

OFF  
V6 15  
A16/B73

COMMUNICATION DE  
M. ARTHUR BRANCHAUD,  
INGÉNIEUR EN CHEF

**LE PONT-TUNNEL**  
**LOUIS-HIPPOLYTE LAFONTAINE**

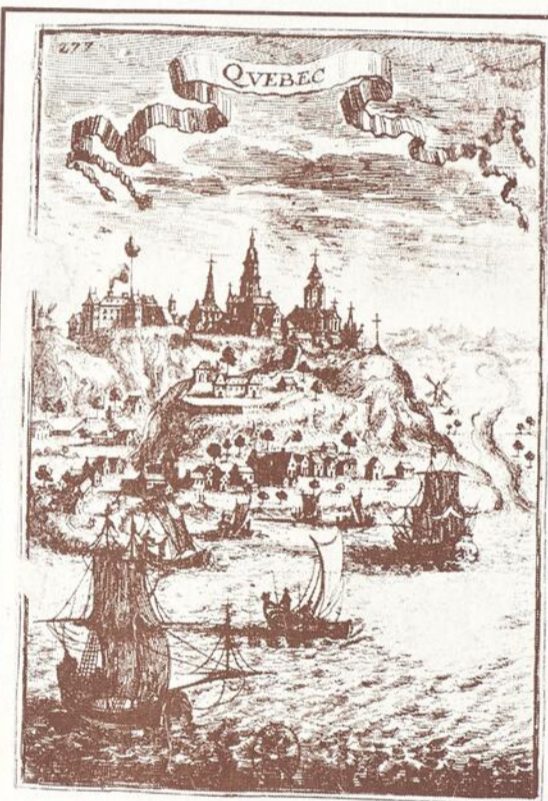
---

**MINISTÈRE DE LA VOIRIE / PROVINCE DE QUÉBEC, CANADA**

---

PRÉSENTÉ À LA  
Vième CONFÉRENCE MONDIALE DE LA  
FÉDÉRATION ROUTIÈRE INTERNATIONALE

LE 22 SEPTEMBRE 1966, LONDRES, ANGLETERRE



Bibliothèque Nationale du Québec

PONT-TUNNEL LOUIS-HIPPOLYTE LAFONTAINE

ROUTE TRANSCANADIENNE

---

Monsieur le Président, Mesdames et Messieurs,

En 1949, le gouvernement du Canada promulguait la loi de la « Route Transcanadienne » pour entreprendre avec le concours des provinces, la construction d'une route qui traverserait le pays de l'est à l'ouest de l'Atlantique au Pacifique sur une longueur de plus de 3,000 milles ou 5000 kilomètres.

Cette initiative s'apparentait à celle qui avait valu au Canada, un demi siècle auparavant, la création d'un lien ferroviaire entre les deux océans.

La route, mieux encore que la voie ferrée, ferait le lien entre les dix provinces, activerait les échanges culturels, touristiques et commerciaux, et serait d'un grand apport aux économies régionales.

Le 27 octobre 1960, les gouvernements du Canada et du Québec tombaient d'accord pour construire la section québécoise de la route sur une longueur de 400 milles (650 kilomètres) et les deux parties signaient un accord définissant l'emplacement approximatif de la route, les standards de construction, les normes de sécurité, le fonctionnement de l'entreprise et la contribution financière des deux gouvernements.

Pour bien situer l'emplacement et souligner l'importance de l'ouvrage qui fait l'objet spécifique de cette conférence, il faut attirer votre attention sur une des caractéristiques principales de la route dans tout le Québec: les accès sont limités partout et aucun croisement à niveau n'y est permis.

Il faut préciser également qu'à partir de la frontière est de l'Ontario jusqu'à Rivière-du-Loup, soit sur une distance de 550 kilomètres, la route Transcanadienne est une autoroute à chaussées séparées par un terre-plein central dont la largeur de 100 pieds en rase campagne passe à 6 pieds en territoire urbain et que chaque chaussée supporte deux, trois ou quatre pistes de roulement selon le caractère et le volume de la circulation.

La route enjambe tous les obstacles imaginables sur un tel parcours; voies ferrées, routes transversales, ravins, rivières etc. mais le plus important d'entre eux est, sans contredit le franchissement du fleuve Saint-Laurent entre les villes de Montréal et Jacques-Cartier.

Alors le choix du corridor de localisation de la route à cet endroit, l'envergure du projet et les dates d'échéance forçaient le fractionnement de l'entreprise.

C'est à ce moment que les ministères de la Voirie et des Travaux publics du Québec décidèrent de confier à une société de génie conseil l'étude de la traversée du Saint-Laurent: étu-

OFF  
V615  
A16/B 73

15

des préliminaires, préparation des plans et devis et surveillance de la construction.

#### Choix de l'emplacement de traversée

La traversée du Saint-Laurent soulevait de multiples problèmes et la proximité du port de Montréal compliquait encore la tâche. Il fallait tenir compte des conditions de navigation, des variations du débit, du mouvement des glaces dans le chenal maritime, de la croissance urbaine et industrielle sur les deux rives, des caprices du climat québécois etc.

Dans le corridor choisi, quatre alignements étaient possibles. Après des études comparatives, nous avons arrêté notre choix sur l'alignement qui prolonge l'axe de la montée Saint-Léonard jusqu'à la pointe amont de l'île Charron, partie du petit archipel des Îles de Boucherville.

Il restait à déterminer si l'ouvrage de traversée serait pont ou tunnel. La largeur de 2,400 pieds de la voie navigable et le dégagement aérien de 162 pieds nous conduisaient au pont suspendu. Le caractère plat des berges surélevées d'à peine 10 pieds au-dessus des hautes eaux entraînait la construction d'approches très élevées et très longues qui auraient détruit ou dévalorisé tout le quartier résidentiel de Longue-Pointe à Montréal, et interdit tout raccordement avec les îles de Boucherville.

Par ailleurs, les conditions conjuguées de berges plates presque à fleur d'eau, d'un profil de roc pratiquement taillé sur mesure et d'un tirant d'eau de 40 pieds se prêtaient fort bien à la construction d'un tunnel dont le coût, selon les estimations, serait inférieur de 5% à 10% à celui du pont suspendu, toutes choses égales par ailleurs et dont les matériaux de construction seraient presque entièrement québécois et canadiens.

#### Vue d'ensemble des ouvrages de traversée

Pour la compréhension de ce qui va suivre, je vous ferai maintenant une description très brève des huit parties de l'aménagement de traversée, dont la longueur hors tout mesure 19,350 pieds ou près de 6000 mètres.

Du nord au sud

##### 1o L'échange Hochelaga

La route Transcanadienne arrive à angle droit sur la montée Saint-Léonard, à la hauteur de la rue Hochelaga. L'intersection en T de deux autoroutes pose toujours de nombreux problèmes. L'échangeur pourvoit non seulement à tous les besoins du moment, mais il se prêtera éventuellement à la transformation du T en croix.

##### 2o Approche nord du tunnel

C'est la section encaissée et la partie du tunnel construite à ciel ouvert sur la rive nord.

3o Tunnel sous la voie maritime

Nous sommes au coeur du problème. Cette section, longue de 2,520 pieds, est constituée de sept éléments autonomes en béton précontraint, préfabriqués en cale sèche, toués sur place et immergés.

4o Approche sud du tunnel

C'est la partie du tunnel construite à sec à l'intérieur de la cale sèche et la section encaissée remontant vers l'île Charron.

5o Île Charron

La route reprend pied sur la terre ferme de l'île Charron. L'échangeur permettra la transformation de l'île Charron en banlieue-dortoir et la desserte des aménagements portuaires prévus le long des îles de Boucherville.

6o Chenal sud

Le pont qui enjambe le chenal sud a une longueur de 1,500 pieds avec dégagement aérien de 25 pieds au-dessus des hautes eaux et dégagement horizontal de 200 pieds sous la travée principale.

7o Nous sommes sur la rive sud du Saint-Laurent. L'aménagement étagé assure les échanges entre la route Transcanadienne et les routes en bordure du fleuve.

8o La route traverse les voies des Chemins de fer nationaux, s'étage pour le raccordement au parc industriel de

Boucherville et s'abaisse graduellement pour reprendre contact avec la terre ferme.

### Normes géométriques

Les calculs ont été basés sur une vitesse de croisière de 60 milles à l'heure. La route est divisée. Les deux chaussées ont chacune trois pistes de roulement. La distance visuelle minimum est fixée à 600 pieds. La pente des chaussées est de 4.5% dans le tunnel, 3.5% ailleurs. Le dégagement vertical est de 15 pieds dans le tunnel et sous les viaducs.

Dans le tunnel et les approches encaissées, la largeur de chaque chaussée est de 38 pieds. Sur le pont et les viaducs, les chaussées s'élargissent à 40 pieds, avec mail central de six pieds.

Sur les sections en remblai ou déblai, la largeur du mail central varie, mais les chaussées qui ont toujours une largeur nette de 40 pieds sont complétées par un accotement carrossable d'une largeur de dix pieds.

Les exigences du ministère de la Voirie excluaient à toutes fins pratiques le tunnel circulaire. Il fallait deux tubes à trois pistes pourvus de tout l'équipement auxiliaire de drainage, d'éclairage, de ventilation et de sécurité. Seul, le tunnel rectangulaire divisé par le tube de service donnait réponse à tous les problèmes.

Il restait à fixer la méthode de construction et de mise en place. Après analyse, nos ingénieurs-conseils optaient pour la méthode en tranchée par dragage du lit du fleuve. Les éléments en béton précontraint au nombre de sept, seraient préfabriqués en cale sèche, toués sur place, immergés et recouverts d'un ballast d'une épaisseur de dix pieds.

Chaque élément mesure 25 pieds en hauteur, 120 pieds en largeur, 360 pieds en longueur et pèse 32,000 tonnes anglaises.

#### La cale sèche

La cale sèche construite dans le lit du fleuve près de l'île Charron mesurait 2,000 pieds par 1,000 pieds en avait une profondeur de 90 pieds. La crête des digues s'élevait à 20 pieds au-dessus du niveau des hautes eaux et il fallut remuer 2,100,000 verges cubes de matériaux, 1,000,000 pour la construction des digues, 650,000 par l'excavation à la drague et le reste par les méthodes ordinaires après assèchement de la cale sèche.

Pour combattre l'infiltration des eaux dans cette moraine glaciaire, il fallut installer une ceinture de puits filtrants sur le versant intérieur des trois digues, raccorder les pointes à un système de collection de vidange.

Une seconde ceinture autour de la tranchée de l'approche sud complétait l'installation d'assèchement en pro-

fondeur et un réseau de drains perforés sous l'emplacement de fabrication assurait le travail à sec. La capacité d'évacuation des pompes était de plus de 2000 gallons minute. Les travaux avaient duré plus de huit mois et on était en mars 1964.

Les dimensions et l'équipement de la cale sèche permettaient deux opérations distinctes et concurrentes: la construction à sec d'une partie du tunnel sur une longueur de 1,504 pieds et la préfabrication des sept éléments qui seraient noyés et assemblés sous la voie maritime.

#### Coupe-type, forme et équilibre des éléments

La section en travers du tunnel devait tenir compte à la fois des standards de la route et des contraintes diverses auxquelles il serait soumis au cours des opérations de fabrication, de touage et d'immersion.

Chaque élément devait être calculé comme une coque flottante et le franc-bord devait être très faible pour minimiser les risques du touage et réduire le coût du lest d'immersion.

Par contre, dans sa position et sa forme finales, chaque élément devait être plus lourd que le poids de l'eau déplacée. La solution était assez simple; on remplacerait le lest d'immersion par du béton épousant la forme de la chaussée.

A partir de ces données et du fait que le tunnel doit résister à des efforts hydrostatiques de plus de 8,000 livres au pied carré, les ingénieurs firent l'étude parallèle des possibilités respectives du béton armé et du béton précontraint.

En béton armé, les efforts de cisaillement augmentaient l'épaisseur du radier et du toit aux encoignures; la hauteur de l'élément passait à plus de trente pieds et le déplacement d'eau plus considérable ajoutait au lest d'immersion correspondant.

Par comparaison, le béton précontraint permettait de réduire la hauteur de l'élément de cinq pieds, de remonter le profil de fond d'autant et de diminuer de 225 pieds la longueur hors tout du tunnel.

De plus, la densité du béton précontraint et sa résistance à la fissuration ajoutaient à la qualité des ouvrages immergés.

Pendant la préfabrication, l'absence momentanée de la pression hydrostatique était compensée par l'addition de tendons métalliques à l'intérieur des éléments.

A coût sensiblement égal, le béton précontraint devait l'emporter.

#### Dimensions du tunnel

Le tunnel est divisé en trois compartiments. Le tube central de service de 22'-6" x 17'-3" est flanqué des deux

tubes de circulation mesurant chacun 42'-3" x 17'-3". Les parois extérieures ont une épaisseur de 4'-6", les parois intérieures, 2'-0", le radier a une profondeur de 4'-3" et le toit, 4'-6". L'addition de ces dimensions donne une largeur hors tout de 120 pieds et une hauteur nette de 26 pieds.

La chaussée rectiligne s'incline vers le garde-roues intérieur où les eaux de ruissellement sont captées par des puisards équipés de radiateurs électriques.

Les parois du tube central sont percées par des ouvertures de dimensions variables, selon le rôle de chacune: ventilation, télévision, entretien de la chaussée ou communication d'un tube de circulation à l'autre.

Les caniveaux de drainage courent dans le radier du tube central et la conduite d'évacuation est suspendue au plafond. Un mur de blocs de béton coupe le tube central en deux pour assurer l'autonomie de la ventilation de chaque tube de circulation.

#### Fabrication des éléments immergés

Sous chaque élément, le fond de la cale sèche a été profilé pour épouser le profil de traversée, recouvert d'environ trois pouces de macadam à l'eau, sur lequel on a placé un plancher en tôle d'acier couvrant totalement la surface de fondation.

Le bétonnage du tunnel, tant pour les éléments préfabriqués que pour les parties fabriquées sur place, a été fait par sections de 50 pieds.

Les joints de construction avec coupe-eau en Polyvinil ont une largeur de deux pieds et ils ont été remplis après durcissement du béton des sections contiguës.

Les parois extérieures et le toit ont été recouverts d'une membrane asphaltique imperméable, pour prévenir la fissuration autour de l'armature et des coupe-eau. L'addition d'un revêtement de béton d'une épaisseur de quatre pouces sur le toit protégeait la membrane contre tout bris.

Pour prévenir les fissures de retrait dans le béton, les spécifications étaient particulièrement sévères: température de bétonnage entre 60o et 70oF, addition de glace dans le malaxeur en temps chaud, ciment Portland de type II pour retarder la prise, limitation du coefficient de variation à 12.5% pour les essais en laboratoire etc. .

La construction du tunnel a duré sept mois. Elle a entraîné la fabrication de 250,000 verges cubes de béton, dont plus de 110,000 pour les sept éléments préfabriqués. Si l'on ajoute que la longueur des fils d'acier de contrainte est de 60,000,000 de pieds pour un poids de 6,000 tonnes, on peut affirmer que c'est aujourd'hui dans le monde, l'ouvrage le plus considérable en béton précontraint.

### Excavation de la tranchée par dragage

La tranchée sous la voie maritime a été ouverte par 90 pieds de fond dans une moraine glaciaire très dense par la drague Hydro-Québec sur une largeur de 120 pieds à la base et de 300 pieds au niveau du lit.

L'entreprise était difficile et hasardeuse, mais elle se fit dans les délais et l'inspection par les scaphandriers confirma l'excellence du travail et le bon état de la tranchée.

### Etudes hydrostatiques

Les risques de mise en place des éléments préfabriqués justifiaient une étude sur modèle des efforts hydrodynamiques auxquels ils seraient soumis au cours des manoeuvres de touage et d'échouement.

Trois groupes de facteurs pouvaient affecter la tension sur les câbles de manoeuvre:

- 1o Les variations de débit dans le chenal maritime: profondeur d'eau, vitesse et direction du courant.
- 2o Les caractéristiques topographiques aux abords et dans la tranchée.
- 3o La position de l'élément à chaque instant des manoeuvres par rapport au mouvement des eaux dans le chenal et dans la tranchée.

Les données recueillies ont été des plus précieuses dans la conception de toutes les phases de touage et d'échouement, mais les efforts mesurés au cours des manoeuvres ont été sensiblement inférieurs à ceux que laissait prévoir le modèle.

#### Mise en place des éléments préfabriqués

Après l'installation des cloisons étanches aux extrémités et l'inondation de la cale sèche, les éléments émergeaient d'environ quinze pouces au-dessus de l'eau.

On avait au préalable construit un quai d'armement à l'intérieur de la cale sèche et enfoncé des ancrages (dolphins) dans le fleuve en amont et en aval de la tranchée.

Il s'agissait maintenant de lester, touer, manoeuvrer et immerger des masses de 32,000 tonnes dans un courant de cinq pieds seconde à travers un trafic maritime incessant.

En bref, voici le processus d'échouement:

- a) Remorque par câbles de l'élément pour l'amener au quai d'armement.
- b) Suspension aux deux fermes reposant sur les chalands de flanc.
- c) Installation des cheminées d'inspection.
- d) Ballastage pour l'immersion à fleur d'eau.

Simultanément on prépare le fond de la tranchée: lit de schiste et empilage de blocs en béton préfabriqués de

dix pieds par dix pieds d'épaisseur variable à l'endroit exact où les quatre blocs de fondation attachés sous l'élément, viendront se poser.

Ceci terminé, les chalands et l'élément sont toués en place à l'aide de câbles reliés à deux ancrages amont et deux ancrages aval.

Les chalands sont solidement amarrés dans toutes les directions. Les huit vérins d'échouement descendent l'élément à raison de deux pieds minute. Les huit vérins de redressement corrigent la poussée du courant. La tension des câbles est mesurée de façon continue. Pendant tout ce temps, la chambre de contrôle installée sur l'un des chalands assure la synchronisation des diverses manoeuvres.

Lorsque l'élément est rendu à quelques pouces du collet de l'élément voisin, des scaphandriers laissent tomber les quatre blocs de fondation que des câbles retenaient sous le radier et en vérifient la position sur les quatre assiettes précédemment aménagées.

On ajuste les vérins de nivellement et on les met sous pression pour supporter l'élément à l'élévation désirée.

Puis, on actionne le vérin d'accouplement qui écrase le caoutchouc-tampon intercalé entre les collets des deux éléments et le scelle déjà contre toute infiltration extérieure.

Il ne reste plus qu'à pomper l'eau de la chambre formée par les collets et les cloisons étanches des éléments contigus pour réduire la pression au niveau de la pression atmosphérique et la poussée hydrostatique de 6,000 tonnes fait le reste pour assurer la parfaite étanchéité du joint.

#### Fondation de sable

L'espace entre le fond de la tranchée et le dessous des éléments a été rempli par injection de sable, selon la méthode Christiani-Nelsen et elle est trop bien connue en Europe pour que je m'étende sur le sujet.

#### Eclairage

A chacun des portails, un brise-soleil atténue progressivement la lumière du jour pour passer à douze pieds bougies 1,000 pieds à l'intérieur.

Pendant la nuit, l'intensité d'éclairage sera de quatre pieds bougies au minimum.

Il va de soi que toutes les transitions seront assurées par des contrôles photoélectriques.

#### Ventilation

Le système de ventilation du tunnel est du type semi-transversal et il a été calculé pour limiter la concentration du monoxyde de carbone à 100 parties par million en toutes circonstances.

La conception du système a été vérifiée à l'aide d'un modèle de grandeur nature, d'une longueur de 160 pieds.

L'air frais, aspiré de l'extérieur par des ventilateurs installés dans les tours de ventilation, est refoulé dans le tube central d'où il est distribué aux tubes de circulation.

L'air vicié s'échappe vers l'extérieur aux deux extrémités et par les tours de ventilation où d'autres ventilateurs facilitent ce mouvement.

Le débit maximal des ventilateurs d'air frais est de 3,200,000 pieds cubes par minute.

En cas d'incendie à l'intérieur du tunnel, le régime des ventilateurs d'air frais peut être inversé pour aspirer la fumée et l'évacuer par les tours.

#### Murs et plafonds

Les parois intérieures des tubes de circulation ont une ligne brisée à dessein.

A partir de la chaussée jusqu'à une hauteur de six pieds, la paroi s'incline vers l'extérieur pour réfléchir les rayons lumineux et les ondes sonores vers le plafond et augmenter la brillance des murs.

Pour les dix pieds supérieurs, la paroi s'incline vers l'intérieur pour réfléchir les rayons lumineux sur la chaussée.

Les plafonds sont recouverts de carreaux d'amiante gris-foncé, absorbent le son et atténuent l'éblouissement.

Les murs sont recouverts de carreaux céramiques blancs, tachés ici et là de carreaux de couleur ocre pour rompre la monotonie.

La dimension des carreaux est de 8" x 16" et elle a été choisie délibérément pour aller de pair avec l'échelle du tunnel.

#### Chauffage des rampes d'approche au tunnel

Le chauffage de la chaussée sur une longueur de 600 pieds aux approches du tunnel est, croyons-nous, une caractéristique inédite de l'ouvrage.

Vous avez tous entendu parler de la rigueur de nos hivers canadiens et de l'abondance de nos chevaux hydroélectriques. Les dispositifs de chauffage sous les rampes d'approche et dans les puisards intérieurs combattront efficacement, du moins nous l'espérons, l'accumulation de la neige et de la glace et faciliteront grandement l'entretien des ouvrages.

#### Contrôles

La circulation sera surveillée à l'aide d'une installation de télévision en circuit fermé et contrôlée par les tableaux de commande du poste central installé en plein centre du tunnel.

Les détecteurs de fumée et de monoxyde de carbone contrôleront automatiquement le régime des ventilateurs.

Des cabines téléphoniques permettront à l'automobiliste en panne de communiquer avec le poste central.

#### Autres détails

Vous avez sans doute noté, mesdames et messieurs, que je n'ai fait qu'effleurer certains sujets comme l'imperméabilisation, les tours de ventilation, l'entretien etc. et que j'ai dû glisser rapidement sur d'autres aspects intéressants de l'ouvrage.

Avant de terminer, je voudrais cependant, attirer votre attention sur deux faits saillants.

Le premier c'est que contrairement à la réglementation en cours dans la plupart des grands tunnels nord-américains, il n'y aura aucune interdiction de passage dans le tunnel, quelle que soit la nature du chargement.

Après une période d'essai, nous enlèverons toutes restrictions sur le transport des explosifs, du pétrole et de tous produits inflammables, en autant que les transporteurs respecteront les lois générales de la Province.

Le second, et à plusieurs points de vue le plus éloquent, est celui des statistiques brutales de l'ouvrage.

L'étude du projet a été amorcée en novembre 1962.

Les travaux de construction ont commencé en juillet 1963.

Ils seront terminés de bout en bout en mars 1967.

Le tunnel sera ouvert à la circulation avant l'Exposition universelle qui se tiendra à Montréal en 1967.

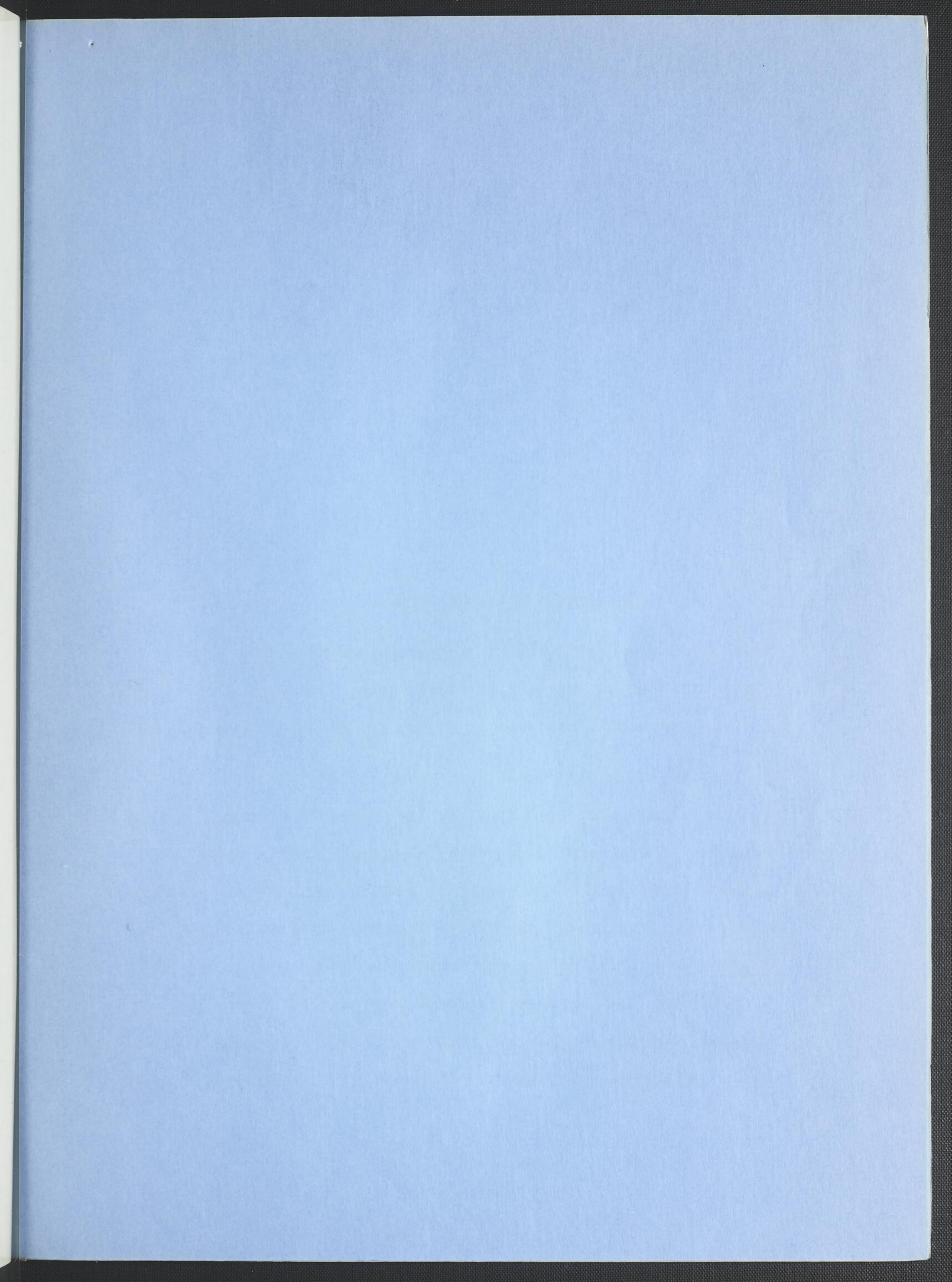
Le projet du pont-tunnel Louis-Hippolyte Lafontaine, de 75 millions de dollars, aura été mené à bien dans des conditions difficiles, en moins de trois ans et demi et s'inscrit dans le cadre d'un programme accéléré de construction d'autoroutes au coût de \$500,000,000. D'ailleurs ce vaste réseau d'autoroutes facilitera énormément l'accès du site de l'Expo '67 aux millions de visiteurs qui viendront dans notre pays.

Le site de cette Exposition Universelle est particulier à bien des égards. Il est situé en plein milieu du fleuve St-Laurent, face à Montréal, sur un groupe d'îles dont deux furent créées de main d'homme alors que deux autres ont été passablement agrandies. Son aménagement a nécessité le transport de plus de 30 millions de tonnes de terre et de gravier soit par camions, soit par dragues, ainsi que la plantation de dizaines de milliers d'arbres et d'arbustes. Présentement, Expo '67 constitue un immense chantier où quelque 17,000 travailleurs mettent une dernière main au parachèvement des pavillons. Un nombre record de 75 pays participeront à cette Exposition Universelle qui sera inaugurée le 28 avril prochain.

« Terre des Hommes », thème de cette Exposition, vous invite donc à cette rencontre internationale où vous

pourrez apprécier la chaleur de l'hospitalité des Canadiens-français.

Monsieur le président, mesdames et messieurs, je vous remercie.



165416

PAPER PRESENTED  
BY ARTHUR BRANCHAUD,  
CHIEF ENGINEER

# THE LOUIS HIPPOLYTE LAFONTAINE BRIDGE TUNNEL COMPLEX

---

DEPARTMENT OF ROADS / PROVINCE OF QUÉBEC, CANADA

---

FIFTH WORLD MEETING OF THE  
INTERNATIONAL ROAD FEDERATION

LONDON, ENGLAND, SEPTEMBER 22, 1966



C 000 165 416

B N Q

January 2009

Deacidification for Libraries and Archives

**Bookkeeper**  
=====

THE LOUIS HIPPOLYTE LAFONTAINE  
BRIDGE TUNNEL COMPLEX

TRANS-CANADA HIGHWAY

Mr. Chairman

Ladies & Gentlemen:

In 1949, the Government of Canada passed the Trans-Canada Highway Act authorizing the construction with provincial participation of a national highway crossing the country from the Atlantic Ocean on the east, to the Pacific Ocean on the west, a distance of 5,000 miles or 8,000 kilometres.

This undertaking greatly resembled the one undertaken in Canada some 50 years previously, involving the construction of a railway from coast to coast.

The highway, of course, more efficiently than the railway would link the ten provinces, encourage cultural, touristic and commercial exchanges, and generally be a vigorous stimulant for regional economies.

On October 27, 1960, an agreement was signed by the Government of Canada and the Quebec Provincial Government authorizing the construction of the Quebec section of the Trans-Canada Highway extending over some 400 miles (650 kilometres). The agreement also determined the approximate route of the highway, the construction and safety standards,

the operation of the highway and the financial contribution of each of the two governments.

To understand the location and the importance of the work described in the present paper, it must be noted that one of the principal characteristics of the Trans-Canada Highway throughout Quebec is the limited access feature and the elimination of all grade intersections.

It must also be mentioned that from the Ontario Boundary to Rivière-du-Loup, approximately 550 kilometres, the Trans-Canada Highway is divided by a central mall varying in width from 100 feet in rural areas, to six feet in urban sections and provides four, six or eight traffic lanes according to the type and volume of traffic.

The highway intersects numerous obstacles generally encountered on a route of this type, such as railways, highways, valleys, rivers, etc. but the most important is without a doubt, the crossing of the St-Lawrence River between the cities of Montreal and Jacques-Cartier.

Thus, the project of this crossing was necessarily divided into sections for reasons of location, scope and completion dates.

The Quebec Departments of Roads and Public Works decided, at this time, to retain the services of a consulting firm for the St.Lawrence River crossing. The contract involved, the preliminary studies, preparation of plans and specifications and supervision of the construction.

### Choice of the crossing location

Numerous problems were associated with the St-Lawrence River crossing and the Montreal harbour nearby was additional cause for concern. Navigation conditions, changes in the water flow, ice movements in the channel, urban and industrial expansion on both shores, wide variations of the Quebec climate, etc., all these considerations had to be taken into account.

Four different alignments were possible in the chosen route. After a comparative study, we chose one which extends along the axis of Montée St-Léonard as far as the up-stream end of Charron Island, one of the Boucherville Islands.

A decision had yet to be taken as to whether the structure would be a bridge or a tunnel. The 2,400-foot width of the shipping channel and the vertical clearance of 162 feet indicated a suspension bridge. However, the low banks barely 10 feet above the high water level, entailed the construction of very high and very long approaches that would have destroyed or devaluated the whole residential section from Longue-Pointe to Montreal, and would have prohibited all connections with the Boucherville Islands.

On the other hand, the low shore-line, a tailor-made bedrock profile and the 40-foot water depth were especially well adapted for the construction of a tunnel which was to be, according to estimates, 5 to 10 percent cheaper than the sus-

pension bridge, other factors remaining constant and the material for which would be almost completely of Quebec or Canadian origin.

### General layout of the crossing complex

To simplify what is to follow, a brief discussion will be made of the eight components of the crossing covering a length of 19,350 feet or nearly 6,000 metres.

From north to south

#### 1o The Hochelaga Interchange

The Trans-Canada Highway meets the Montée St-Léonard, in the general axis of Hochelaga Street. A tee-intersection of any two expressways always poses numerous problems. The interchange not only meets present needs, but is designed in such a way as to allow future modification to the clover-leaf.

#### 2o North approach to the tunnel

This is the depressed section and the part of the tunnel built on site on the north shore.

#### 3o Tunnel under the shipping channel

This is the crux of the problem. This 2,520-foot section is made up of seven independent prestressed concrete elements, prefabricated in dry dock, towed and sunk in place.

#### 4o South approach of the tunnel

This section was built on site inside the dry dock and

includes the depressed section ascending towards Charron Island.

5o Charron Island

The expressway surfaces on Charron Island. The interchange will allow urban development to spread to Charron Island and will permit the development of port facilities planned for the Boucherville Islands.

6o South channel

The bridge spanning the south channel is 1,500 feet long and provides a 25-foot vertical clearance above the high water level and a 200-foot horizontal clearance under the central section.

7o We are now on the south shore of the St. Lawrence River. The interchange will allow connection between the Trans-Canada Highway and highways bordering the river.

8o The highway crosses the Canadian National Railways' right-of-way, is grade-separated to connect with the Boucherville Industrial Park and slopes gradually towards ground level.

Geometric standards

The design was based on a cruising speed of 60 miles per hour. The expressway is a six-lane divided highway with minimum sight distance fixed at 600 feet and maximum slope of the roadway at 4.5% in the tunnel, and 3.5% elsewhere. In

the tunnel and under the viaducts, vertical clearance is maintained at 15 feet.

In the tunnel and the depressed approach ramps, pavement width of each roadway is 38 feet. On the bridge and viaducts, the roadways widen to 40 feet and are divided by a six foot centre mall.

On fill or cut sections, the width of the centre mall varies, but the roadways remain 40 feet wide with paved shoulders 10 feet wide.

Specifications of the Department of Roads practically eliminated the circular tunnel. Requirements indicated the need for two three lane-tubes completely furnished with all auxiliary equipment necessary for drainage, lighting, ventilation and safety. The rectangular tunnel divided by a service tube was the only solution meeting all these requirements.

Methods of construction and assembling remained to be decided. Our consulting-engineers chose, after analysis, the method involving the dredging of a trench in the river bottom. The prestressed concrete elements, seven in number, would be prefabricated in dry dock, towed in place, sunk and weighted down with a 10-foot depth of ballast.

Each element is 25 feet high, 120 feet wide, 360 feet long and weighs 32,000 english tons.

### The dry dock

The dry dock built on the river bottom near Charron Island was 2,000 feet long by 1,000 feet wide, and 90 feet deep. The top of the dikes rose 20 feet above the high water level and required the handling of 2,100,000 cubic yards of material: 1,000,000 cubic yards for the construction of the dikes, 650,000 cubic yards by dredging and the rest by ordinary grading methods after the dry dock had been drained.

To control infiltration water in this glacial moraine, a ring of well points on the interior side of the three dikes was installed and connected to a collecting and discharge system.

A second ring of well points was installed around the trench excavated for the south approach and a system of perforated drains installed under the working site maintained dry working conditions. Pump capacities totalled over 2,000 gallons per minute. In March 1964, work had been going on for eight months.

The dimensions and the equipment of the dry dock permitted two distinct operations to be carried out simultaneously: the construction in place of a part of the tunnel extending over a length of 1,504 feet and the prefabrication of seven elements that would later be towed, sunk in place and assembled under water.

Typical cross-section, shape and equilibrium of the elements

The design of the tunnel's cross-section had to meet the standards of the highway, of course, but also several additional requirements that would later appear during fabrication, towing and sinking.

Each element had to be calculated as a floating shell with the lowest possible freeboard to minimize towing risks and reduce the cost of sinking ballast.

On the other hand, in its final form and position, each element had to be heavier than the weight of the displaced volume of water. The answer was quite simple, the sinking ballast would be replaced by concrete to form the base of the roadway.

To meet these requirements and the fact that the tunnel must resist hydrostatic pressures of over 8,000 pounds per square foot, the engineers compared the relative merits of reinforced concrete and prestressed concrete.

With reinforced concrete, the shearing stresses called for greater slab thickness and thicker roof corners; the height of the element rose over thirty feet and the weight of the additional volume of displaced water increased the sinking ballast accordingly.

In comparison, prestressed concrete permitted a five-foot reduction in the height of the element, the profile to be

raised from the bottom by as much and to shorten the total length of the tunnel by 225 feet.

Furthermore, the density of prestressed concrete and its resistance to cracking provided higher quality for the underwater elements.

During prefabrication, absence of hydrostatic pressure was compensated by the addition of metal tensile members inside the elements.

For equivalent cost, therefore, prestressed concrete was chosen.

#### Tunnel dimensions

The tunnel is divided into three compartments. The central service tube measuring 22' -6" x 17' -3" lies between two traffic tubes each measuring 42' -3" x 17' -3". Thickness of the exterior walls is 4' -6", interior partitions, 2' -0", the bottom slab, 4' -3" and the roof, 4' -6". Total exterior width is therefore 120 feet and total height is 26 feet.

The flat roadways slope towards the interior curbs where run-off water is collected by catch basins equipped with electric radiators.

The central tube walls provide openings of different dimensions according to the use each one is intended for: ventilation, television, maintenance of the roadway, or passage from one roadway to the other.

Drainage runs in the slab of the central tube and the discharge conduit is suspended from the roof. A concrete block wall divides the central tube to guarantee the independent ventilation of each traffic tube.

#### Construction of the under-water elements

The bottom of the dry dock was shaped under each element to the profile of the crossing. These areas were then covered with approximately three inches of water type macadam, and topped with steel sheets.

Concrete for the tunnel, for the elements as well as for the sections built in place, was poured in sections of 50 feet.

Construction joints using Polyvinyl water-barrier are two feet wide and were poured after the concrete of adjacent sections had hardened.

The exterior walls and the roof were covered with an impervious asphalt film to prevent cracking around the reinforcement and the water-barriers. An additional four-inch layer of concrete over the roof protected the asphalt film against damage.

To prevent shrinkage cracks in the concrete, specifications were particularly rigid: temperature of the concrete was to be maintained between 60o and 70oF, addition of ice in the mixer in warm weather, Portland Cement Type II to retard setting, limitation of the variation coefficient to 12.5% for the laboratory tests, etc.

The construction of the tunnel lasted seven months. It required the mixing of 250,000 cubic yards of concrete, 110,000 cubic yards of which was for the seven prefabricated elements. If we add the 60,000,000 feet of prestressing steel required weighing 6,000 tons, it can safely be stated that it is the world's largest prestressed concrete project underway.

### Dredging

The trench was dug across the river bottom through a very dense glacial moraine by the Hydro-Quebec dredge to a depth of 90 feet. The trench was 120 feet wide at the bottom and 300 feet wide at the top.

The undertaking was difficult and risky, but it was carried out within the specified time and inspection by divers confirmed that the work had been well done and the trench was in good order.

### Hydrostatic tests

The risks involved in towing the prefabricated elements warranted a study on scale-models to determine the hydrodynamic pressures that might be encountered during towing and sinking operations.

Three groups of factors could affect the tension on control cables:

- 10 Variations in the channel current: water depth, speed, and direction of flow.

- 2o Topographical characteristics in the trench and vicinity.
- 3o The position of the element at each moment of the operation in relation to the water flow in the channel and in the trench.

Observed data were very useful for the design of all phases of the towing and sinking operations, but pressures observed on the elements were considerably lower than those indicated by the model.

#### Placing of the prefabricated elements

After sealing off the ends of the elements with water-tight partitions and after flooding the dry-dock, the elements floated with approximately fifteen inches free-board.

Previously, a wharf had been built inside the dry-dock and dolphins had been driven up-stream and down-stream from the trench.

The remained to ballast, tow manoeuvre and sink the 32,000-ton masses in a current of five feet per second and continued shipping traffic.

Briefly, the sinking procedure was the following:

- a) Towing to the wharf of the element by cables.
- b) Suspension of the element to two trusses resting on side barges.
- c) Installation of inspection chimneys.
- d) Ballasting for immersion to water level.

At the same time, the bottom of the trench was prepared: bed of schist and piling of prefabricated concrete blocks of different thicknesses measuring 10 feet by 10 feet at the exact location, where the four foundation blocks hung under the element would land.

Once this work is completed, the barges and the element are towed in place by cables tied to two anchors up-stream and to two anchors down-stream.

The barges are anchored solidly in all directions. The eight sinking jacks lower the element at a rate of two feet per minute. The eight correction jacks counteract the force of the current. Tension on cables is measured constantly. During all this time, operations are synchronized by the control room set up on one of the barges.

Once the element is within a few inches of the collar of the adjacent element, divers let drop the four foundation blocks that cables held under the floor slab and check their position on the four foundation blocks already installed.

The levelling jacks are adjusted and pressure is applied to support the element at the desired elevation.

The coupling jack is turned on compressing the rubber-seal installed between the collars of two elements and sealing the two from all exterior infiltration.

All that remains is to pump the water from the cavity formed by the collars and the water-type partitions of adjacent

elements to reduce the pressure to atmospheric pressure and hydrostatic forces of 6,000 tons do the rest to assure a perfectly sealed joint.

#### Sand foundation

The space between the bottom of the trench and the under side of the elements was filled with injected sand, following the Christiani-Nelsen method, too well known in Europe to justify a lengthy description here.

#### Lighting

At each portal, a sun-shade progressively filters daylight to arrive at an intensity of 12 foot-candles 1,000 feet from the portal.

During the night, lighting intensity will be four foot-candles minimum.

All transitions, of course, are controlled by photoelectric instruments.

#### Ventilation

The ventilation system of the tunnel is a semi-transversal type and was designed to limit the concentration of carbon monoxide to 100 parts per million at all times.

The desing of the system was checked by the use of a full size model, 160 feet in length.

Fresh air drawn in by fans installed in the ventilation towers, is forced into the central tube from which it is distributed along the traffic tubes.

Contaminated air is expelled at the two extremities and by the ventilation towers where additional fans are located for this purpose.

Maximum capacity of the fresh air fans is 3,200,000 cubic feet per minute.

In case of fire inside the tunnel, the fresh air ventilating fans can be reversed to draw out the smoke through the towers.

#### Walls and ceilings

The interior surfaces of the traffic tubes present a broken line purposely.

From the pavement to a height of six feet, the wall slopes outwards to reflect light and sound towards the ceiling and increase the brilliancy of the walls.

For the upper ten feet, the wall slopes towards the interior to reflect light on the pavement.

The ceilings are covered by dark grey asbestos tiles to absorb sound and decrease glare.

Walls are covered with white ceramic tiles, spotted here and there with ochre to break the monotony.

Tile dimensions are 8" x 16" and were deliberately chosen to suit the size of the tunnel.

### Heating of the tunnel approach ramps

Heating of 600 feet of pavement on the approaches is, in our opinion, a new characteristic of this structure.

You have all heard of our hard Canadian winters and the abundance of our hydroelectric energy. The heating elements under the approach ramps and inside the interior catch basins, we hope, will efficiently counteract the accumulation of snow and ice and will greatly simplify maintenance of the tunnel.

### Control

Traffic will be observed by a closed circuit television network and controlled by panels at the central control station set up exactly in the centre of the tunnel.

Smoke and carbon monoxide detectors will automatically control fan operation.

Telephone booths will enable stalled motorists to contact the central control station.

### Other details

You may have noticed, ladies and gentlemen, that I have only briefly mentioned certain subjects such as water-proofing, ventilation towers, maintenance, etc. and that I dealt very rapidly with other interesting aspects of the structure.

Before closing however, I would like to draw your attention to two important facts.

The first is that contrary to regulations generally applied in the majority of the larger north-american tunnels, there will be no prohibition for the use of the tunnel irrespective of the kind of load.

After a trial period, all restrictions will be lifted for the transportation of explosives, petroleum products, and all inflammable products, providing the carriers respect the general laws of the Province.

The second, and in many respects the most impressive involves the statistics of the structure.

The study of the project started in November 1962.

Construction started in July 1963.

Construction will be completed from one end to another in 1967.

The tunnel will be open to traffic before the Canadian Universal and International Exhibition is held in Montreal in 1967.

The Louis-Hippolyte Lafontaine bridge-tunnel 75 million dollar project will have been carried out under difficult conditions in less than three and one half years and is part of a \$500,000,000 accelerated expressway construction program. On the other hand, this great expressway network will facilitate access for the millions of visitors who will travel to our contry to the site of Expo '67.

The site of this World Exhibition is singular in many respects. It is situated in the middle of the St. Lawrence

River, opposite Montreal, on a group of islands two of which were man-made while two other were enlarged extensively. It was necessary for its development to cart by truck or to dredge more than 30 million tons of earth and gravel as well as to plant tens of thousands of trees and shrubs. At the present time, Expo '67 is a huge project where some 17,000 workers are putting the finishing touch to the pavilions. A record number of 75 countries will take part to this World Exhibition which will open next April 28th.

« Man and his world », the theme of this Exhibition therefore invites you to this international meeting where you may appreciate the warmth of French-canadian hospitality.

Mr. Chairman, ladies and gentlemen, I thank you.

