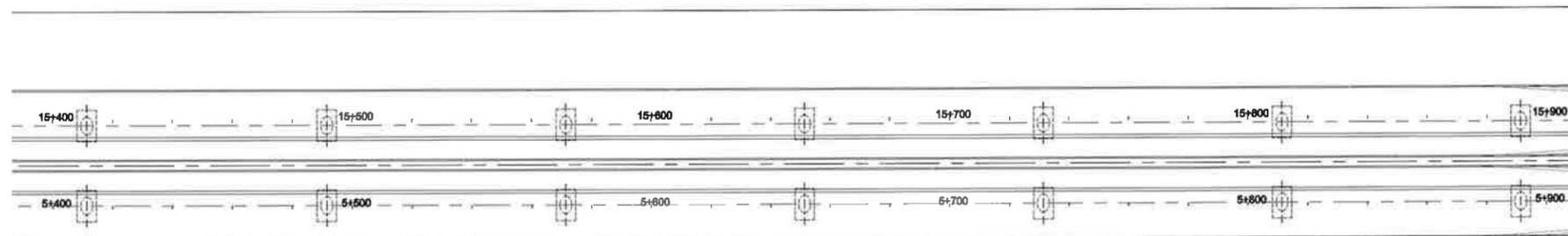
61100-04-18a21



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

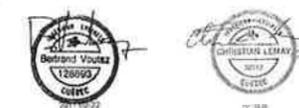


PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128893	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



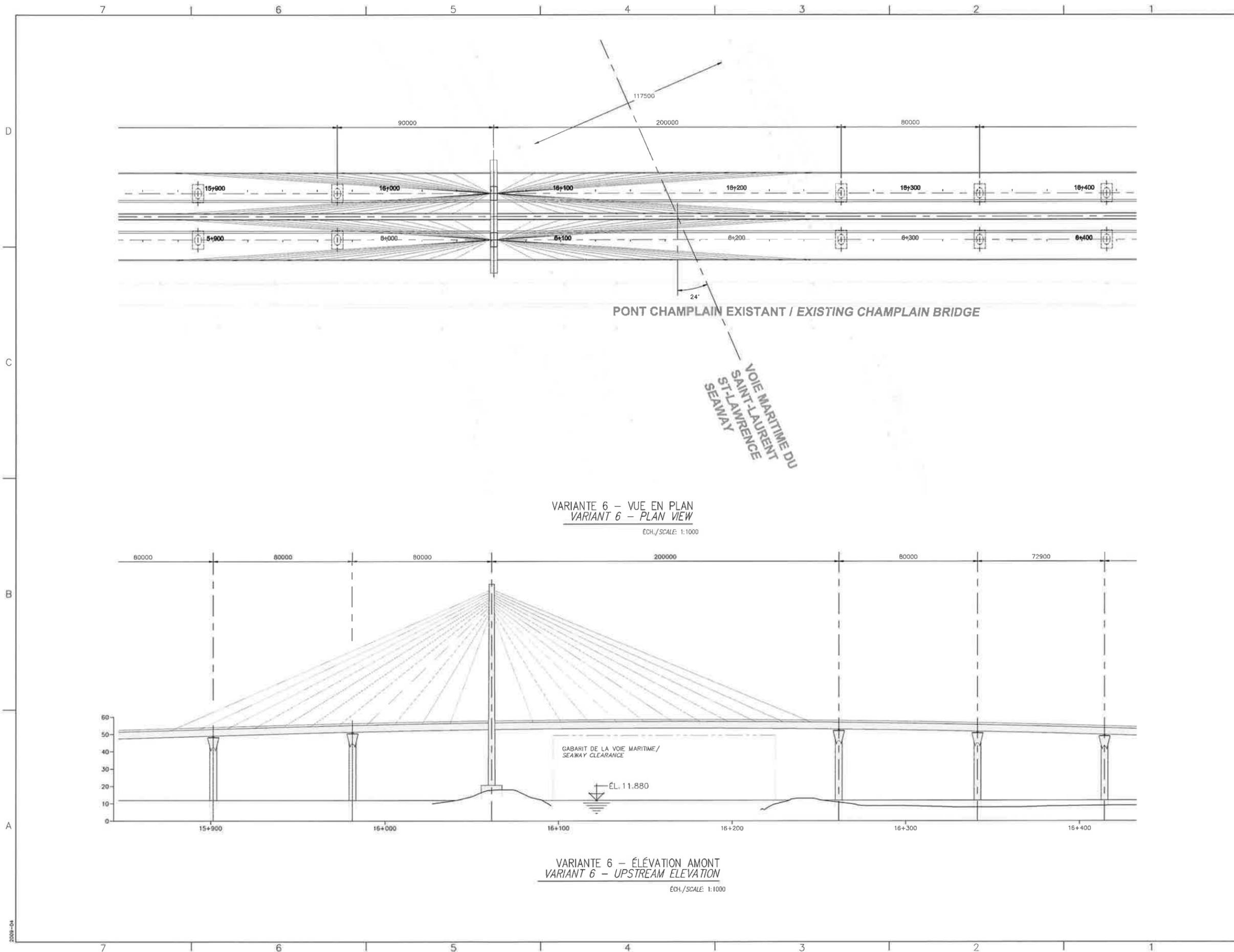
ÉTUDE DE PRÉFAISIBILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 6
CHAINAGE 14+800 @ 15+900
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 6
STATION 14+800 @ 15+900
PLAN VIEW

1=1000	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Balainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.
61100	
61100-04-19	0

File I. D. No. 61100-04-18a21.dwg

61100-04-18a21



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VOIE MARITIME DU
SAINT-LAURENT
SEAWAY

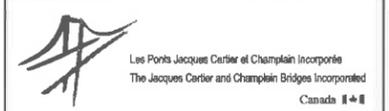
VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW
ECH./SCALE: 1:1000

VARIANTE 6 - ÉLEVATION AMONT
VARIANT 6 - UPSTREAM ELEVATION
ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128822	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 6
CHAINAGE 15+900 @ 16+400
VUE EN PLAN & ÉLEVATION

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 6
STATION 15+900 @ 16+400
PLAN VIEW & ELEVATION

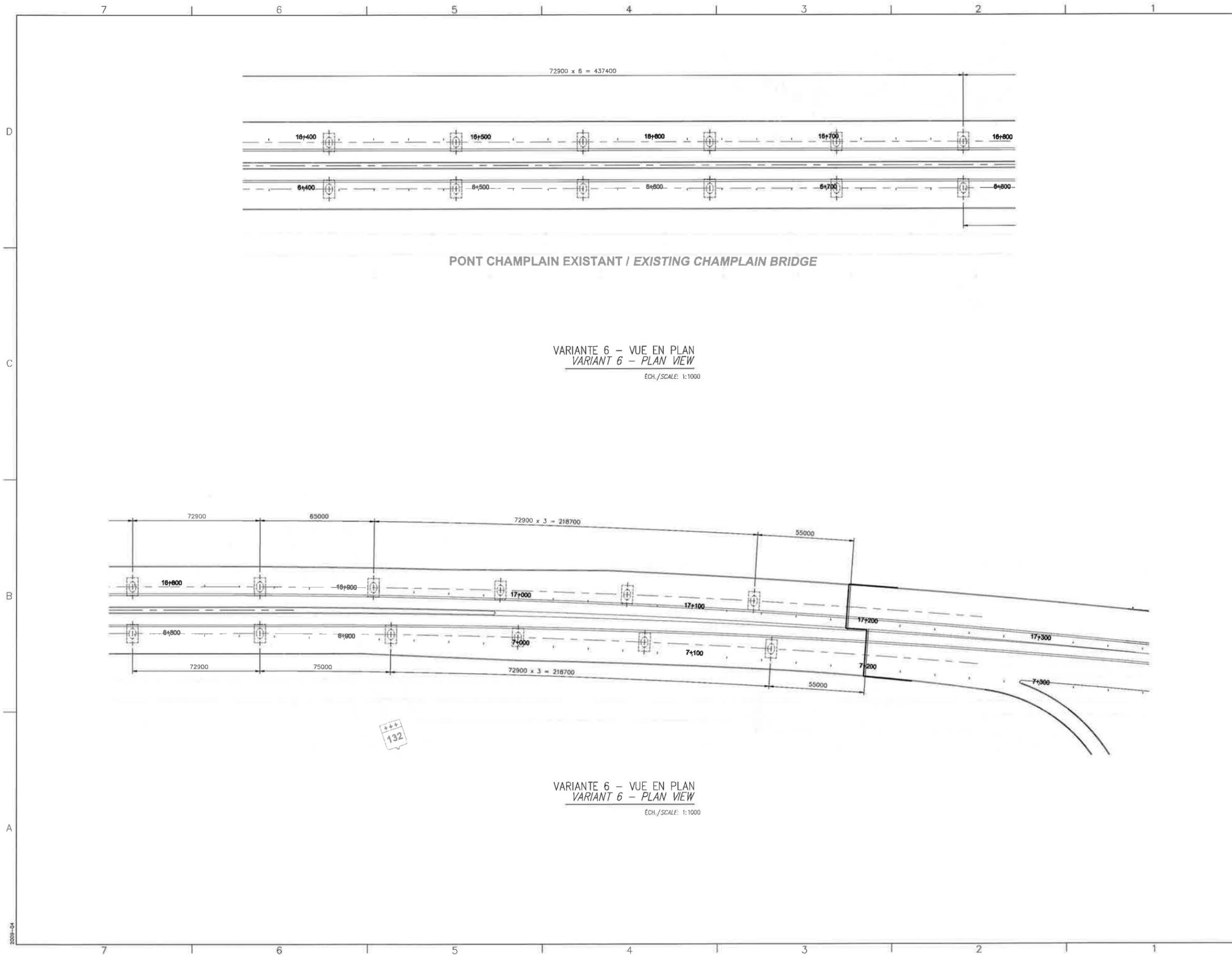
1=1000	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Boloinex, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemay, ing.

61100

61100-04-20 0

File: I. D. No. 61100-04-18a21.dwg

61100-04-18a21



PONT CHAMPLAIN EXISTANT / EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000

VARIANTE 6 - VUE EN PLAN
VARIANT 6 - PLAN VIEW

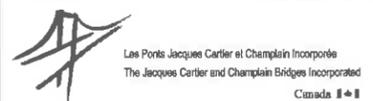
ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128893	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.

ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



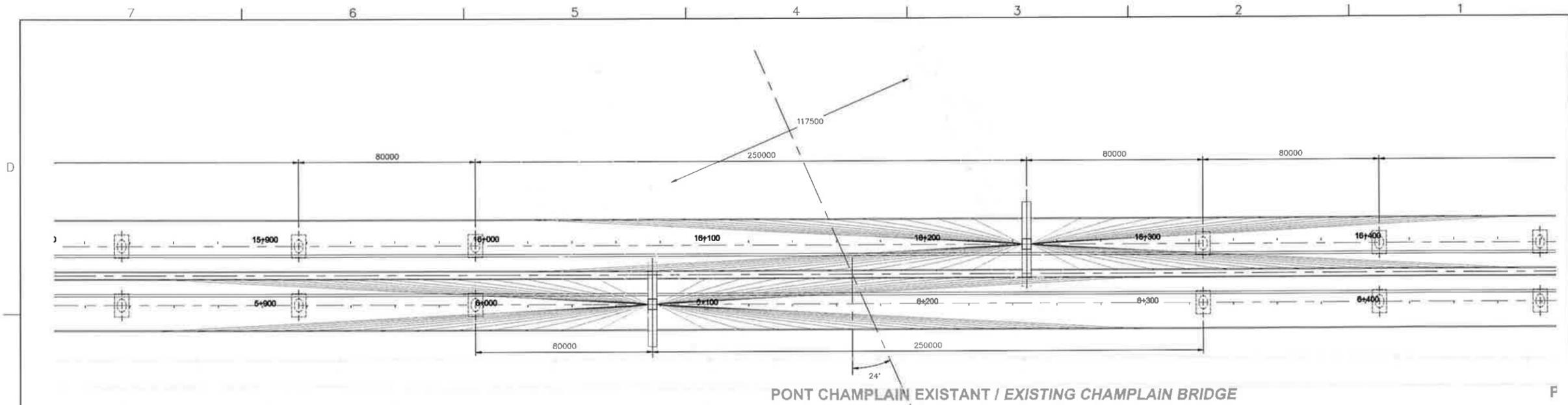
ÉTUDE DE PRÉFAISIBILITÉ PORTANT SUR
SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 6
CHAINAGE 16+400 @ 17+300
VUE EN PLAN

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 6
STATION 16+400 @ 17+300
PLAN VIEW

Échelle de dessin 1=1000	Date 2010-11-05
Préparé par Simon Portny	Approuvé par Claudia Bolainez, ing.
Revisé par Bertrand Voutaz, ing.	Revisé par Christian Lemay, ing.
61100	
61100-04-21	
0	

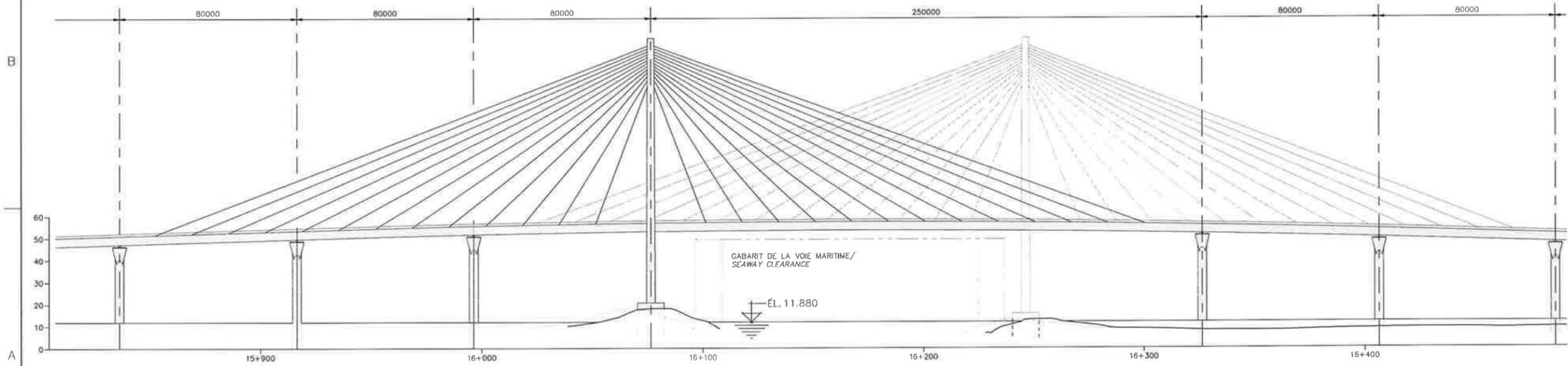
File J. D. No. 61100-04-18a21.dwg

61100-04-23



VARIANTE 7 - VUE EN PLAN
VARIANT 7 - PLAN VIEW

ECH./SCALE: 1:1000



VARIANTE 7 - ÉLEVATION AMONT
VARIANT 7 - UPSTREAM ELEVATION

ECH./SCALE: 1:1000

0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
12869.5	Bertrand Voutaz, ing.	
32917	Christian Lemay, ing.	



Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimètres, levels are in metres.

ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL PONT CHAMPLAIN (2009)
VARIANTE 7
CHAINAGE 15+900 @ 16+400
VUE EN PLAN & ÉLEVATION

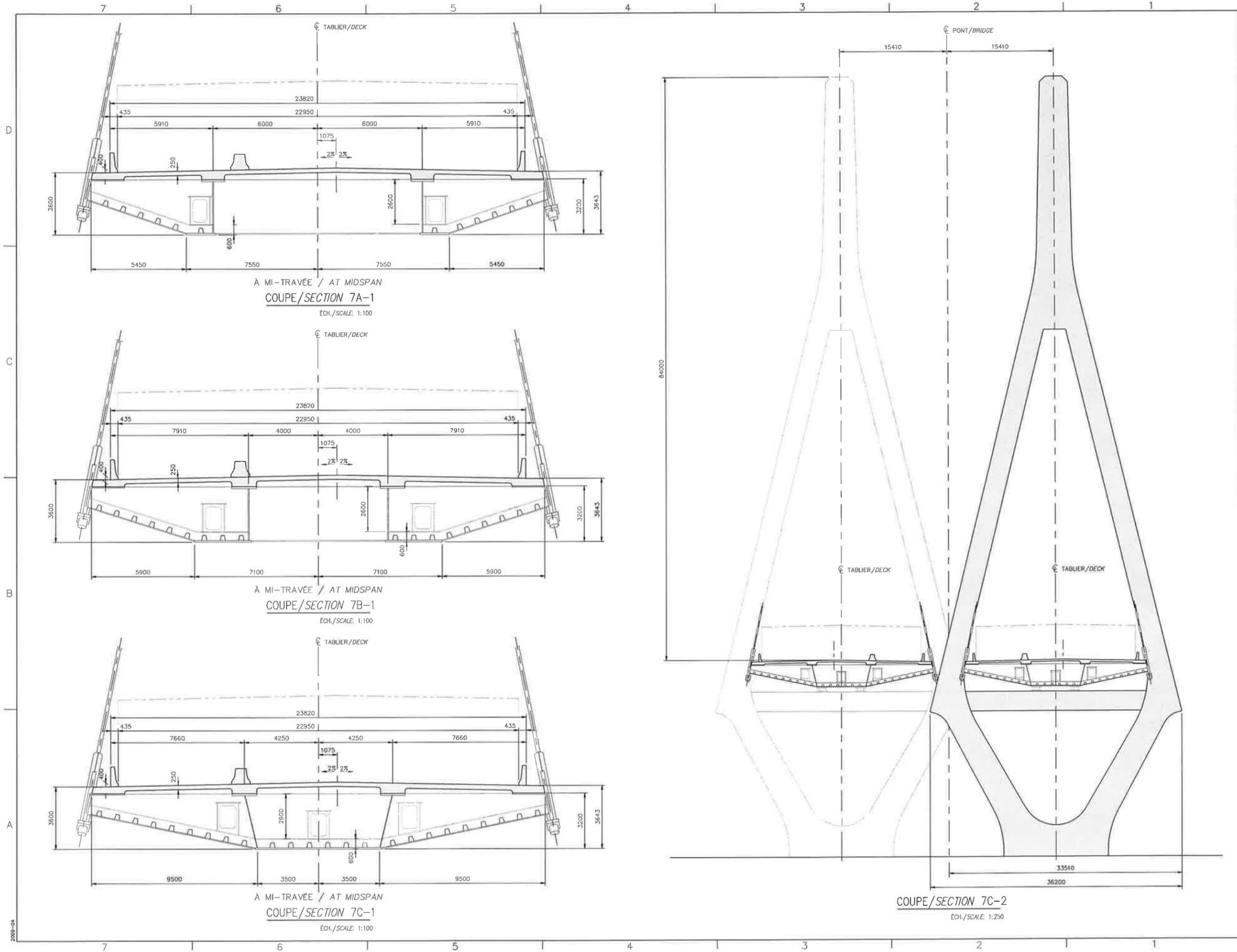
PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING THE REPLACEMENT OF THE EXISTING CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
VARIANT 7
STATION 15+900 @ 16+400
PLAN VIEW & ELEVATION

Échelle / Scale	1=1000	Date	2010-11-05
Préparé par / Prepared by	Simon Portny	Revisé par / Reviewed by	Claudia Boloinez, ing.
Approuvé par / Approved by	Bertrand Voutaz, ing.	Approuvé par / Approved by	Christian Lemay, ing.

61100	
61100-04-23	0

File I. D. No. 61100-04-23.dwg

61100-04-24



0	RAPPORT FINAL FINAL REPORT	2011-02-21
128693	Bertrand Voutaz, ing.	
32817	Christian Lemoy, ing.	



CONSORTIUM BCDE
CIMA DESSAU egis

Sauf indication contraire, les dimensions sont exprimées en millimètres et les niveaux en mètres
 Unless otherwise indicated, all dimensions are in millimetres, levels are in metres.
 ÉCHELLE DE RÉFÉRENCE EN MILLIMÈTRES
 REFERENCE SCALE IN MILLIMETRES



ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ PORTANT SUR
 SUR LE REMPLACEMENT DE L'ACTUEL
 PONT CHAMPLAIN (2009)
 VARIANTE 7
 POUTRE CAISSON - ACIER
 COUPES

PRE-FEASIBILITY STUDY CONCERNING
 THE REPLACEMENT OF THE EXISTING
 CHAMPLAIN BRIDGE (2009)
 VARIANT 7
 BOX GIRDER - STEEL
 SECTIONS

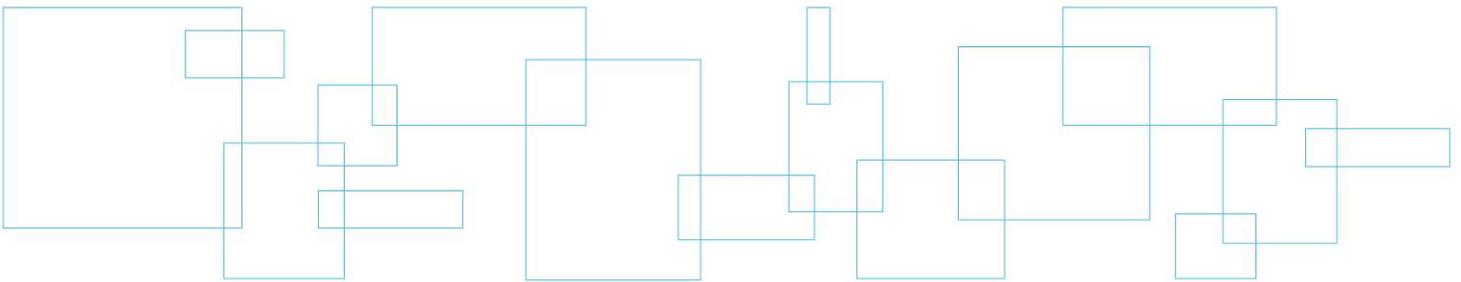
INDIQUÉE/AS SHOWN	2010-11-05
Simon Portny	Claudia Balainez, ing.
Bertrand Voutaz, ing.	Christian Lemoy, ing.

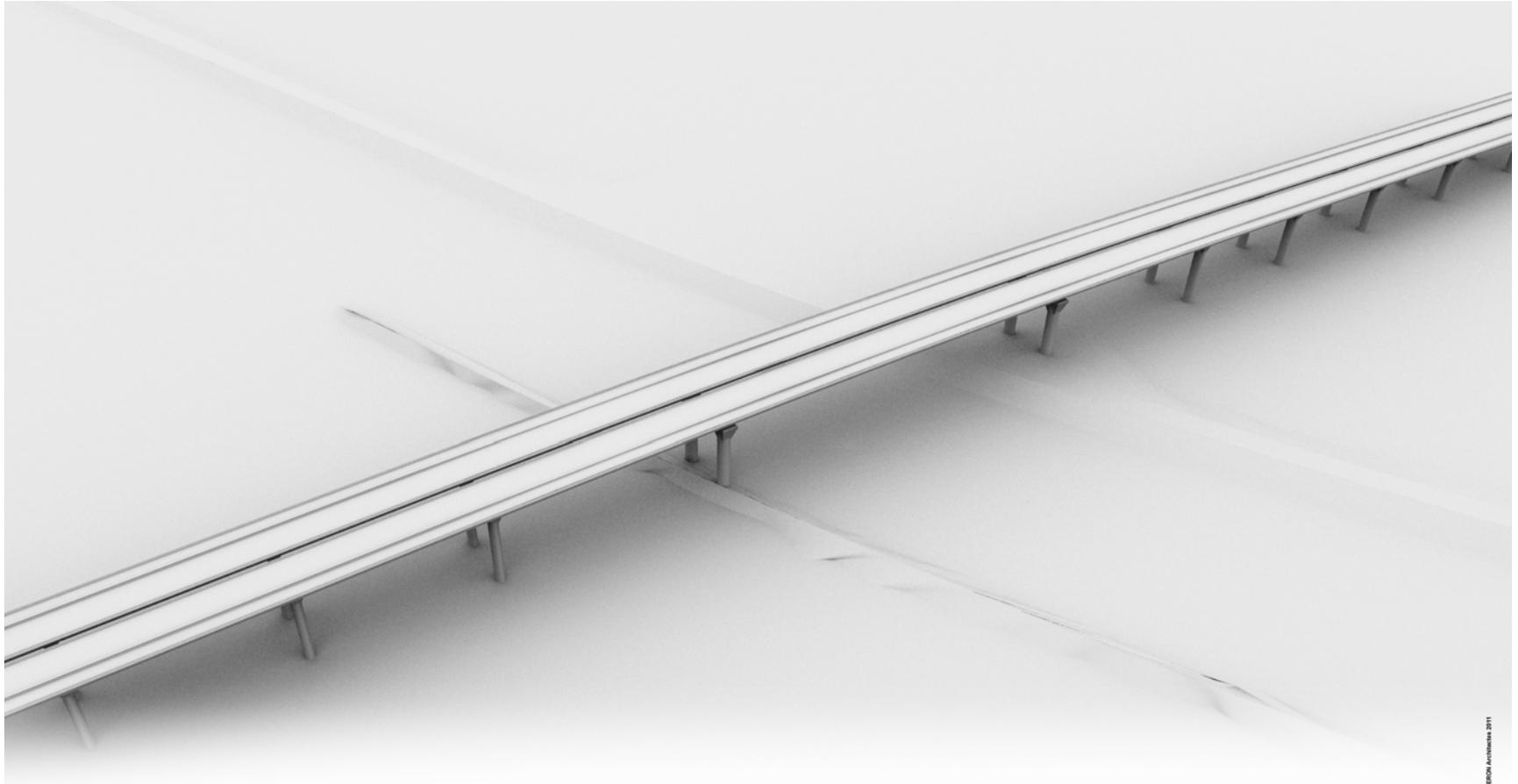
61100
 61100-04-24 0

File I. No. 61100-04-24.dwg

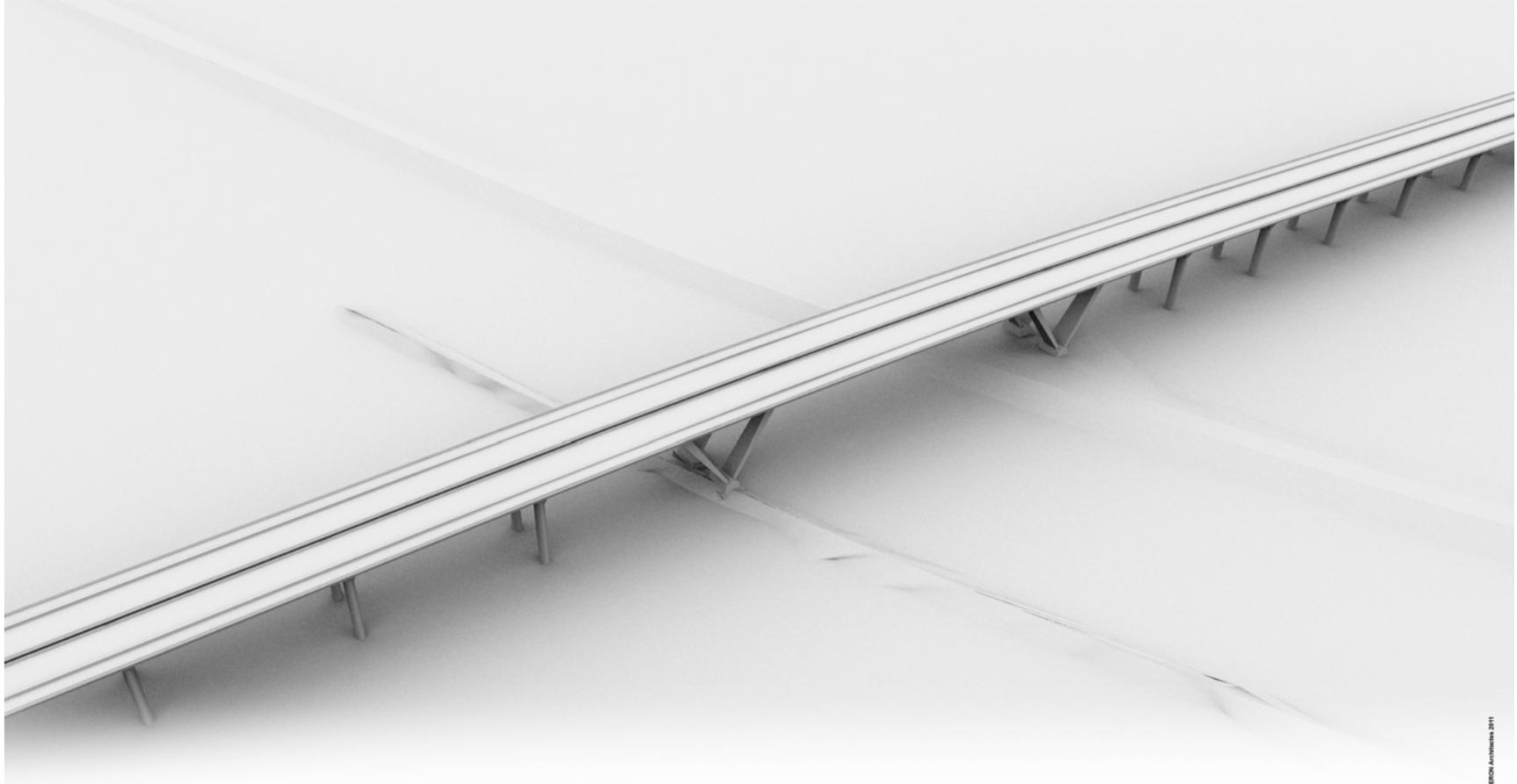


Annexe 4-3 Esquisses architecturales (10 pages)

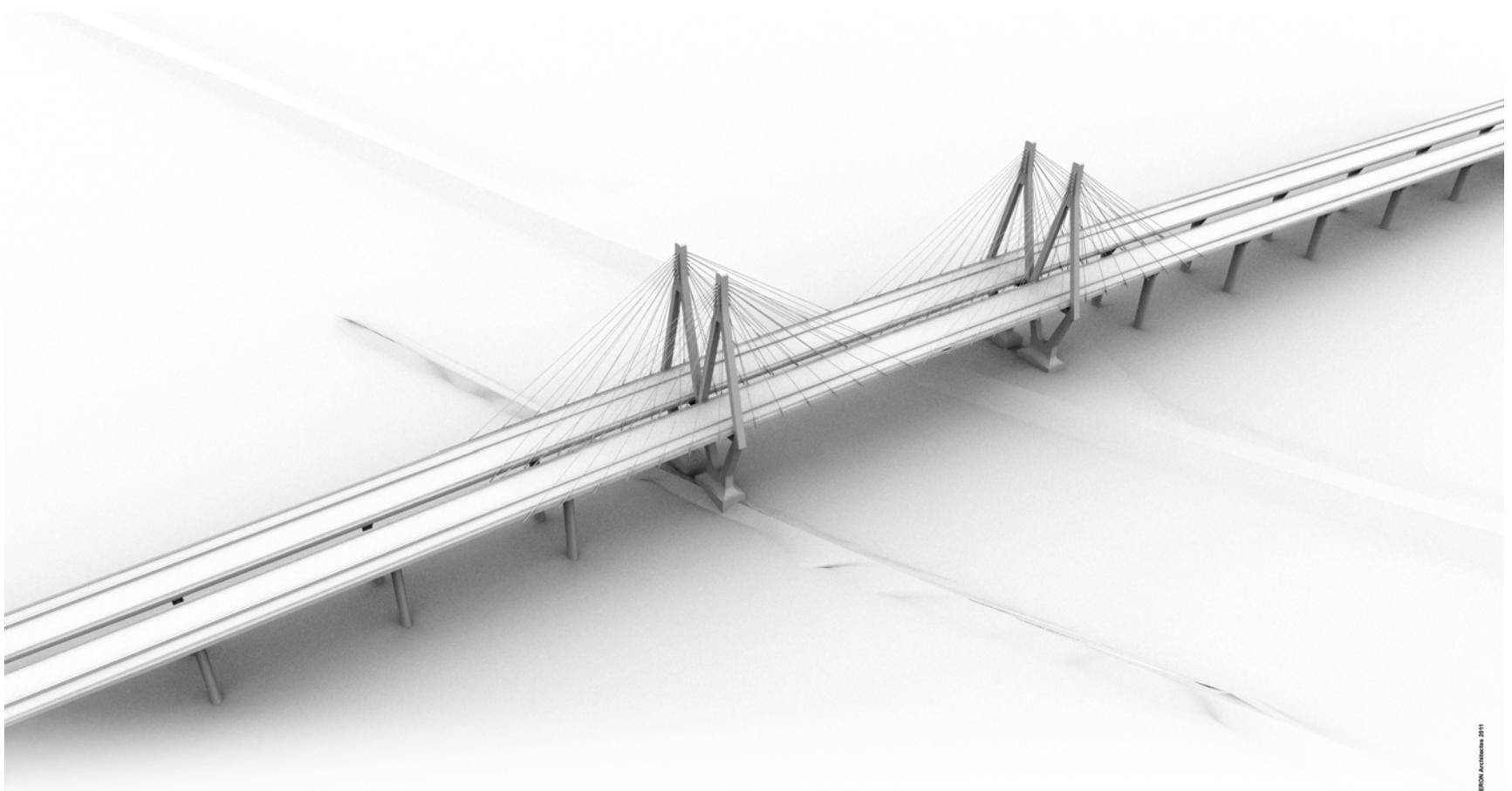




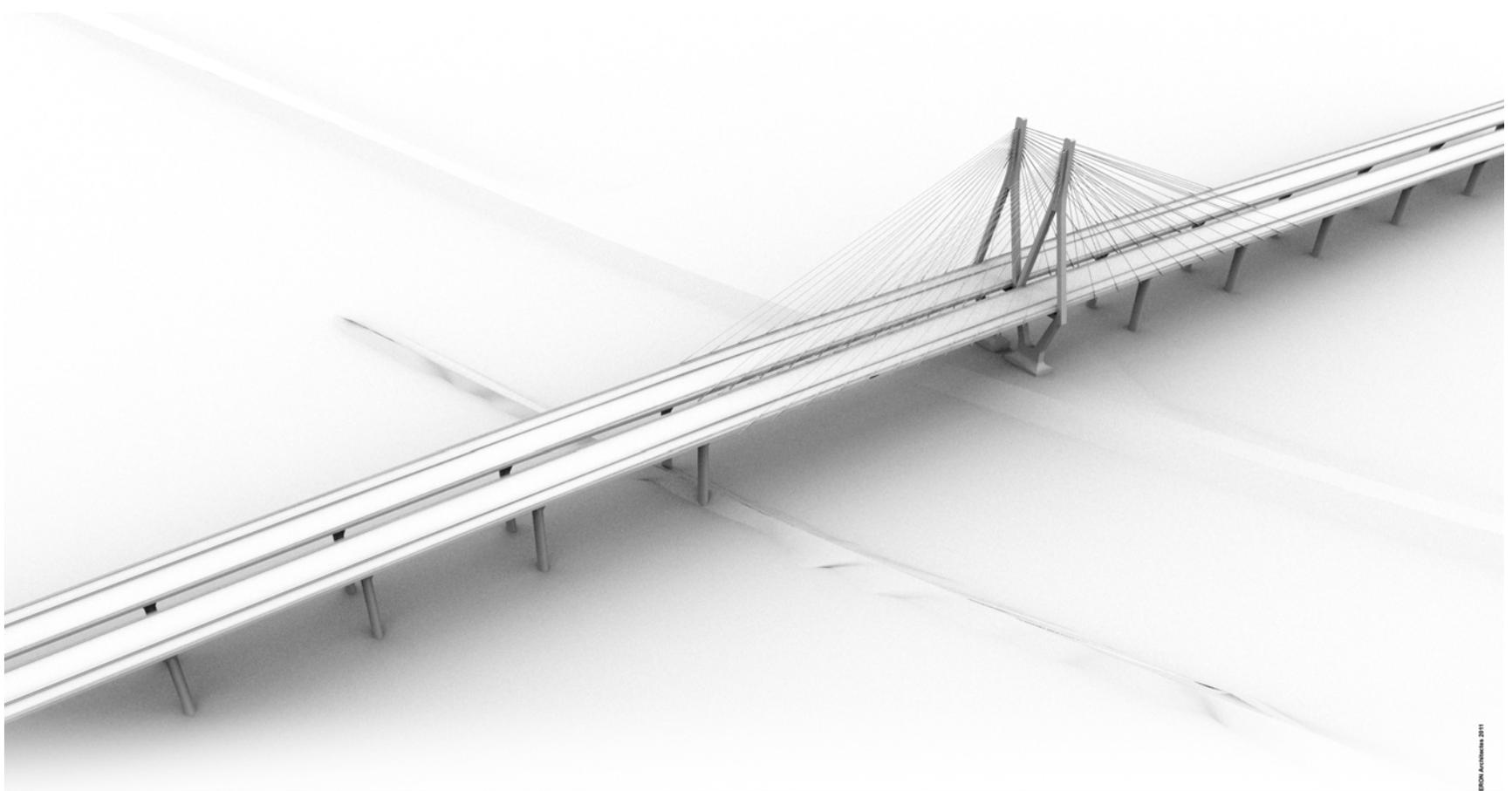
PONT CHAMPLAIN



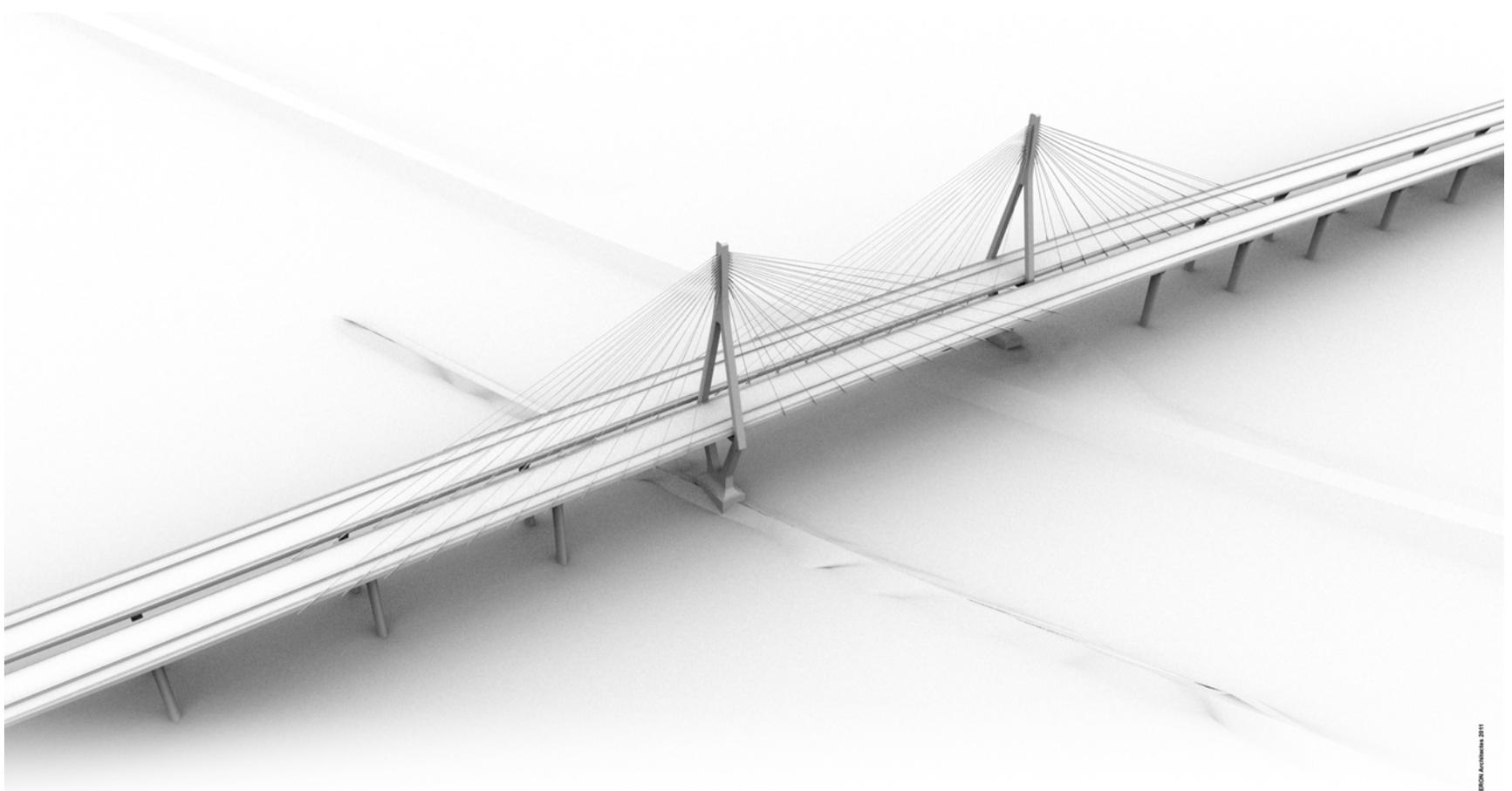
PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN

© L'ARSENAL CHAMBLAIN Architecture 2011



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN



PONT CHAMPLAIN

