

162

DA4

Modernisation de la rue Notre-Dame à Montréal
par le ministère des Transports

Montréal

AUD6211 06 057

DESSAU-SOPRIN

Modernisation de la rue Notre-Dame - Option d'un tunnel routier dans l'axe de la rue de Rouen

Étude de faisabilité technique

Préparé pour :



N/Réf. : 40067-186
Septembre 2001



Modernisation de la rue Notre-Dame Option d'un tunnel routier dans l'axe de la rue de Rouen

Étude de faisabilité technique

Préparé par :

Sonia Larocque, ing.
Suzanne St-Onge, ing.
Hatch Mott McDonald
Jean Hardy, ing., MBA

Approuvé par :



Jean Hardy, ing., MBA

Dessau-Soprin inc.
759, Square Victoria, bureau 310
Montréal (Québec) Canada H2Y 2J7
Téléphone : (514) 281-1010
Télécopieur : (514) 288-8358
Courriel : energie@dessausoprin.com
Site Web : www.dessausoprin.com

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le ministère des Transports du Québec a demandé à ce que l'étude d'une variante tunnel dans l'axe de la rue de Rouen à Montréal soit réalisée, en option au projet de modernisation de la rue Notre-Dame, tel que déposé au ministère de l'Environnement du Québec. Cette étude ayant été réalisée en partie par la firme Hatch Mott McDonald spécialisée en ingénierie des tunnels à l'échelle internationale, a permis de dégager les principales constatations suivantes, selon le domaine d'expertise concerné :

TECHNIQUE :

La construction d'un tunnel routier dans l'axe de la rue de Rouen est techniquement réalisable, tel que le rapport rédigé par la firme d'experts en ingénierie de tunnels Hatch Mott McDonald l'a démontré. Les conditions géotechniques connues dans cet axe ne permettent pas d'entrevoir de problèmes insurmontables en vue de la réalisation de l'ouvrage qui se fera avec tunnelier en partie et par dynamitage. Il est possible de procéder au raccordement géométrique des approches du tunnel projeté à la rue Dickson à l'est et aux rues Frontenac / Iberville à l'ouest, tout en respectant la géométrie proposée dans le concept de la rue Notre-Dame réaménagée. Toutefois, compte tenu que les approches au tunnel se font en tranchée ouverte (longueur d'environ 200 m), des expropriations seront requises pour l'approche ouest.

CIRCULATION :

Selon les simulations effectuées, l'option tunnel amène une augmentation très importante des débits sur l'avenue Souigny (8750 véhicules emprunteraient la rue Souigny en période de pointe du matin en direction ouest, comparativement à 4490 avant l'ouverture du tunnel). Les débits sur la rue Notre-Dame, diminuent sur tout le tronçon situé entre la rue Dickson et la rue Frontenac, cette diminution variant de 22 à 34 % en direction ouest, ce qui correspond à une baisse de 1 200 à 2 000 véhicules durant la période de pointe du matin dans le sens de la pointe. En direction est le matin (donc dans le sens inverse de la pointe), la réduction est de 33 à 43 %. À l'ouest du carrefour Iberville/Frontenac, la rue Notre-Dame subit une augmentation de 37% ou 3 400 véhicules automobiles en période de pointe du matin en direction ouest.

L'est de l'Île contribue à près de 40% des déplacements qui emprunteraient le tunnel. L'option tunnel est donc moins utilisée par les usagers de l'est de l'Île que la rue Notre-Dame qui elle l'est à 65%. De plus, le tunnel amène plus d'usagers à l'ouest de la rue Frontenac que le réseau ne peut en prendre entraînant un débordement des usagers dans le réseau des rues locales du quartier Ste-Marie.

En ce qui concerne la circulation sur la rue Notre-Dame à l'est d'Iberville, il faut mentionner que la rue Notre-Dame subirait une augmentation de la circulation pendant 10 ans, jusqu'au moment de l'ouverture du tunnel en 2011. On peut constater qu'un transfert de volumes s'effectue de la rue Notre-Dame au profit du tunnel au moment de l'ouverture. Cependant, bien que les diminutions de débits prévues sur Notre-Dame soient importantes, les débits restants sur cette rue sont considérables. Les analyses de capacité pour 2011 avec le tunnel ouvert, montrent que les carrefours, étant munis de feux de circulation, seraient à capacité et n'offriraient aucune réserve de capacité sans que des modifications géométriques importantes n'y soient apportées.

La rue Notre-Dame conserverait son caractère d'artère majeure est-ouest dans ce secteur de la ville, puisque de 44 000 à 56 000 véhicules journaliers continueraient de l'emprunter contre 80 000 véhicules journaliers prévus pour le tunnel. Quoique le tunnel présenterait un attrait pour les camions actuellement en transit sur la rue Notre-Dame, la rue Notre-Dame continuerait d'être un lien privilégié pour le camionnage desservant le port de Montréal et les industries riveraines. Enfin, les camions de matières dangereuses continueraient d'utiliser la rue Notre-Dame étant donné que le tunnel serait interdit aux véhicules transportant des matières dangereuses.

ÉCHÉANCIER :

La construction d'un tunnel de 3,0 kilomètres de longueur implique en réalité le percement de 4 tubes en parallèle une fois la construction complétée, mais de 6 tubes durant la construction, en incluant les tunnels d'évacuation des piétons. Entre le début des activités de conception, l'obtention de toutes les autorisations environnementales requises, la réalisation de tous les travaux de construction ainsi que la mise en service des équipements de gestion et d'exploitation, on peut prévoir une période de 9 à 10 années, ce qui donne une mise en

service en 2011. Le délai comparable pour le projet de modernisation de la rue Notre-Dame est de 4 à 5 années avec mise en service graduelle dès qu'un tronçon est complété.

COÛTS :

Le coût d'un projet de tunnel routier en option au projet actuel de modernisation de la rue Notre-Dame, est d'environ 900 millions de dollars.

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX :

Bien qu'il n'y ait pas eu d'étude d'impact environnemental réalisée sur l'option tunnel, on peut reconnaître qu'il y aura différents impacts environnementaux durant la construction de l'ouvrage et durant l'exploitation de celui-ci.

- Ainsi, la construction d'un tunnel routier de 3,0 km implique l'excavation d'environ 1 000 000 mètres cubes de matériaux. Ces matériaux de déblais seront excavés en partie par dynamitage et forage, causant potentiellement des vibrations gênantes aux résidents des quartiers traversés par l'axe du tunnel dans un corridor de 300 mètres de part et d'autre de l'axe.
- Ces matériaux de déblais devraient être transportés à des sites de disposition appropriés impliquant l'utilisation du réseau de rues autorisant la circulation des camions selon le plan de camionnage de la Ville de Montréal, soit principalement les rues St-Clément, Viau, Dickson, Ontario, Notre-Dame, Moreau, De Rouen, Iberville et Frontenac.
- L'évacuation des émissions polluantes causées par les véhicules dans le tunnel seront éliminées au moyen de 3 puits de ventilation, tous localisés en milieu résidentiel d'Hochelaga-Maisonneuve. Les émissions seront concentrées au voisinage direct de ces puits, dans une proportion beaucoup plus importante que pour le projet de modernisation de la rue Notre-Dame où les vents dominants dispersent les émissions polluantes vers le fleuve.
- D'autre part, une centaine de résidences devront être expropriées afin de permettre la construction de ces puits de ventilation, ainsi que la construction de l'approche ouest du tunnel qui doit se faire en tranchée ouverte (rues L'Espérance et Terrasse Thomas-Valin).

- La hausse des débits sur Souigny implique la hausse des écrans antibruit existants ainsi que leur allongement selon les endroits, ce qui serait inacceptable selon un sondage mené auprès des résidents de l'avenue Souigny.
- La situation de statu quo persistera sur la rue Notre-Dame en termes de bruit routier, de sécurité routière (piétons, cyclistes, mouvements d'entrée et de sortie de camions, etc.), d'accessibilité aux espaces verts et globalement de qualité de vie.
- Finalement, l'option tunnel ne règle rien à la problématique de la rue Notre-Dame pour les citoyens, le camionnage, les industries, l'environnement et le patrimoine, pour ne nommer que ces aspects.

TABLE DES MATIÈRES

Page

SOMMAIRE EXÉCUTIF

1.	INTRODUCTION	1
2.	BUT DU MANDAT	2
3.	ÉLÉMENTS CONCEPTUELS DU TUNNEL	3
3.1	ALIGNEMENT	3
3.2	GÉOTECHNIQUE – CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.....	3
3.3	SECTIONS TRANSVERSALES DU TUNNEL - OPTIONS	6
3.4	TUBES ELLIPTIQUES – OPTION RETENUE.....	7
3.5	VENTILATION	11
3.6	DRAINAGE DU TUNNEL	18
3.7	ÉCLAIRAGE ET REVÊTEMENT DU TUNNEL.....	18
3.8	PROTECTION INCENDIE	19
3.9	SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE.....	20
3.10	CENTRE DE CONTRÔLE.....	22
4.	MÉTHODES DE CONSTRUCTION.....	23
4.1	MÉTHODES D'EXCAVATION DU TUNNEL	23
4.1.1	Tunneliers	23
4.1.2	Forage et dynamitage.....	25
4.1.3	Excavation en tranchée	29
4.2	REVÊTEMENT INTÉRIEUR DU TUNNEL.....	30
4.2.1	Revêtement temporaire	30
4.2.2	Étanchéité	30
4.2.3	Revêtement permanent	31
4.3	CHAUSSÉE.....	31
4.4	CONDUITS DE VENTILATION	32
4.5	DISPOSITION DES MATÉRIAUX.....	32
4.6	TUNNELS D'ÉVACUATION	33

TABLE DES MATIÈRES

4.7	PASSAGES TRANSVERSAUX.....	34
4.8	APPROCHES ET PORTAILS D'ENTRÉE	34
4.9	PUITS DE VENTILATION.....	35
4.10	TRAITEMENT DES SOLS.....	35
5.	IMPACTS SUR LA CIRCULATION	37
5.1	ESTIMATION DES DÉBITS	37
5.1.1	Débits du statu quo en 2001.....	39
5.1.2	Débits du statu quo à l'horizon 2011.....	39
5.1.3	Débits de l'option tunnel à l'horizon 2011	39
5.1.4	Comparaison des débits des scénarios dans le corridor à l'étude (horizon 2011)....	40
5.1.5	Impact sur le réseau adjacent.....	43
5.2	DÉPLACEMENTS AUTOMOBILES.....	45
5.2.1	Bénéficiaires du tunnel	45
5.2.2	Indicateurs de performance du réseau	46
5.3	ANALYSES DE CIRCULATION POUR L'OPTION TUNNEL	50
5.3.1	Circulation dans le tunnel	50
5.3.2	Circulation sur la rue Notre-Dame à l'ouest d'Iberville.....	50
5.3.3	Circulation sur la rue Notre-Dame à l'est d'Iberville	51
5.3.4	Trafic journalier sur la rue Notre-Dame en 2011 avec l'option tunnel.....	53
5.4	CAMIONNAGE	53
5.5	TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES	54
5.6	MAINTIEN DE LA CIRCULATION DURANT LA CONSTRUCTION.....	54
6.	IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	56
6.1	BRUIT	56
6.2	VIBRATIONS	61
6.3	DURANT LA CONSTRUCTION	62
6.4	CAMIONNAGE	64
6.5	EXPROPRIATIONS	64
7.	ÉCHÉANCIER.....	65

BIBLIOGRAPHIE

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Modernisation de la rue Notre-Dame – Tunnel	4
Figure 2	Tunnels – Plan et profil	5
Figure 3	Liste des tunnels similaires	8
Figure 4	Tunnels circulaires et elliptiques – Sections transversales	9
Figure 5	Tunnel à 3 voies – Section transversale typique	10
Figure 6	Tunnels elliptiques à 3 voies – Section transversale typique	12
Figure 7	Excavation en tranchée – Section transversale typique	13
Figure 8	Structure de puits d'aération – Section typique	15
Figure 9	Structure de puits d'aération – Plan	16
Figure 10	Exemple de tunnelier de roc	24
Figure 11	Exemple de foreuse jumbo	27
Figure 12	Tunnels elliptiques à 3 voies – Méthodologie de construction	28
Figure 13	Résultats des simulations EMME/2 – Statu quo – Horizon 2001 et 2011	38
Figure 14	Variations de débits sur le réseau routier – Horizon 2001 – Variante en tunnel versus statu quo	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Comparaison des débits simulés sur Souigny et Notre-Dame – Période de pointe du matin (PPAM) – Horizon 2001	41
Tableau 2	Option tunnel – Secteurs d'origine des usagers PPAM – Horizon 2011	47
Tableau 3	Option tunnel – Secteurs de destination des usagers PPAM – Horizon 2011	47
Tableau 4	Option tunnel – Distribution des déplacements automobiles - Principales paires O-D en PPAM – Horizon 2011	48
Tableau 5	Option tunnel – Distribution des déplacements automobiles par territoire en PPAM – Horizon 2011	48
Tableau 6	Résumé des différents indicateurs – Période de pointe du matin – Horizon 2011	49
Tableau 7	Résultats des mesures de bruit aux résidences les plus proches des emplacements prévus pour les trois puits de ventilation	56
Tableau 8	Résultats des mesures de bruit relevées à proximité du puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine sur L'Île Charron	58

ANNEXES

ANNEXE 1	CONDITIONS GÉOTECHNIQUES
ANNEXE 2	ESTIMATION DES COÛTS
ANNEXE 3	NOTRE-DAME HIGHWAY TUNNELS – FEASIBILITY STUDY FOR DESSAU- SOPRIN, AUGUST 2000

1. INTRODUCTION

Dans le cadre du projet de modernisation de la rue Notre-Dame, le ministère des Transports du Québec a élaboré un concept d'avant-projet routier d'une longueur de neuf kilomètres entre la rue Amherst et l'autoroute 25. Le tracé utilise l'axe de la rue Notre-Dame entre la rue Amherst et la rue Viau puis bifurque vers le nord jusqu'à l'axe de l'avenue Souigny et de là, jusqu'à l'autoroute 25. Ce concept a fait l'objet de nombreuses consultations auprès des intervenants municipaux, sociaux, économiques et politiques. Un vaste consensus s'est rapidement dégagé auprès de tous les intervenants autour de l'avant-projet élaboré par le Ministère.

Toutefois, une coalition de quelques citoyens s'opposant au projet mis de l'avant par le ministère des Transports, propose un concept différent de celui-ci, soit un concept en tunnel routier sans accès. Celui-ci joindrait l'avenue Souigny à l'est près du boulevard l'Assomption, à la rue Notre-Dame aux environs de la rue Frontenac à l'ouest, en suivant l'axe de la rue de Rouen. Le tunnel aurait une longueur d'environ trois kilomètres.

Dans cette optique, le Ministère a élaboré un concept d'avant-projet d'un tunnel routier afin de s'assurer du respect de ses différentes politiques constituant le cadre de ses interventions de tous ses projets d'infrastructure routière, et de comparer celui-ci à l'avant-projet du Ministère.

Afin d'obtenir un concept technique qui soit préparé sur la base la plus objective possible, le ministère des Transports a demandé qu'un expert en conception de tunnel routier soit retenu par la firme Dessau-Soprin. C'est ainsi que la firme Hatch Mott MacDonald a été retenue. Cette firme travaille à l'échelle internationale sur des projets similaires. Tout l'aspect technique du présent rapport a ainsi été préparé par Hatch Mott MacDonald en version originale anglaise.

2. BUT DU MANDAT

Le but du mandat confié à la firme Dessau-Soprin et à son sous-traitant est de préparer une solution qui soit techniquement faisable, pour un tunnel routier situé dans l'axe de la rue de Rouen, permettant la comparaison avec l'avant-projet routier dans l'axe de la rue Notre-Dame.

Ce mandat comprend la réalisation des études et analyses requises, l'estimation des coûts et l'évaluation de l'impact d'un tunnel routier d'environ trois kilomètres de longueur, incluant les approches, entre les rues Frontenac et Dickson. L'aspect technique relié à la conception du tunnel a été réalisé par la firme Hatch Mott McDonald, alors que tous les autres aspects ont été complétés par la firme Dessau-Soprin.

Le texte des chapitres 3 et 4 du présent rapport se veut une traduction aussi fidèle que possible du rapport technique préparé par la firme Hatch Mott McDonald, dont l'original est joint à l'annexe 3.

3. ÉLÉMENTS CONCEPTUELS DU TUNNEL

3.1 ALIGNEMENT

La localisation proposée du tracé du tunnel est montrée à la figure 1 alors que les alignements horizontaux et verticaux sont montrés à la figure 2. À partir du portail ouest, immédiatement à l'ouest de la cour de triage Hochelaga du CP, l'alignement est parallèle aux voies ferrées du CP avec une pente descendante d'environ 2%. L'alignement passe ensuite sous les voies du CP juste au sud de la rue de Rouen, continue vers l'est dans l'alignement de la rue de Rouen et émerge au portail est, localisé entre la rue de Ville-Marie et le corridor du CN. Le point bas de l'alignement vertical est obtenu un peu à l'est de la cour de triage du CP. Ensuite, le profil du tunnel est relativement plat jusqu'à environ 500 mètres du portail est, et de là, le tunnel est en pente ascendante de 2.2% jusqu'à la sortie.

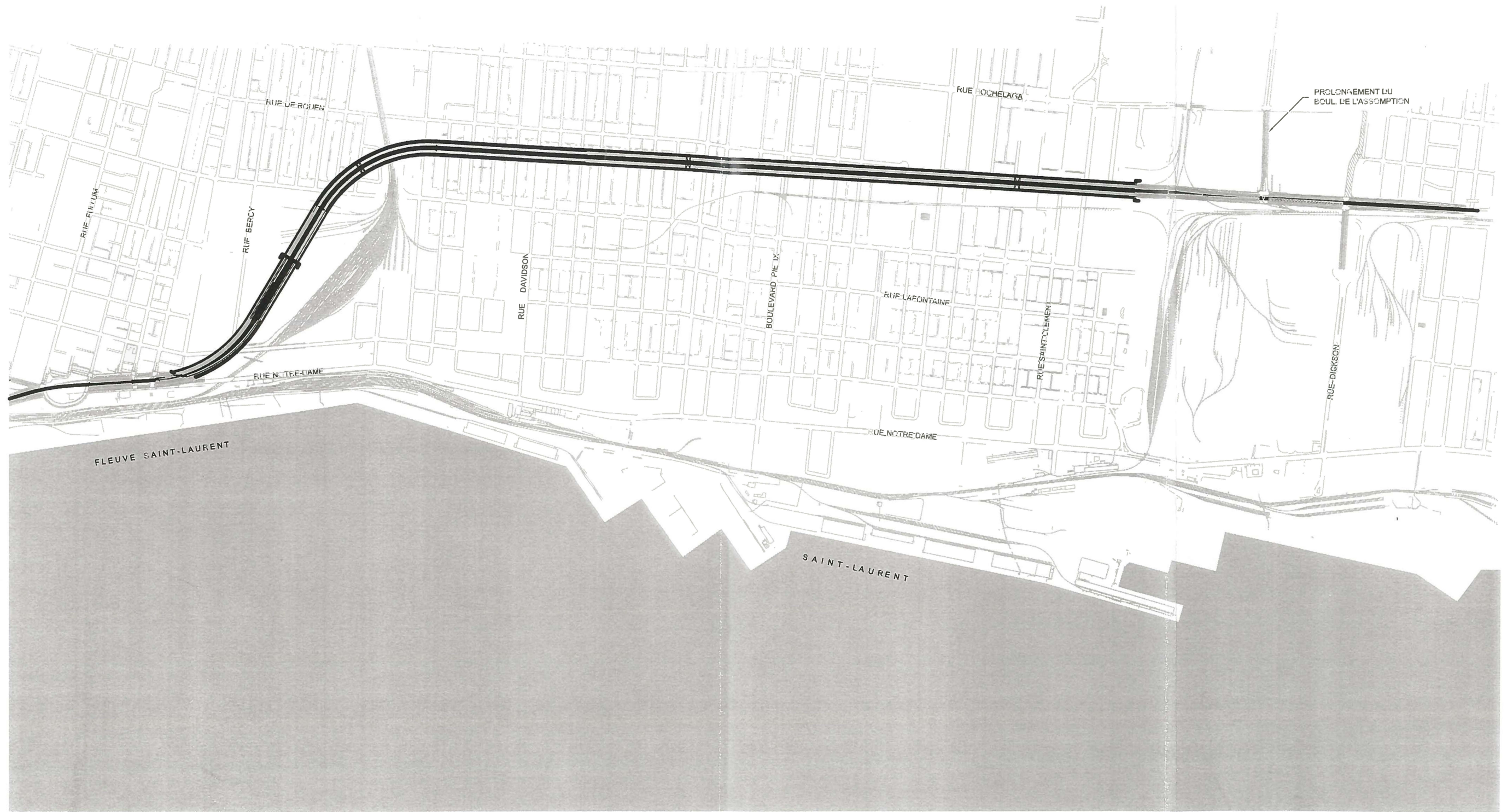
Au-delà des portails, les approches conservent les mêmes pentes jusqu'au raccordement avec les voies rapides en dépression, passant sous la rue Bercy à l'ouest et le boulevard l'Assomption à l'est.

3.2 GÉOTECHNIQUE – CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Les conditions géotechniques, le long du tracé du tunnel, peuvent être décrites comme étant constituées d'un mort-terrain de till composé de silt et d'argile recouvrant un roc calcaire. La profondeur du roc varie de moins de 5 mètres à l'extrémité est du tunnel jusqu'à 25 mètres à son extrémité ouest. De plus, le niveau du roc s'abaisse en direction du fleuve St-Laurent.

L'alignement vertical du tunnel a été conçu de façon à ce que la majeure partie du tunnel soit construite dans le roc. En effet, les larges tunnels requis pour ce projet ne peuvent être construits de façon économique dans le mort-terrain sauf en technique de tranchée à ciel ouvert.

Toutefois, cette technique requiert de l'acquisition de terrain et la démolition de bâtiments, ce qui serait inacceptable pour ce projet. Dans le roc, les tunnels peuvent être excavés avec un minimum de perturbation à la surface.



TUNNEL NOTRE-DAME
 MODERNISATION DE LA RUE NOTRE-DAME
 TUNNEL

FIGURE NO.	1
DATE	10 AOÛT 2000

Malheureusement, il est impossible de construire le tunnel dans le roc à son extrémité ouest, là où le portail du tunnel serait localisé entièrement dans le mort-terrain. De plus, on ne peut obtenir un couvert suffisant qu'à 500 mètres du portail. Ces premiers 500 mètres seraient donc construits en tranchée à ciel ouvert. Par contre, à l'extrémité est du tunnel, le roc est près de la surface et le tunnel peut être construit par forage jusqu'au portail.

Le niveau de la nappe phréatique se trouve généralement de 2 à 4 mètres sous la surface du sol. Des opérations de pompage seront nécessaires durant les travaux de construction en tranchée à ciel ouvert, pour évacuer l'eau qui s'amassera, étant donné que la construction des tunnels s'effectuera en descendant.

Des mesures de soutènement des sols seront nécessaires à chaque portail pour assurer la stabilité du massif rocheux immédiatement au-dessus de l'ouverture des portails (voir section 4.8).

Nous présentons à l'annexe 1 un texte plus élaboré présentant la géologie générale traversée par l'axe du tunnel, ainsi qu'un texte sur la problématique de construction reliée à la nature géotechnique du sol en place.

3.3 SECTIONS TRANSVERSALES DU TUNNEL - OPTIONS

Plusieurs sections transversales de tunnel ont été considérées afin de fournir six voies de circulation, des accotements de 0,5 et 1,5 mètres, et des sorties d'urgence. Les options potentielles ont été réduites à ce qui suit :

- Deux tubes circulaires de trois voies, avec tunnels d'évacuation; (voir figure 4)
- Deux tubes elliptiques de trois voies, avec tunnels d'évacuation. (voir figure 4)

L'option de tunnels circulaires à trois voies a été rejetée parce que le diamètre extérieur des tunnels (une excavation circulaire de près de 17 m), excède la technologie des tunneliers actuellement disponibles. Le tunnelier le plus large, construit jusqu'à présent, a 14,4 m de diamètre. La figure 3 présente les dimensions des principaux tunnels véhiculaires similaires. Or, un diamètre de 17 m est requis pour avoir une hauteur de 4,5 m par une largeur de 13,1 m, nécessaires pour assurer un dégagement suffisant pour trois voies de circulation. Deux

tunnels circulaires de 17 m de diamètre, plus un tunnel d'évacuation de 3,5 m de diamètre, généreraient un total de 468 m² de surface d'excavation. Ceci se compare défavorablement aux 300 m² générés par l'option des deux tubes elliptiques (voir figure 4).

3.4 TUBES ELLIPTIQUES – OPTION RETENUE

La forme elliptique a été sélectionnée comme étant la forme la plus appropriée pour ce projet. Par le passé, le calcaire de Montréal a été reconnu pour être un bon matériel de support pour la construction de tunnels. L'aire de la section transversale excavée sera approximativement de 137 m² par tunnel continu (sans accès) et la forme utilisera efficacement l'espace disponible pour permettre les éléments suivants (voir figure 5):

- espace de dégagement vertical pour trois voies routières;
- espace de ventilation (air frais et élimination de l'air vicié);
- allées d'évacuation et d'entretien;
- drainage de la route; et
- espace de signalisation.

Les conditions géotechniques en place le long du tunnel Notre-Dame permettent de creuser le tunnel selon le profil projeté en utilisant une combinaison des techniques de tunnelier et de la Méthode d'Excavation Séquentielle (MES), dans la section de calcaire de 2,8 km de longueur. L'excavation initiale créera des tunnels circulaires parallèles excavés par tunnelier, avec le pilier central et la voûte qui seront enlevés par forage et dynamitage puis taillés par excavatrices. L'intérieur des tunnels sera fini avec une paroi de béton coulé en place de 400 mm d'épaisseur nominale, renforcé avec des fibres et avec une membrane étanche derrière la paroi.

<i>Nom du tunnel & Localisation</i>	<i>Nbre de tubes</i>	<i>Longueur de la route x plafond</i>	<i>Notes</i>
Cassier Conector Vancouver, CB	1	20 m	Arche
Cumberland Gap Virginie/Tennessee, Etats-Unis	2	11 m	Arche
Tunnel Glenwood Canyon, Tunnel Hanging Lake Colorado, Etats-Unis	2	103 m	Arche
Tunnel Third Harbor Artery (Ted Williams) Boston, MA, EU	2	(approx.)	Tube immergé
Tunnels périphériques A86, Paris, France	2 (un actuel, 2 ^e dans le futur)	10.6m	Premier tunnel (est) véhicules légers; second tunnel (ouest) tous les véhicules Diamètre tube = 10.1 m
Tunnel Branisko Slovaquie	2	(approx.)	Arche
Tunnel Trans-Andes	2	aux plafond	Arche Alternative: Tunnels ferroviaires
Tube immergé Drogen Copenhague	2 – Autoroute 2 – Rail	aux plafond	Estimé a partir de diagrammes réduits
Hvalfjordur Islande	3 voies à 2 voies avec compartiments d'urgence dans ce dernier	aux ventilateurs	Arche
Tunnels Fatima Norvège	1 – sous-marin 2 – terrestre	donné	Arche présumée
Tunnels BOT Lyon, France	2	11.6m	Circulaire 9.82 m (D)
Tunnels Ring Road Stockholm Suède	2	donné	Arche
Tunnel Sachseln Suisse	1	(approx.)	Arche Trafic à 2 sens; 6 compartiments d'urgence; 35 places d'appel d'urgence
Tunnels Pen-Y-Clip A55 Expressway N. Wales, GB	1	11 m	Arche
Dallas Texas	2	102 m	Arche
Melbourne Australie	2		Arche
Bomlaafjord Norvège			Arche
Driskos, Dodoni Grèce	2		Arche
Westerschelde, Hollande	2		Tube immergé

NOTRE DAME
DES TUNNELS SIMILAIRES

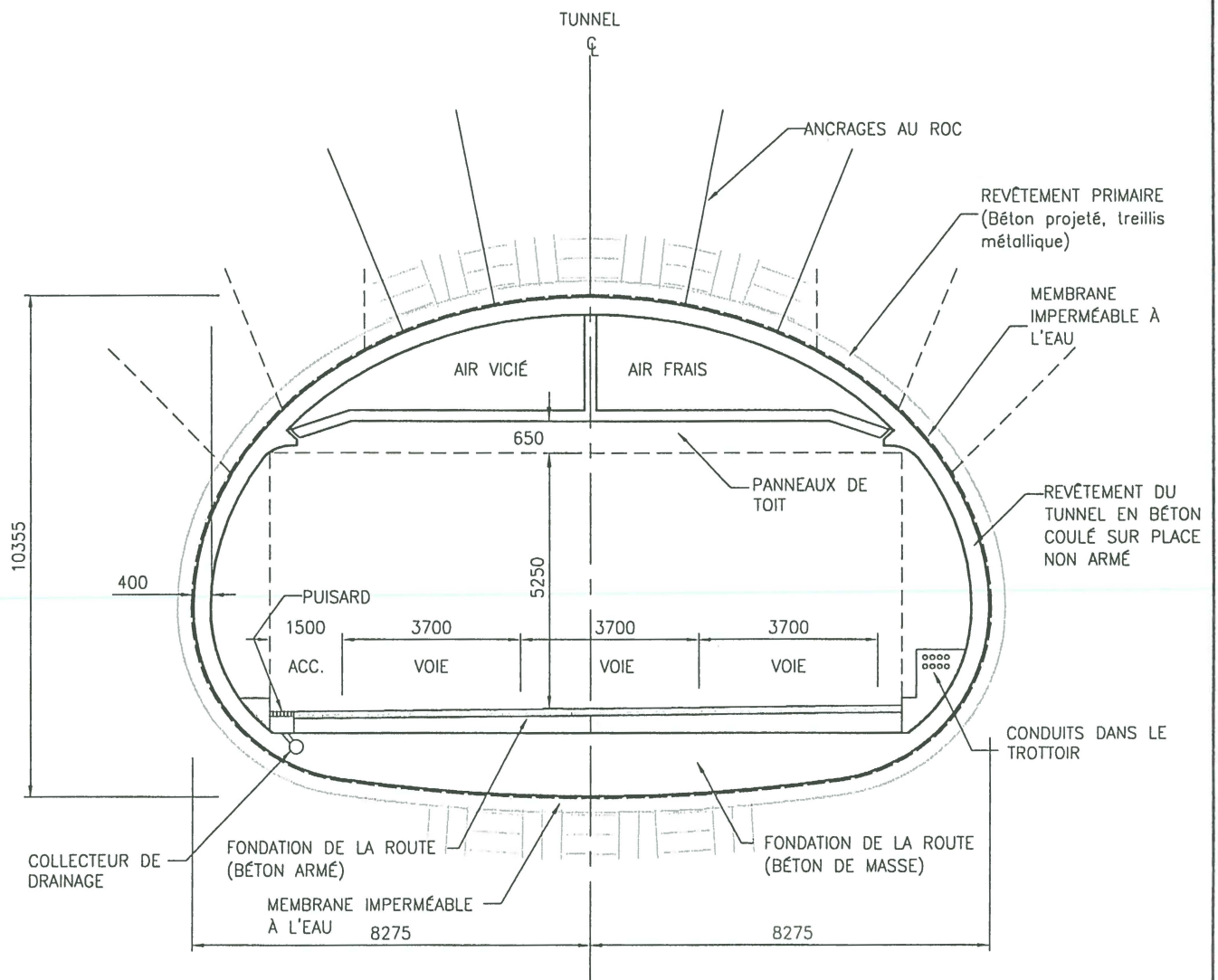
FIGURE NO.

3

DATE

10 AOÛT 2000

DESSUS DU ROC



TUNNEL ELLIPTIQUE À 3 VOIES



Hatch Mott
MacDonald

TUNNEL NOTRE-DAME
TUNNEL À 3 VOIES
SECTION TRANSVERSALE TYPIQUE

FIGURE NO.

5

DATE

10 AOÛT 2000

3.5 VENTILATION

On retrouve quatre systèmes généralement utilisés pour ventiler les tunnels :

Ventilation naturelle – La ventilation naturelle compte sur les conditions météorologiques et sur l'effet piston créé par le trafic routier pour ventiler le tunnel. Elle est habituellement utilisée dans des tunnels courts, les tunnels plus longs que 240 m devant avoir un système de ventilation mécanique pour contrôler la fumée. En conséquence, la ventilation naturelle n'est pas recommandée pour le tunnel Notre-Dame.

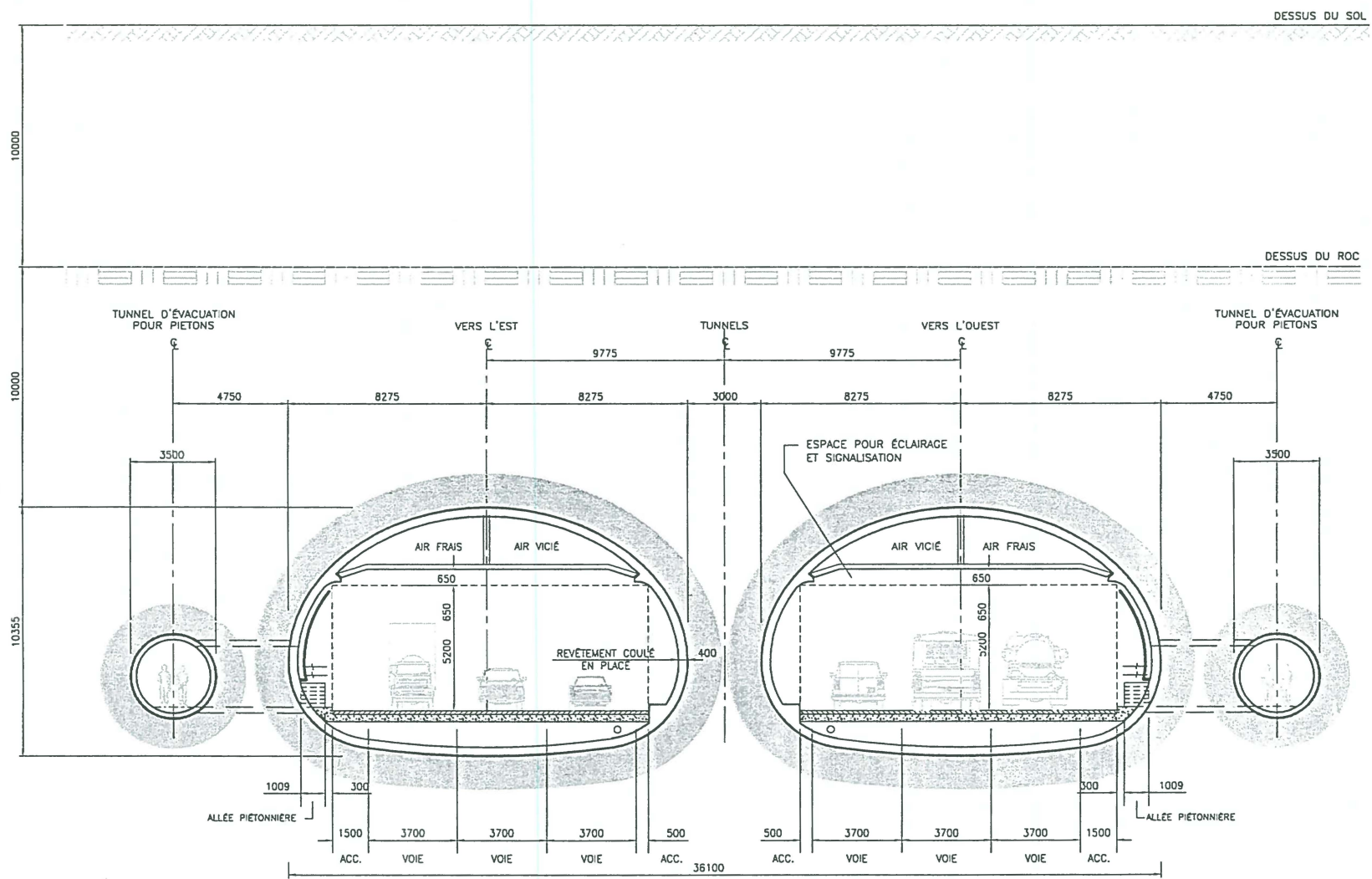
Ventilation longitudinale - Le système de ventilation longitudinale crée un courant d'air à l'intérieur du tunnel entre les portails, quelquefois assisté par un ou plusieurs puits de ventilation intermédiaires. Ce système est plus efficace avec un trafic unidirectionnel. La ventilation longitudinale n'est généralement pas recommandée pour un bon contrôle de la fumée dans des tunnels unidirectionnels de plus de 850 m de longueur ou dans des tunnels bidirectionnels de toute longueur. Conséquemment, la ventilation longitudinale n'est pas recommandée pour le tunnel Notre-Dame.

Ventilation semi-transversale - Ce système utilise un conduit simple installé tout le long du tunnel pour aspirer ou distribuer l'air uniformément. Dans le cas où de l'air frais est fourni au tunnel par le conduit, le courant d'air de ventilation se déplace vers les portails à travers la partie principale du tunnel aspirant les émissions des véhicules à mesure qu'il progresse. Les courants d'air longitudinaux résultant, idéalement à partir de la mi-longueur du tunnel vers chaque portail, sont sensibles aux vents extérieurs et au mouvement des véhicules à travers le tunnel. Sous certaines circonstances d'opérations, des points où la ventilation est nulle peuvent se développer et conduire à des concentrations extrêmement élevées de polluants à l'intérieur du tunnel. Ainsi, le système de ventilation semi-transversale n'est pas recommandé pour le tunnel Notre-Dame.



Hatch Mott
MacDonald

TUNNEL NOTRE-DAME
TUNNELS ELLIPTIQUES A 3 VOIES
SECTION TRANSVERSALE TYPIQUE



TUNNELS ELLIPTIQUES A 3 VOIES

FIGURE NO.

6

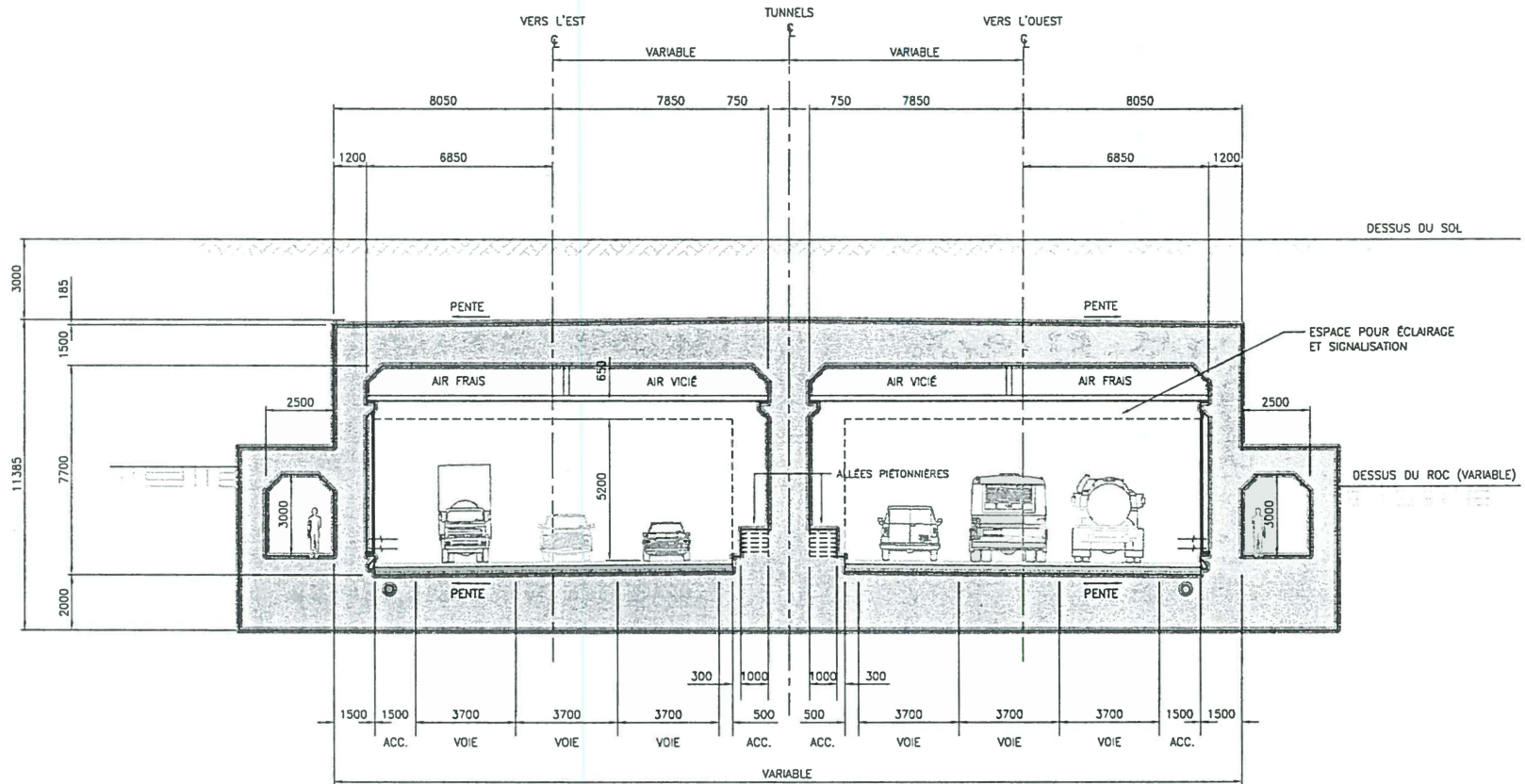
DATE

10 AOUT 2000



Hatch Mott
MacDonald

TUNNEL NOTRE-DAME
EXCAVATION EN TRANCÉE
SECTION TRANSVERSALE TYPIQUE



TUNNELS EXCAVÉS EN TRANCÉE À 3 VOIES

FIGURE NO.

7

DATE

10 AOUT 2000

Ventilation transversale pure – Un système de ventilation transversale pure utilise des conduits d'air séparés pour l'alimentation en air frais et l'aspiration de l'air vicié sur toute la longueur du tunnel, la distribution des courants d'air de ventilation étant indépendante des conditions climatiques et du mouvement des véhicules. Le concept de ventilation montré aux figures 6 et 7 subvient aux besoins d'alimentation en air frais, qui est communiqué au niveau de la route par des conduits verticaux situés le long des murs latéraux du tunnel. Un second conduit est requis au niveau supérieur pour aspirer l'air vicié qui renferme les émissions de gaz d'échappement. L'agencement résultant des conduits d'alimentation et d'aspiration au niveau supérieur est considérablement plus robuste que les options offertes par un système de ventilation semi-transversale. C'est donc ce système de ventilation qui est proposé pour le tunnel Notre-Dame. Nous le décrivons ci-après.

Des puits de ventilation ont été localisés aux points milieu approximatifs de trois sections de tunnel de longueurs égales. Les puits de ventilation devraient contenir les ventilateurs ainsi que les ouvertures requises pour l'aspiration des gaz d'échappement et l'alimentation en air frais, de même que des escaliers d'évacuation d'urgence. Ces derniers seraient reliés aux tunnels d'évacuation (voir figures 8 et 9).

Un des puits de ventilation devrait vraisemblablement contenir le centre de contrôle, le tableau de commande des contrôles et les systèmes de collecte de données pour tous les éléments d'exploitation du tunnel incluant la surveillance de la qualité de l'air, les systèmes de protection incendie, la surveillance par caméras en circuit fermé, l'opération des ventilateurs et des volets motorisés, l'affichage des feux de contrôle des voies et des messages variables et autres fonctions générales de communication.

La conception de la ventilation pour des tunnels autoroutiers est basée sur l'évacuation du monoxyde de carbone (CO), reconnu comme étant l'émission la plus nocive provenant des véhicules. Le CO est principalement produit par les véhicules fonctionnant à l'essence. La norme de dilution du monoxyde de carbone est établie par l'ASHRAE '99. Pour des expositions à court terme, la concentration admissible est de 120 ppm (partie par million).



Hatch Mott
MacDonald

TUNNEL NOTRE-DAME
STRUCTURE DE PUIXS D'AÉRATION
SECTION TYPIQUE

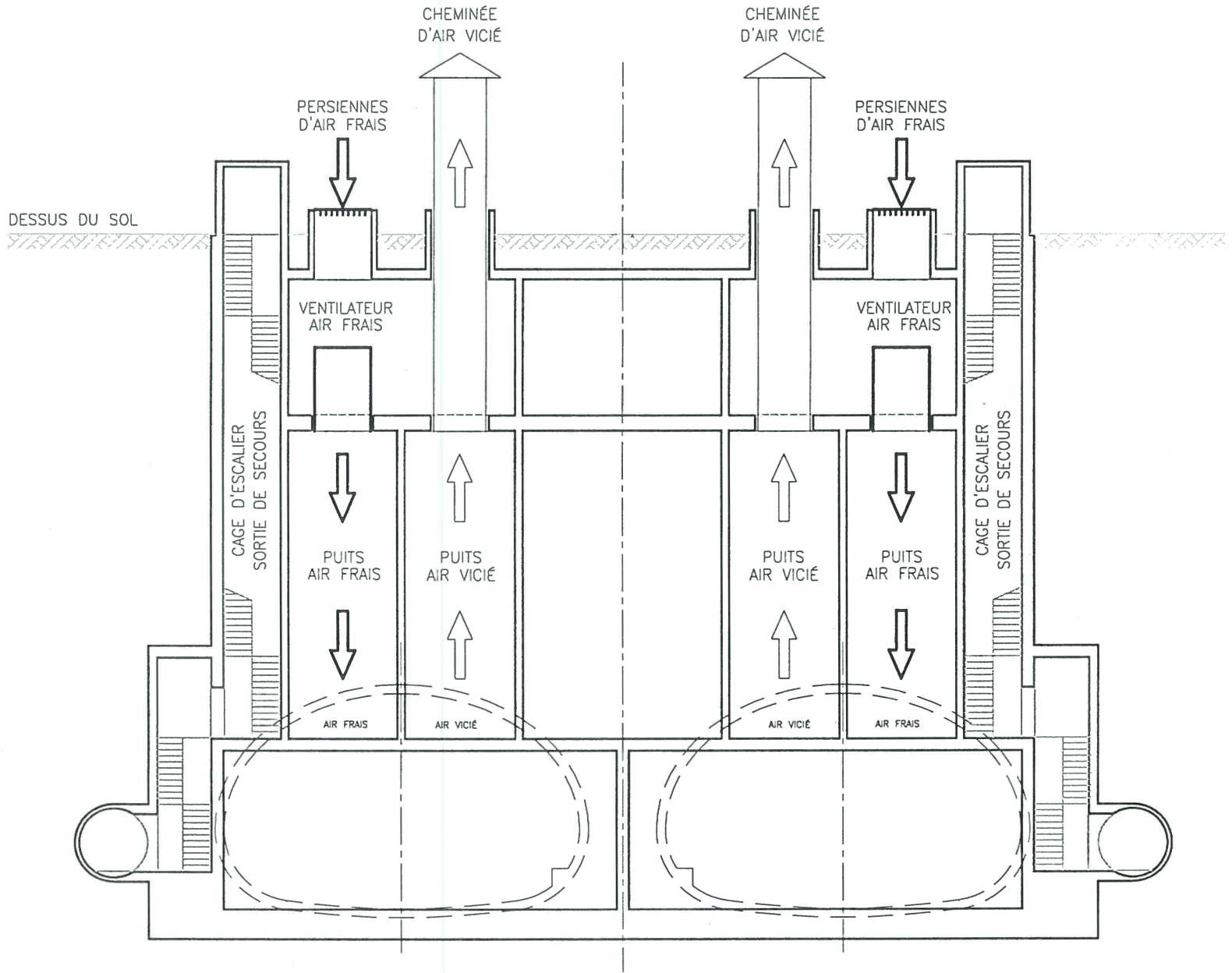


FIGURE NO.

8

DATE

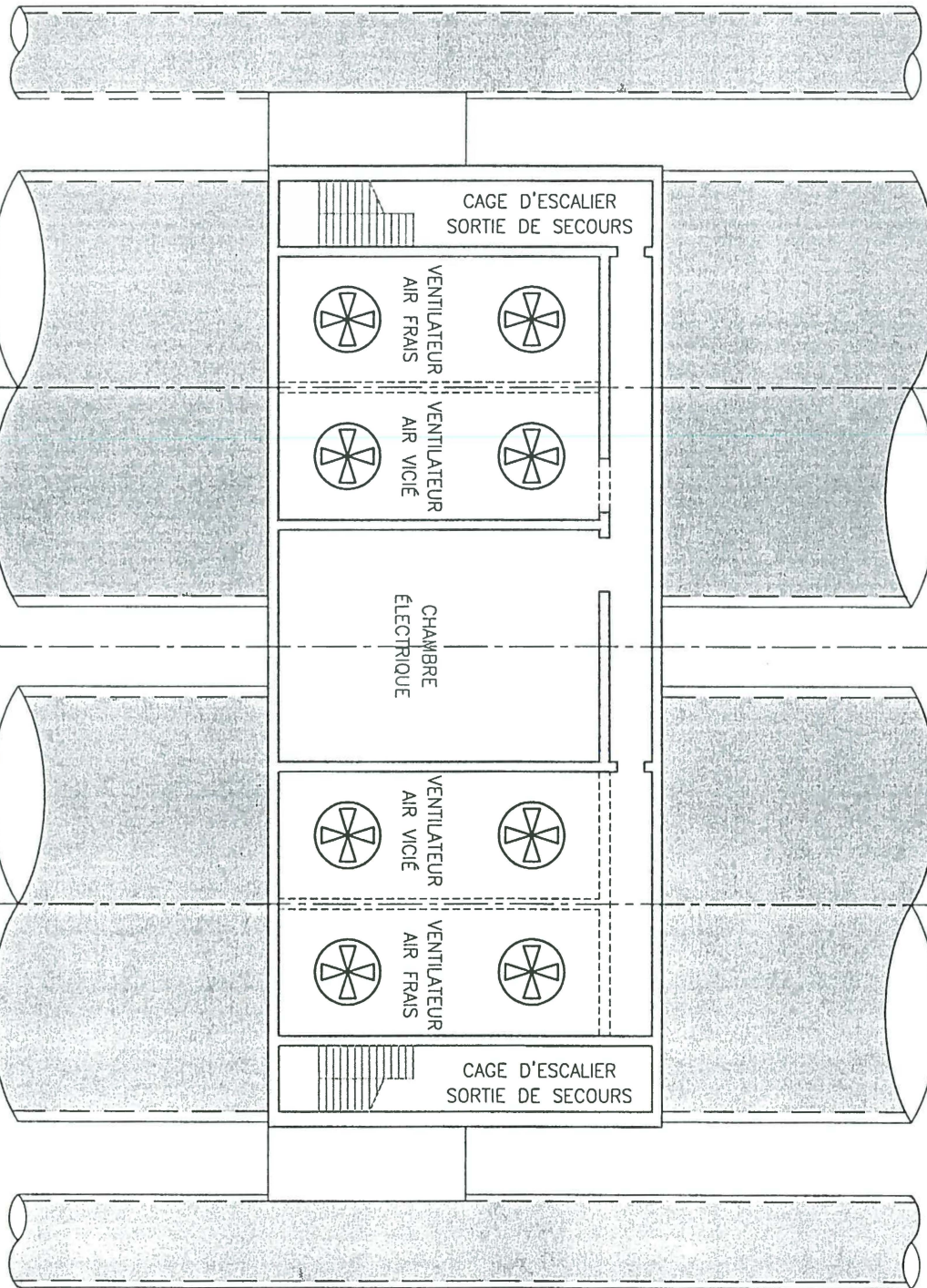
10 AOÛT 2000

TUNNEL NOTRE-DAME
STRUCTURE DE Puits D'AÉRATION
PLAN

DATE 10 AOÛT 2000

FIGURE NO.

9



Une deuxième préoccupation concerne la visibilité dans le tunnel, principalement affectée par les émissions de véhicules fonctionnant au diesel. Pour la fumée de diesel, le critère de 4 Dmg/m^3 (particules standard de la fumée de diesel) a été utilisé. Ceci donne 90 mètres de visibilité avec des surfaces de luminance de 4 cd/m^2 .

Les taux d'émission des véhicules ont été basés sur les émissions de la Californie plus 50%. Nous considérons cette approche comme étant conservatrice. Le trafic a été évalué comme étant composé de 85% d'automobiles et de 15% de camions. La ventilation générale est déterminée en fonction d'un tunnel complètement congestionné avec tous les véhicules roulant au ralenti.

Le facteur dominant de la capacité de la ventilation, cependant, est généralement l'enlèvement de la fumée durant un incendie.

La conception de la ventilation a été basée sur un incendie de 100 MW, ce qui équivaut à l'intensité du feu qu'un camion complètement chargé peut atteindre après un temps considérable. Habituellement, pour des matières non dangereuses, un critère de conception de 20 MW est utilisé en considérant que cela laisserait suffisamment de temps aux usagers pour évacuer le tunnel avant que le feu n'ait atteint son intensité maximale. De façon conservatrice, l'incendie le plus contraignant a été utilisé et des matières dangereuses ont également été prévues.

Durant un incendie, les deux conduits de ventilation sont utilisés pour évacuer la fumée et doivent être dimensionnés pour assurer l'aspiration complète de la fumée provenant de la source d'incendie.

Ainsi, un système de ventilation transversale pure, avec un système équilibré de conduits de ventilation pour l'alimentation en air frais et l'aspiration de l'air vicié construit dans l'espace vide du plafond, est proposé pour le tunnel Notre-Dame.

3.6 DRAINAGE DU TUNNEL

Le pourtour intérieur du tunnel est recouvert d'une membrane étanche à l'eau, ce qui éliminera ou à tout le moins, réduira significativement l'infiltration d'eaux souterraines. En général, on considère que les besoins en drainage sont limités à l'eau amenée dans les tunnels par les véhicules. Cependant, des besoins non usuels en drainage tel que l'évacuation de l'eau utilisé pour la protection incendie, le débordement des puisards d'entrée et les lavages à haute pression du tunnel excèdent souvent les besoins de base en drainage. Par exemple, les lavages à haute pression requièrent habituellement près de 15 l/s alors que la protection incendie avec 4 boyaux d'arrosage représentent 60 l/s. Pour évacuer ces apports d'eau, avec une dénivellation de 0,2 %, une conduite de drainage de 300 mm de diamètre est nécessaire.

Le drainage de la route se ferait via des puisards reliés à un égout collecteur. Des drains à fente ou des caniveaux ne sont pas souhaitables, étant donné qu'ils sont problématiques durant les incendies de liquides inflammables.

Pour faciliter l'entretien, il serait probablement préférable d'acheminer les conduites de drainage à travers les tunnels d'évacuation vers les sites de pompage situés au point bas du tunnel. A partir de ce point, l'eau serait pompée vers les puisards d'entrée. Ces puisards collecteraient également le drainage des approches du tunnel et ils comprendraient une unité de traitement pour la séparation des huiles et la récupération des sédiments. Ensuite, l'eau de drainage collectée serait pompée vers une entrée d'égout appropriée.

3.7 ÉCLAIRAGE ET REVÊTEMENT DU TUNNEL

Les systèmes d'éclairage de tunnel pour des tunnels autoroutiers répondent aux normes ANSI/IES RP-22 « American National Standard Practice for Tunnel Lighting 1996 ». Le plan d'éclairage d'un tunnel doit comprendre un éclairage à forte intensité au seuil des portails du tunnel (semblable à l'éclairage extérieur) avec une zone de transition entre cet éclairage et l'éclairage standard du reste du tunnel. L'intensité de l'éclairage au seuil est établie afin de permettre à l'œil du conducteur de s'ajuster à la luminosité du tunnel où il fait plus sombre. La longueur de cette zone est fonction de la vitesse de conception, ce qui,

dans notre cas, représente 200 m. L'intensité de lumière requise dépend de l'orientation et de l'environnement du portail, ainsi que de l'apparence et de la configuration de l'approche. Pour ce tunnel, le niveau de luminance de la chaussée serait d'approximativement de 300 cd/m² à l'intérieur de la zone du seuil du portail et de 10 cd/m² à l'intérieur du tunnel. Dans une certaine mesure, la conception de l'éclairage du tunnel dépend également du type de finition des murs car un fini réfléchissant nécessite moins d'éclairage. Pour cette étude, nous avons posé l'hypothèse que du béton peint serait utilisé. Des panneaux préfinis, tels que de l'émail de porcelaine procureraient vraisemblablement une meilleure efficacité d'éclairage, mais requerrait de l'espace additionnel.

Pour les tunnels d'évacuation, l'éclairage sera fourni conformément avec la norme NFPA 101 « Life Safety Code (Section 5-9, Emergency Lighting) ». Ceci inclurait l'éclairage d'urgence dans l'éventualité d'une panne de l'éclairage normal.

3.8 PROTECTION INCENDIE

Des raccordements pour des tuyaux d'incendie seront prévus à des intervalles de 42,5 m (pour couvrir l'espace entre les passages transversaux qui est de 85 m) le long des tunnels routiers. Les cabinets de rangement des tuyaux d'incendie seront localisés près de l'allée piétonnière du tunnel. Les cabinets seront chauffés et le tuyau de raccordement à la conduite principale de protection incendie sera équipé de câbles chauffants. Un téléphone et un extincteur seront localisés à chaque cabinet de tuyaux d'incendie et la porte d'accès à l'armoire aura une alarme d'ouverture de porte qui sera reliée à la salle de contrôle. Les conduites principales de protection incendie seront localisées à l'intérieur des tunnels d'évacuation. La conduite principale de protection incendie sera équipée de câbles chauffants ou le tunnel d'évacuation sera chauffé. Des siamoises seront localisées aux points d'approvisionnement de la conduite principale de protection incendie (probablement aux puits de ventilation) pour en augmenter la pression et le débit.

Pour l'enlèvement de la fumée, à la fois les ventilateurs d'alimentation en air frais et ceux d'aspiration de l'air vicié seront mis en mode « aspiration de l'air vicié » pour la zone où se déroule l'incendie. Dans les autres zones, les ventilateurs seraient changés en mode « alimentation en air frais », pour maximiser l'enlèvement de la fumée.

De plus, les tunnels d'évacuation seront conservés à une légère pression positive pour éviter l'entrée de fumée pendant qu'on y accède par les portes coupe-feu.

Afin de protéger la structure, une recherche récente après l'incendie du tunnel sous la Manche a indiqué que des parois en béton supportent l'exposition à un feu intense si elles sont renforcées avec des fibres de plastique monofilamentaires. On croit que les fibres fondent durant un feu et que les espaces laissés vides fournissent des conduits de soulagement pour la pression de l'eau évitant ainsi l'éclatement du béton. De telles fibres seront incluses dans tous les ouvrages permanents en béton.

3.9 SÉCURITÉ OPÉRATIONNELLE

La vitesse de conception des tunnels est de 100 km/h. Chaque tunnel comprendra trois voies de circulation avec un accotement de 1,5 m sur le côté droit et un accotement de 0,5 m sur le côté gauche de la route (voir figures 6 et 7). Cet espace pourra être utilisé pour minimiser la congestion durant une panne de véhicule. Des passages piétonniers de 1 m de largeur seront construits à la fois pour le personnel d'entretien et pour les sorties d'urgence.

Le document retenu pour la conception des sorties d'urgence, est la norme NFPA 502 « Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 1998 ».

La norme NFPA 502 ne contient aucune exigence explicite pour les sorties d'urgence. La seule disposition spécifique est la clause 4-2c, qui sous-entend que certaines dispositions de la norme NFPA 502 n'ont pas besoin d'être rencontrées si « la distance maximale à partir de n'importe quel point à l'intérieur du tunnel jusqu'à une aire de sécurité n'excède pas 120 m ». Cependant, le chapitre 9 de la norme NFPA 502 requiert l'élaboration d'un plan d'urgence pour répondre à tout incident possible, dont plusieurs pourraient nécessiter une évacuation.

Pour les besoins de comparaison, la norme NFPA 130 « Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2000 », qui s'applique aux métros urbains, requiert que tout point à l'intérieur du tunnel soit ou bien à l'intérieur d'un rayon de 120 m d'une aire de sécurité ou bien à moins de 380 m d'une sortie vers la surface. Cet élément de la norme peut être utilisé pour justifier une décision de ne construire aucun dispositif spécial de sortie dans les tunnels dont la longueur n'excède pas 760 m. Cependant, le plan d'urgence élaboré dans ce projet-ci doit considérer le fait que dans les tunnels, les véhicules routiers sont considérés comme représentant un plus grand risque que les trains de métro. Le risque provient du plus grand nombre de mouvements dans un tunnel routier, du plus faible contrôle qui peut être exercé sur eux, et de la difficulté d'interdire totalement les matières dangereuses.

En plus des exigences de la norme NFPA 502, les récents incendies survenus dans des tunnels européens ont conscientisé grandement le public face aux risques reliés aux tunnels et ont résulté en une demande accrue pour des dispositifs de sécurité améliorée. Dans les tunnels plus gros, un mur séparateur ou un tunnel d'évacuation entre les voies de circulation à sens inverse, ou des tubes séparés pour chaque direction, sont souvent ajoutés. Les sorties vers une aire de sécurité peuvent être prévues à un coût minimal en installant des portes à intervalles réguliers dans le mur central, ou en construisant des passages transversaux entre les tubes.

Dans le cas d'un incendie ou autre raison justifiant l'évacuation du tunnel, les véhicules en aval de l'incident, poursuivent leur route vers l'extérieur du tunnel. Toute personne captive devra sortir des tunnels par le passage piétonnier et par le passage transversal le plus proche, à l'intérieur du tunnel central d'évacuation. Le MTQ a considéré une approche sécuritaire pour l'évacuation du tunnel et a inclus deux tunnels d'évacuation, un pour chaque tunnel autoroutier. Ces tunnels seront connectés aux tunnels autoroutiers par des passages transversaux à tous les 85 m. Cet aménagement excède les exigences des normes NFPA 502 et 130, en termes d'aménagements d'évacuation d'urgence. Les passages transversaux devraient aussi relier les tunnels autoroutiers à des intervalles de 500 m.

L'accès pour fauteuils roulants est fourni directement au niveau de la chaussée sur la bordure intérieure de 200 mm de hauteur qui sera abaissée par endroits, et de là vers le passage transversal sans nécessiter de marches. Cependant, des marches sur les allées piétonnières sont prévues sur l'un ou l'autre côté de chaque passage transversal pour faire passer le trafic piétonnier de l'allée piétonnière au passage transversal, ce qui représente une différence de niveau d'approximativement 1 m.

Des sources d'énergie d'urgence seront disponibles dans l'éventualité d'une panne. Elles incluraient :

- Alimentations électriques redondantes ;
- Source d'énergie sans interruption pour l'éclairage de secours et autres systèmes essentiels de contrôle ;
- Génératrices de secours pour l'équipement de ventilation et de drainage.

3.10 CENTRE DE CONTRÔLE

La gestion de la circulation à l'intérieur du tunnel se fera par des panneaux électroniques à messages variables, qui seront situés au-dessus des voies de circulation. Des messages concernant les cas suivants seront affichés :

- Contrôle de voie
- Limites de vitesse
- Fermetures d'urgence
- Instructions de sécurité.

L'affichage des messages sera géré à partir d'un seul centre de contrôle, qui sera localisé à l'intérieur d'un des puits de ventilation. Le centre de contrôle sera également équipé d'un système de surveillance en temps réel relié à des caméras montées aux portails et à des intervalles stratégiques le long des tunnels routiers. La détection de la fumée et du feu, de même que la surveillance du niveau de gaz et le contrôle de la ventilation seront également amenés au centre de contrôle où il y aura du personnel en permanence.

4. MÉTHODES DE CONSTRUCTION

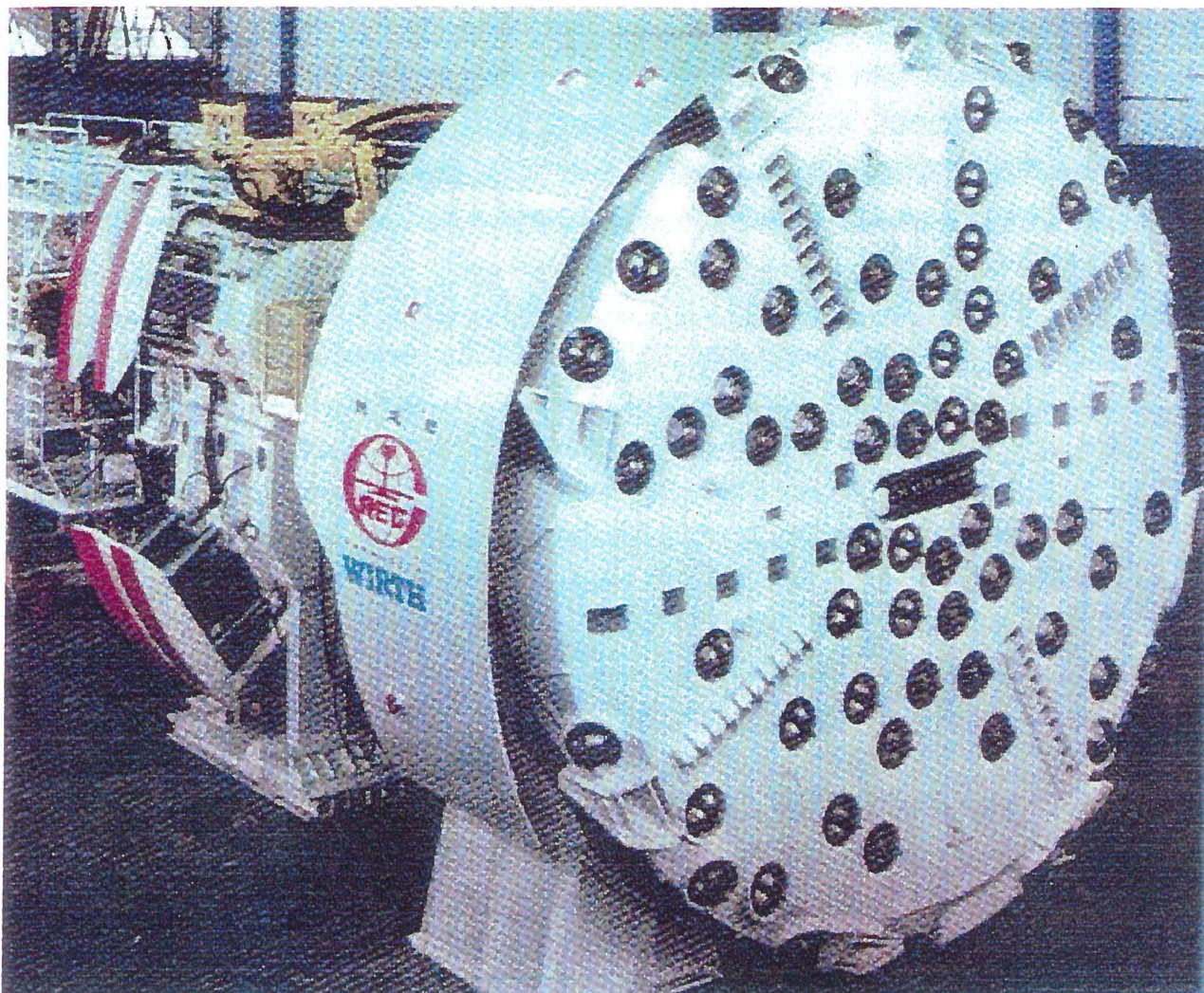
4.1 MÉTHODES D'EXCAVATION DU TUNNEL

4.1.1 Tunneliers

Les tunneliers requis pour ce projet seraient spécialement fabriqués sur mesure pour le projet, mais tout à fait en conformité avec les règles de l'art actuelles. La figure 10 présente un exemple de tunnelier. La machinerie requise pour évacuer le roc excavé serait spécialement fabriquée pour convenir aux conditions géotechniques prévues. Deux machines, d'un diamètre approximatif de 7,2 m et une autre d'un diamètre approximatif de 3,5 m seront requises pour le tunnel Notre-Dame. Le plus petit tunnelier excavera un tunnel d'évacuation qui servira comme tunnel pilote pour confirmer les conditions de roc, détecter les zones requérant une attention particulière, et assurer le pré-drainage si nécessaire. Les deux gros tunneliers excaveront alors simultanément un des deux tunnels elliptiques de 2,8 km de longueur, dans la même direction.

Le tunnelier de 3,5 m de diamètre serait alors retourné au point de départ des travaux pour construire le deuxième tunnel d'évacuation. De la même façon, les deux machines de 7,2 m seraient retournées au point de départ des travaux pour construire les deux tunnels circulaires du second tunnel elliptique autoroutier. Encore une fois, le tunnel d'évacuation serait utilisé comme tunnel pilote.

Par conséquent, chaque tunnelier sera utilisé pour produire 5,6 km de forage de tunnels. De telles longueurs de forage sont tout à fait à l'intérieur des capacités des tunneliers modernes. Cependant, une certaine remise à neuf peut être anticipée avant le retour du tunnelier pour excaver le 2^e tunnel elliptique. L'estimation du coût de forage des tunnels est basée sur la fourniture de deux nouveaux tunneliers, achetés au coût d'environ 10 millions \$ chacun. La valeur résiduelle de ces machines est relativement petite à cause de la nature spécialisée de leur application et de leur durée de vie limitée. Le nombre de fournisseurs de tunneliers de cette envergure est d'environ 10, dont une firme canadienne basée à Toronto. Les délais de commande sont présentement de 9 à 15 mois en moyenne, selon les dimensions et la complexité de la machine.



TÊTE DE COUPE



TUNNELIER ASSEMBLÉ

Les tunneliers sont des machines hautement complexes et leur fourniture est généralement laissée à l'entrepreneur retenu. Cependant, en quelques occasions, il peut être avantageux pour le propriétaire d'aller en préachat de l'équipement, afin de gagner du temps. Par contre, un tunnelier fourni à l'entrepreneur par le propriétaire crée souvent des difficultés entourant la responsabilité de la performance de l'équipement. Les tunneliers sont généralement l'élément clé garantissant l'achèvement réussi des projets de tunnels et il est hautement recommandé d'engager du personnel spécialisé lors de la spécification et de l'ordonnancement des tunneliers et des taux de production.

Afin d'assurer la sécurité du chantier, durant cette phase de construction, un soutènement temporaire constitué de boulons d'ancrage dans la couronne et dans les flancs du tunnel avec du béton projeté renforcé avec fibres est nécessaire. Ce support pourrait être érigé tout de suite après le passage du tunnelier aussi près que possible de la face d'excavation du tunnel. Il est essentiellement requis pour procurer une aire de travail sécuritaire et stable à l'intérieur du massif rocheux avant l'érection du revêtement permanent en béton. En procédant ainsi, aucune gaine métallique posée mécaniquement en sections n'est incluse à même le tunnelier comme le serait un tunnelier typique pour du sol mou ou mixte.

Des taux d'avancement de 20 m par jour ont été estimés pour les tunnels de 7,2 m de diamètre et de 22 m par jour pour les tunnels de 3,5 m de diamètre. Les vibrations produites par le travail des tunneliers sont habituellement imperceptibles et quand elles sont perceptibles, elles ne sont pas considérées insupportables.

4.1.2 Forage et dynamitage

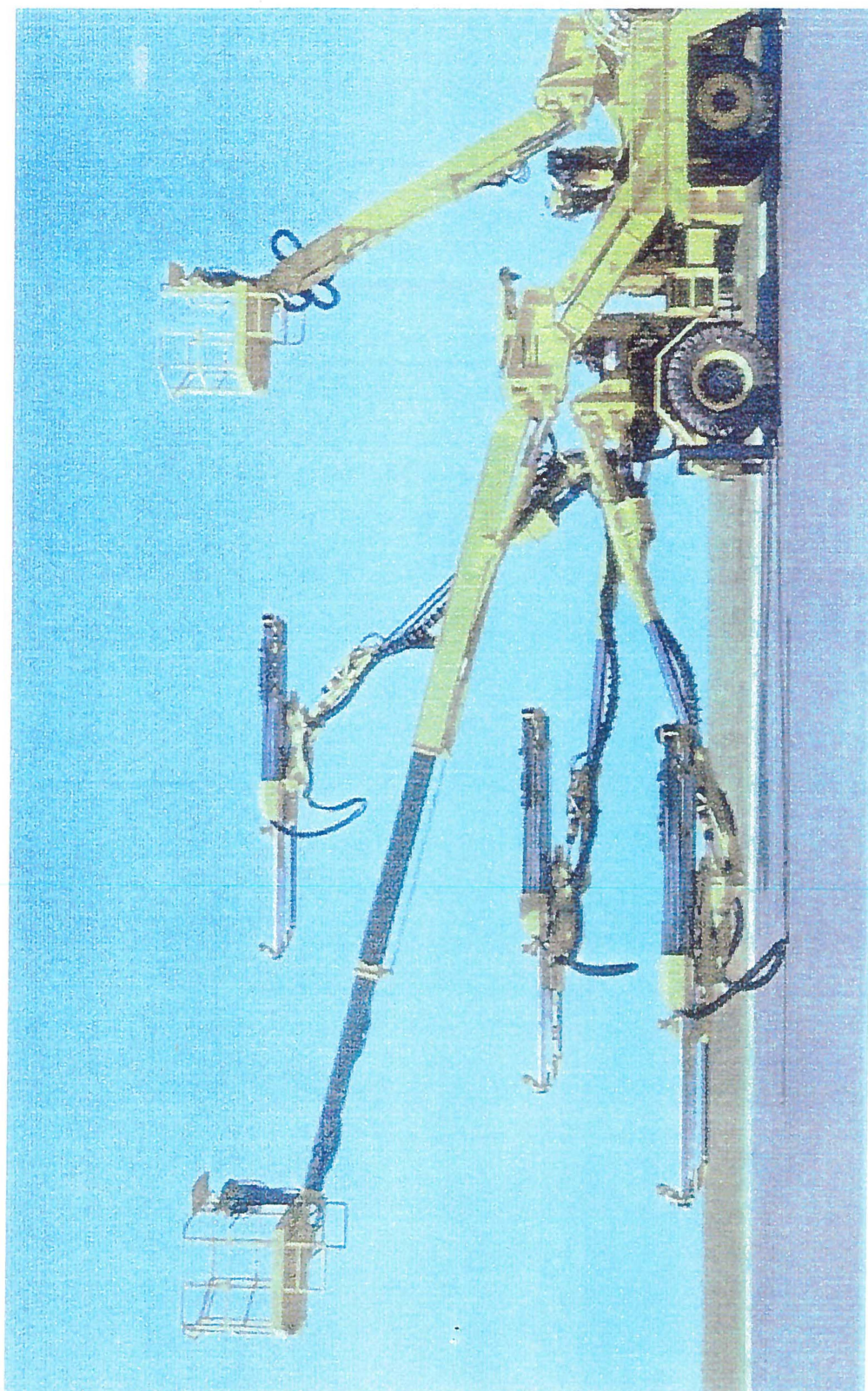
À la suite de l'excavation circulaire à l'aide de tunneliers, le pilier central et la voûte entre les deux tunnels seront excavés par forage et dynamitage pour amener les tunnels autoroutiers à leur pleine section transversale (Voir exemple de foreuse à la figure 11).

Cette étape devrait être réalisée en utilisant la Méthode Séquentielle d'Excavation (MSE), qui implique de subdiviser la surface entière de l'agrandissement de la coupe transversale du tunnel en deux (ou plus) sections de surfaces partielles. Cette méthode est montrée à la figure 12 avec une section supérieure ou « tête » (respectivement indiquées par les numéros 5 et 7) et avec une section inférieure ou « banquette » (indiquées par les numéros 6 et 8). Les surfaces de tête et de banquette seraient construites par sections le long des tunnels pour leur permettre d'être avancées simultanément. Par ailleurs, la section de tête peut nécessiter d'être encore subdivisée en deux sections.

L'avancement journalier sera contrôlé par la portée de la voûte à être supportée, le nombre d'heures permis pour le dynamitage et les limites imposées sur les vibrations. La principale préoccupation et la plus commune source de plaintes associées au dynamitage souterrain proviennent des vibrations. Le niveau de vibration ressentie par les résidents du secteur est affecté par :

- La quantité de charge explosive par délai (nombre et longueur des trous) ;
- la qualité du roc dynamité ;
- la profondeur et la transmissivité de la couverture de sol ;
- la distance entre l'aire de dynamitage et les résidences.

Le bureau américain des mines (USBM) a une directive de longue date sur la limite de vibration (telle que mesurée par la vitesse maximale des particules ou ppv) de 50 mm/sec. pour des résidences près d'une zone de construction et des carrières de dynamitage. Cependant, une limite plus commune et acceptable, pour minimiser (mais non éliminer) les réclamations de dommages matériels et les plaintes des citoyens, est de 12 mm/sec. Cette limite est à l'extrémité supérieure des niveaux tolérables pour le dynamitage de jour. Des niveaux plus restrictifs s'appliqueraient à du dynamitage de nuit.

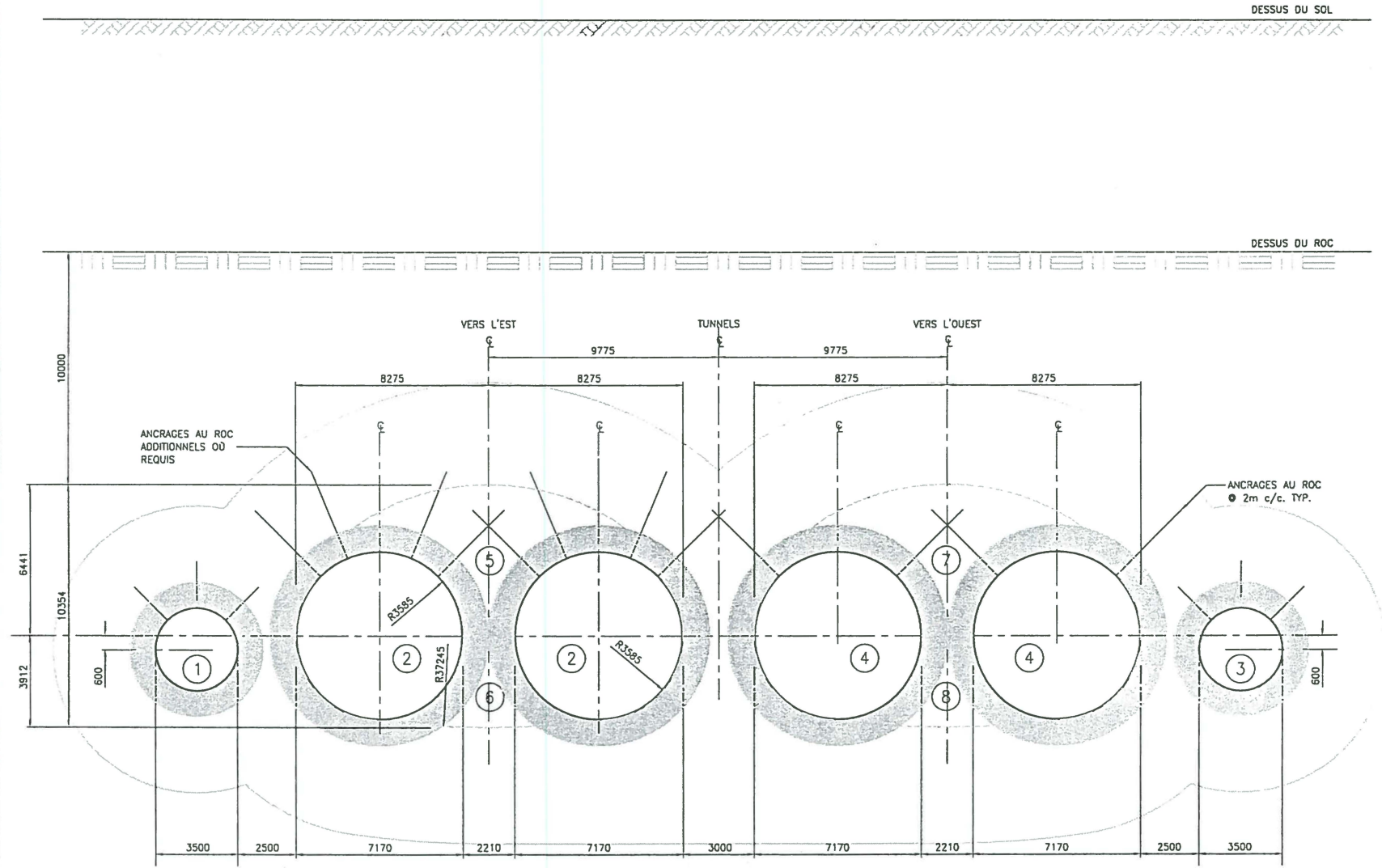




Hatch Mott
MacDonald

TUNNEL NOTRE-DAME
TUNNELS ELLIPTIQUES A 3 VOIES
MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION

FIGURE NO. 12
DATE 10 AOÛT 2000



TUNNELS ELLIPTIQUES À 3 VOIES
SURFACE EXCAVÉE PAR TUNNEL $4 \times 40m^2 + 2 \times 10m^2 = 180m^2$
SURFACE EXCAVÉE DU PILIER ET DU PLAFOND $2 \times 140m^2 - 4 \times 40m^2 = 120m^2$
ÉTAPES D'EXCAVATION 1 À 8

Basé sur la seule question de productivité, il est estimé qu'un taux d'avancement moyen de 6 à 8 mètres par jour pourrait être réalisé (dans chaque tunnel). Cependant, pour respecter le niveau de vibrations de 12 mm/sec (avec seulement 19 mètres de mort-terrain jusqu'à la résidence située le plus près), la quantité de charges explosives par délai serait limitée à un maximum estimé de 1,3 kg. Sur cette prémisse et utilisant un facteur de poudre moyen de 1,2 kg/m³ (ce qui tient compte du relâchement de tension dans le roc suite au passage antérieur du tunnelier), le niveau de vibrations de 12 mm/sec limiterait la progression de l'excavation du tunnel par séquence de dynamitage à 2 mètres.

De ce fait, les 2 mètres par séquence de dynamitage et par conséquent un taux d'avancement de 4 mètres par jour est considéré comme étant le taux réalisable maximal pour chaque tunnel. Des gains de temps au niveau de l'échéancier seront possibles en faisant de multiples étapes de forage et de dynamitage aux axes intermédiaires. D'ailleurs, un effort considérable et proactif de relations publiques avec les citoyens sera nécessaire pour réduire la possibilité d'arrêts de travail initiés par des plaintes de citoyens étant donné que la limite de vibrations de 12 mm/sec serait sûrement perceptible par les résidents.

Pour atténuer toute réclamation de dommages matériels aux résidences attribuables au dynamitage, une inspection complète des conditions pré et post-construction seront requises. Un enregistrement des vibrations utilisant des sismographes portatifs et permanents devrait être effectué avec des accélérographes permanents (digitaux) durant le dynamitage.

4.1.3 Excavation en tranchée

Cette technique implique l'excavation à partir de la surface vers la fondation de la base de la dalle dans une surface suffisamment drainée, et la construction de coffrages de forme rectangulaire (voir figure 7) du bas vers le haut. Les parois verticales résultant de l'excavation sont stabilisées avec des caissons d'excavation ou avec du soutènement temporaire avec pieux ou coulés en place au fur et à mesure que l'excavation progresse vers le bas, comme dans les techniques de pieux soldat et de paroi moulée. Dans le dernier cas, des piliers en forme de « H » sont normalement installés par battage ou dans des trous forés avant de commencer l'excavation.

Une première analyse du mort-terrain en place indique une variation considérable des dépôts des couches supérieures. Il est probable, cependant, qu'un traitement localisé du sol et une approche de pieu soldat ou de paroi moulée soient faisables. La structure coulée en place résultant de l'excavation en tranchée consistera en du béton armé, avec les dimensions typiques montrées à la figure 7. Les épaisseurs des murs et de la dalle sont souvent gouvernées par le besoin pour la structure d'être suffisamment lourde afin de contrecarrer les forces de flottabilité.

L'étanchéité peut être assurée soit en enveloppant la structure entière d'une membrane étanche ou soit en déployant un système industriel typiquement inclus dans tous les joints de construction. Cependant, les membranes étanches sont difficiles à manipuler dans l'environnement d'excavation en tranchée mais ne sont pas sans précédent.

4.2 REVÊTEMENT INTÉRIEUR DU TUNNEL

4.2.1 Revêtement temporaire

La technique de forage par MSE comprend de petites excavations définies, telles que décrites au paragraphe 4.1.2 suivies par du soutènement temporaire. Le soutènement temporaire est conçu pour répondre aux conditions rencontrées et peut comprendre n'importe quelle combinaison des éléments suivants :

- Boulons d'ancrage (localisations et profondeurs variables) ;
- Béton projeté immédiatement appliqué aux faces exposées ;
- Béton projeté additionnel, treillis métallique, et étaieage temporaire.

De plus, la technique de forage par MSE requiert d'instrumenter et de surveiller les déformations de la finition et de la masse de sol. Associés avec la surveillance, des évaluations en continue et des ajustements localisés doivent être apportés à la conception du soutènement selon le comportement observé du sol.

4.2.2 Étanchéité

Le béton projeté posé à l'étape de soutènement temporaire donne une surface relativement lisse contre laquelle on peut installer une membrane étanche. Cette dernière est requise

pour empêcher l'infiltration d'eaux souterraines dans le tunnel. La membrane est davantage protégée des dommages par la pré-installation contre le béton projeté d'une membrane géotextile de protection. La membrane étanche est assemblée par fusion des joints se superposant. Les joints sont alors testés sous pression pour s'assurer de l'étanchéité désirée. Un système de drainage est également installé à l'intérieur de la membrane pour assurer un drainage encore plus optimal.

4.2.3 Revêtement permanent

Le revêtement permanent vise à remplir les fonctions suivantes :

- Support du massif rocheux environnant ;
- Finition lisse des parois latérales des tunnels ;
- Support pour les panneaux de plafond comportant les conduits de ventilation ;
- Membrane étanche continue.

Une première évaluation indique qu'un renforcement conventionnel ne serait pas requis dans le revêtement permanent. L'absence de barre d'armature posée en continu offre un avantage de constructibilité substantiel et diminue la probabilité de perforation de la membrane étanche.

Habituellement, pour le revêtement permanent, le fini du béton serait lisse pour assurer une surface de qualité pour y ajouter des produits de finition (peinture, scellant, tuiles en céramique ou panneaux fabriqués).

4.3 CHAUSSÉE

La chaussée sera construite sur un remplissage en béton maigre ou en roc dynamité suffisamment épais pour amener le niveau du radier du tunnel au niveau requis pour permettre le dégagement vertical des véhicules. La chaussée semi-rigide serait construite avec un revêtement de 40 mm d'enrobés bitumineux posés sur du béton.

La route sera drainée vers le cours d'eau extérieur de la chaussée en prévoyant des pentes transversales minimales de 2% tout le long des surfaces de roulement, se déversant par la

suite dans des puisards et finalement vers le système de pompage du tunnel via des conduites pluviales installées sous la surface de la chaussée.

4.4 CONDUITS DE VENTILATION

La ventilation, telle que décrite à la section 3.5, se situe dans l'espace du toit. Deux conduits d'environ 8,8 m² chacun sont nécessaires pour un système de ventilation transversale pure. Ces conduits seront fabriqués à l'aide de panneaux pré-moulés en béton. Un panneau vertical posé à la couronne du tunnel et deux panneaux presque horizontaux ont été prévus. La portée des panneaux horizontaux s'étendra du dessous du panneau central jusqu'aux encorbellements coulés sur place. Les panneaux de toit seront préfabriqués en béton armé et haussés mécaniquement à leur position finale. L'interface entre les deux panneaux horizontaux et le panneau vertical consistera en une poutre de rive coulée en place.

4.5 DISPOSITION DES MATÉRIAUX

Le transport du roc excavé par tunnelier peut se faire par voie ferrée ou par convoyeur. Les pentes dans le tunnel vont permettre soit à l'un ou l'autre système d'opérer. L'utilisation de convoyeurs devient actuellement plus commune et est très efficace en autant qu'un entretien approprié y soit consacré. Un bris dans le système de convoyeurs arrête l'excavation du tunnel alors que pour un système basé sur des rails, il est possible de continuer l'excavation. Les systèmes de convoyeurs ont été utilisés dans de grands tunnels en Amérique du Nord, tel qu'à Chicago.

Lorsque l'opération de forage et de dynamitage commence, probablement à de multiples endroits dans chaque tunnel, l'enlèvement du roc peut être réalisé par des chargeuses à la face d'excavation et par des camions à benne articulés à haute capacité ou en réutilisant le système de transport des matériaux excavés par tunnelier.

Les matériaux d'excavation seront immédiatement acheminés hors du site par des camions standard de transport routier. La circulation des camions transportant les matériaux d'excavation sera absolument interdite sur toutes les routes transversales nord-sud à moins que la circulation des camions y soit déjà autorisée par la Ville de Montréal dans son plus

récent réseau de camionnage. La majeure partie de la circulation lourde transportant ces matériaux de déblais se fera donc dans l'axe de la rue Notre-Dame et sur le réseau de camionnage déjà autorisé par la Ville de Montréal.

Les matériaux d'excavation feront l'objet d'une caractérisation, conformément à la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Ce site de dépôt des matériaux d'excavation sera au choix de l'entrepreneur mais devra se conformer aux exigences de l'article 12.4.10 du Cahier des charges et devis généraux qui exige le recours à des sites autorisés et conformes à la réglementation en vigueur.

4.6 TUNNELS D'ÉVACUATION

Les tunnels d'évacuation d'urgence consistent en des tunnels de 3,5 m de diamètre, localisés de chaque côté des tunnels autoroutiers. Le besoin de réaliser des corridors d'évacuation séparés est défini par les besoins de sécurité durant un scénario de feu. Des passages transversaux permettent d'accéder au tunnel d'évacuation à tous les 85 m. Cet accès se situe au niveau de la route pour accommoder les chaises roulantes. Le tunnel d'évacuation servira également de forage pilote, tel que mentionné au paragraphe 4.1.1. On estime que compléter le tunnel d'évacuation de 2,8 km devrait prendre environ huit mois et donnera de l'information précieuse sur les conditions précises du roc le long de l'alignement du projet. Ce tunnel sera immédiatement supporté par des boulons d'ancrage et par du béton projeté, tel que décrit à la section 4.2. Au fur et à mesure de l'avancement des travaux, une paroi imperméable en béton coulé en place et une allée piétonnière de 1,65 m de largeur seront construites.

Le tunnel d'évacuation sera également utilisé pour loger les services qui seront installés sur les murs, et pour le passage des équipes d'entretien.

Une pression positive de ventilation sera maintenue dans le tunnel d'évacuation par des ventilateurs. La pression sera maintenue légèrement au-dessus de la pression normale des tunnels autoroutiers afin que les portes puissent être ouvertes sans effort excessif.

4.7 PASSAGES TRANSVERSAUX

Tel que mentionné dans la section 3.9, il n'y a pas de règle formelle sur la fréquence des sorties de secours pour des tunnels routiers tel que le projet Notre-Dame. Des passages transversaux reliant les tunnels autoroutiers aux tunnels d'évacuation seront construits à des intervalles de 85 m. Des passages transversaux entre les tunnels autoroutiers seront construits à des intervalles approximatifs de 500 m, soit au minimum à l'emplacement des puits de ventilation. Les passages transversaux seront excavés par forage et dynamitage après l'achèvement des tunnels principaux. Des chargeurs sur roues ramasseront le roc excavé et le déposeront à l'intérieur des tunnels principaux pour le chargement et la disposition.

Les passages transversaux seront temporairement soutenus et finis avec du béton, de la même manière que le tunnel d'évacuation. Les portes aux sorties d'urgence transversales seront à l'épreuve du feu. La norme NFPA 502 prévoit l'utilisation de portes coupe-feu 2 heures.

4.8 APPROCHES ET PORTAILS D'ENTRÉE

Les portails ont été localisés aux endroits les plus adéquats en tenant compte des conditions locales de sol et de la présence de cours de triage ferroviaires avec multiples voies ferrées. A l'extrémité ouest, la traversée des voies ferrées du CP sera réalisée en tunnel, évitant le besoin de relocaliser des voies ferroviaires.

Le portail ouest sera construit dans des conditions de mort-terrain à la suite d'une section de 500 m de tunnels excavés en tranchée. Le portail sera situé approximativement à 14 m de profondeur calculé à partir du niveau du sol environnant jusqu'au niveau de la route.

Le portail est sera construit presque entièrement dans le roc étant donné que le roc est localisé près de la surface à cet emplacement. La profondeur du niveau de la route de ce portail est également près de 14 m.

La construction des portails sera établie par différentes méthodes étant donné les différentes conditions de sol :

Portail ouest – Des pieux soldat et une paroi moulée ou des murs caissons seront forés à la tarière et bétonnés avec des sections non renforcées laissées pour les ouvertures de tunnel. Des crampons, des tirants et des boulons d’ancrages au roc seront prévus, avec des étaitements temporaires, selon les besoins. Après le percement des tunnels, le bâtiment de ventilation du portail serait construit contre les éléments de support d’excavation. Du pompage sera requis pendant toute la construction.

Portail est – Pour excaver ce portail, il est prévu de se servir de la méthode par forage et dynamitage avec du béton projeté, du treillis métallique et des ancrages au roc à la face d’excavation, laissant également des sections non renforcées pour les ouvertures de tunnel avec du contreventement et du soutènement temporaires. Après le percement des tunnels, la structure du portail sera construite contre la face d’excavation.

4.9 PUIXS DE VENTILATION

Ces puits seront situés le long de l’alignement du tunnel. Les persiennes d’alimentation en air frais et les ventilateurs situés le long des cheminées d’aspiration d’air vicié seront localisés à l’intérieur de ces structures. Les cheminées d’aspiration se déchargeront au niveau du toit, qui est situé à environ 10 m au-dessus du niveau du sol. Si nécessaire, les points de décharge peuvent être relevés en utilisant des extensions de cheminée.

Le puits de ventilation localisé au portail inclura le centre de contrôle qui contiendra tous les panneaux de contrôle pour la signalisation, les caméras, les puits de ventilation, les communications, les systèmes de détection d’incendie et de niveaux des gaz.

Ces puits de ventilation sont intégrés à même des bâtiments en béton armé et sont intégrés à leur environnement urbain avec des finis et des couleurs appropriés. Un coût approximatif de 2 millions pour chacun des puits de ventilation a été inclus à l’estimation de façon préliminaire.

4.10 TRAITEMENT DES SOLS

Le tunnel d’évacuation servira de tunnel pilote. Ainsi, si des surfaces de roc fracturé ou des fissures majeures avec infiltration d’eau sont rencontrées durant le forage, il serait possible

de procéder à de l'injection de coulis à partir de ce tunnel vers les profils de tunnel autoroutier avant leur excavation. Aucun autre traitement majeur de sol dans les sections de roc ne devrait être nécessaire.

Aux endroits d'excavation en tranchée, du pompage et/ou de l'injection de coulis seront requis avant les travaux d'excavation. Les sondages indiquent de grands dépôts de sable perméable, de silts et moraines glaciaires, et de tills directement reliés à la tête hydrostatique et il est probable qu'un traitement soit nécessaire pour améliorer le comportement géotechnique de ce matériau.

Aux portails, des combinaisons variées de support de mort-terrain et de roc solide ont été présumées, tel que décrit à la section 4.8.

5. IMPACTS SUR LA CIRCULATION

La présente section a pour but d'analyser les impacts sur la circulation de la réalisation d'un tunnel routier dans l'axe de la rue Rouen. Le secteur considéré pour l'analyse des impacts sur la circulation, est délimité par les rues Notre-Dame au sud, Hochelaga au nord, Iberville à l'ouest et Haig à l'est, et comprend également le tronçon de la rue Notre-Dame situé immédiatement à l'ouest de la rue Iberville.

Les débits de circulation de l'option d'aménagement avec tunnel, ont été estimés et comparés à une situation de statu quo où il n'y aurait pas d'interventions sur le réseau routier du secteur à l'étude. D'autre part, les déplacements automobiles ont été également analysés pour identifier quels seraient les bénéficiaires du tunnel et quels seraient les indices reliés à la performance de ce lien routier. Des analyses de circulation ont été réalisées afin de valider quel serait l'état de la circulation autant dans le tunnel que sur la rue Notre-Dame. Enfin, l'impact sur le camionnage et plus spécifiquement sur le transport des matières dangereuses est qualifié.

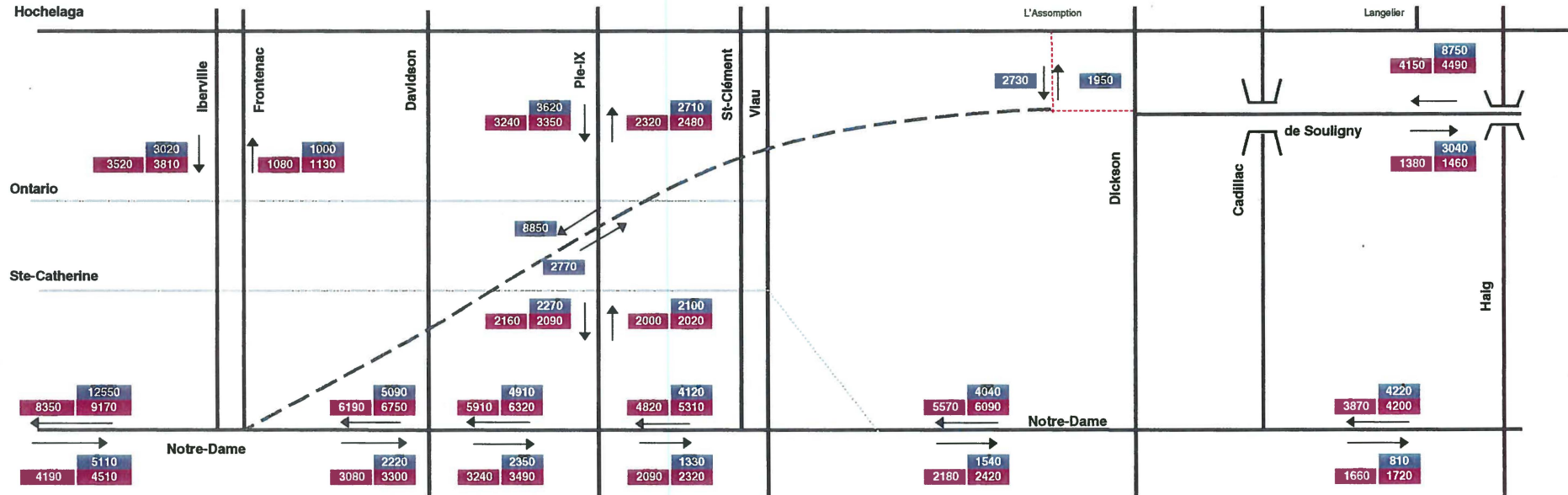
5.1 ESTIMATION DES DÉBITS

L'estimation des débits pour 2001 et 2011 a été réalisée par le *Service de la modélisation des systèmes de transport du MTQ*, à l'aide de simulations avec le modèle informatique EMME/2. Ce modèle permet le calcul de débits de véhicules automobiles uniquement et exclut donc les débits de camions. Selon la méthodologie du MTQ, le modèle EMME/2 utilise les débits de la période de pointe du matin (6h00 à 9h00). Les débits d'heure de pointe représentent environ 40% du débit de la période de pointe.

La figure 13 présente les résultats de simulations suivants:

- Les débits de la période de pointe du matin (PPAM) dans une situation de *statu quo*, pour les horizons 2001 et 2011;
- Les débits de la période de pointe du matin (PPAM) avec *l'option tunnel*, pour l'horizon 2011 seulement.

Résultats des simulations EMME/2
Statu quo - Horizon 2001 et 2011
Option en tunnel - Horizon 2011



LÉGENDE :

Débits 6h-9h AM
2001 2011

1000 1000 Tunnel

1000 1000 Statu quo

Dessau-Soprin



759, Square-Victoria, bureau 310
 Montréal (Québec) H2Y 2J7
 Tél.:(514) 281-1033

Figure 13

L'horizon 2011 correspond à l'année potentielle d'ouverture du tunnel, en supposant que 10 ans seraient nécessaires à compter de 2001 pour la réalisation du projet. Les débits observés actuellement sur la rue Notre-Dame et sur le réseau adjacent augmenteraient donc jusqu'en 2011, année de l'ouverture du tunnel.

5.1.1 Débits du statu quo en 2001

Comme le montre la figure 13, en 2001, le débit simulé dans le sens de la pointe (en direction ouest) en période de pointe du matin (6h00 à 9h00) est de 4 150 véhicules automobiles sur l'avenue Souigny, de 5 570 sur la rue Notre-Dame à l'ouest de la rue Dickson, puis diminue après l'intersection de la rue Viau pour ensuite augmenter avec l'apport des véhicules arrivant de la rue Pie-IX. Le débit augmente alors progressivement sur la rue Notre-Dame pour atteindre 6 190 véhicules à l'est de la rue Frontenac. Le débit maximum est atteint à l'ouest de la rue Iberville, où on obtient 8 350 véhicules automobiles pour la période de 3 heures.

Durant la période de pointe du matin, les débits en direction est représentent seulement 40 à 50% des débits en direction ouest. Le débit simulé en 2001 sur la rue Notre-Dame dans le sens inverse de la pointe (en direction est), est de 4 190 véhicules automobiles à l'ouest de la rue Iberville et diminue pour atteindre 2 180 à l'ouest de la rue Dickson. La rue Souigny supporte 1 380 véhicules en direction est.

5.1.2 Débits du statu quo à l'horizon 2011

En 2011, dans une situation de *statu quo* (sans modification géométrique au réseau routier actuel), le débit de véhicules automobiles dans le sens de la pointe (direction ouest) atteindrait 4 490 sur Souigny, 6090 sur la rue Notre-Dame à l'ouest de la rue Dickson, 6 750 sur la rue Notre-Dame à l'est de la rue Frontenac et 9 170 à l'ouest de la rue Iberville, durant la période de pointe du matin. Ceci correspond à une augmentation potentielle de l'ordre de 8 à 10 % de 2001 à 2011, sur une période de 10 ans.

5.1.3 Débits de l'option tunnel à l'horizon 2011

En 2011, dans *l'option tunnel*, au moment de la mise en service, le débit de véhicules automobiles en période de pointe du matin en direction ouest serait de 8 750 véhicules sur

l'avenue Souigny (comparativement à 4 490 avant l'ouverture) et 8 850 véhicules emprunteraient le tunnel jusqu'à la jonction avec la rue Notre-Dame.

Sur la rue Notre-Dame, les débits de véhicules automobiles en direction ouest, seraient de 4040 à l'ouest de la rue Dickson (comparativement à 6 090 automobiles en 2011 juste avant l'ouverture du tunnel), 5 090 à l'est de la rue Frontenac (versus 6 750 automobiles en 2011 avant l'ouverture).

À l'ouest de la rue Iberville, le débit en direction ouest, serait de 12 550 véhicules (comparativement à 9 170 en 2011 juste avant l'ouverture du tunnel).

Comme dans le statu quo, les débits en direction est seraient beaucoup plus faibles qu'en direction ouest. Dans le tunnel, 2 770 véhicules automobiles circuleraient en direction est comparativement aux 8 850 véhicules anticipés en direction ouest.

5.1.4 Comparaison des débits des scénarios dans le corridor à l'étude (horizon 2011)

Le tableau 1 permet une comparaison détaillée des débits sur l'avenue Souigny et sur la rue Notre-Dame, pour les deux scénarios à l'horizon 2011.

**Tableau 1 Comparaison des débits simulés sur Souigny et Notre-Dame
Période de pointe du matin (PPAM) - Horizon 2011**

Axe routier	Statu quo	Option en tunnel	Tunnel vs Statu quo	
			différence	variation
Direction ouest				
Souigny entre l'A-25 et Dickson	4490	8750	4260	95%
Notre-Dame entre Dickson et Viau	6090	4040	-2050	-34%
Notre-Dame entre Viau et Pie-IX	5310	4120	-1190	-22%
Notre-Dame entre Pie-IX et Davidson	6320	4910	-1410	-22%
Notre-Dame entre Davidson et Iberville	6750	5090	-1660	-25%
Notre-Dame à l'ouest d'Iberville	9170	12550	3380	37%
Direction est				
Souigny entre l'A-25 et Dickson	1460	3040	1580	108%
Notre-Dame entre Dickson et Viau	2420	1540	-880	-36%
Notre-Dame entre Viau et Pie-IX	2320	1330	-990	-43%
Notre-Dame entre Pie-IX et Davidson	3490	2350	-1140	-33%
Notre-Dame entre Davidson et Iberville	3300	2220	-1080	-33%
Notre-Dame à l'ouest d'Iberville	4510	5110	600	13%
Somme des deux directions				
Souigny entre l'A-25 et Dickson	5950	11790	5840	98%
Notre-Dame entre Dickson et Viau	8510	5580	-2930	-34%
Notre-Dame entre Viau et Pie-IX	7630	5450	-2180	-29%
Notre-Dame entre Pie-IX et Davidson	9810	7260	-2550	-26%
Notre-Dame entre Davidson et Iberville	10050	7310	-2740	-27%
Notre-Dame à l'ouest d'Iberville	13680	17660	3980	29%

Dans le scénario *statu quo*, l'avenue Souigny conserve la géométrie actuelle (3 voies dont 2 voies en direction ouest et 1 voie en direction est) et se termine à la rue Dickson. Dans l'*option tunnel*, l'avenue Souigny est élargie à 6 voies (3 voies par direction) et est prolongée jusqu'à l'ouest de la rue l'Assomption, soit à l'entrée du tunnel. Comme on peut le constater, les modifications à la géométrie de l'avenue Souigny et le raccordement à un tunnel, feraient doubler la demande de circulation sur cette avenue en 2011.

Dans le scénario *statu quo*, la rue Notre-Dame conserve la géométrie actuelle (2 voies par direction à l'est du carrefour Iberville/Frontenac et 3 voies par direction à l'ouest de ce carrefour).

L'*option tunnel* a comme effet de diminuer, en 2011, les débits sur la rue Notre-Dame pour tout le tronçon situé entre la rue Dickson et la rue Frontenac. Par rapport au *statu quo*, on obtient une baisse de 22 à 34 % des véhicules automobiles en direction ouest, dans le sens de la pointe, ce qui correspond à une diminution de 1 200 à 2 000 véhicules durant la période de pointe du matin de 3 heures (ou 500 à 800 pendant l'heure de pointe). Dans le sens inverse de la pointe, direction est, la diminution serait de 33 à 43 %, ce qui représente une baisse de 900 à 1 100 véhicules durant les 3 heures (350 à 450 véhicules pendant l'heure de pointe). Au total, pour les deux directions, l'*option tunnel* amène une baisse des débits de 26 à 34 % correspondant à une diminution de 2 200 à 2 900 véhicules automobiles en période de pointe du matin (900 à 1200 pendant l'heure de pointe). Ces effets ne seraient toutefois ressentis qu'en 2011, au moment de l'ouverture du tunnel.

Dans l'*option tunnel*, le tunnel serait raccordé en dépression à la rue Notre-Dame au niveau du carrefour Iberville/Frontenac qui serait étagé. La rue Notre-Dame serait aménagée en dépression avec trois voies par direction sur le tronçon situé à l'ouest du carrefour. En direction ouest, l'augmentation de circulation en période de pointe du matin serait de 37 % ou 3 400 véhicules automobiles (1 350 pendant l'heure maximum). En direction est, l'augmentation serait de 13 % ou 600 véhicules automobiles en période de pointe du matin (250 pour l'heure de pointe).

5.1.5 Impact sur le réseau adjacent

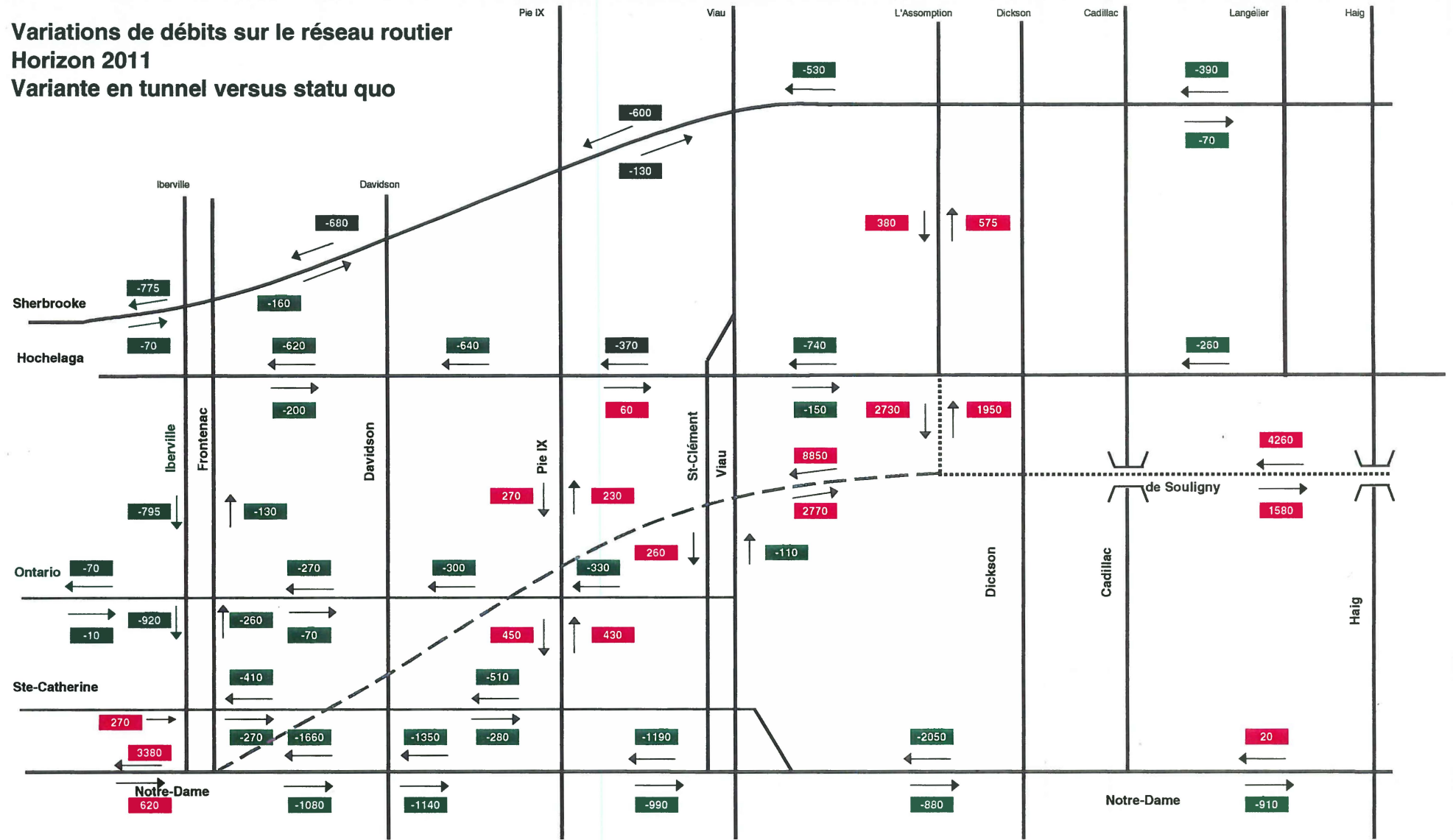
La figure 14 permet de visualiser l'impact de l'option tunnel versus un scénario de statu quo à l'horizon 2011, sur le réseau routier dans le secteur à l'étude. Les impacts régionaux n'ont pas été analysés.

La figure illustre les variations de véhicules particuliers, telles que calculées par EMME/2. On peut considérer qu'un différentiel de moins de 300 véhicules particuliers en période de pointe (120 véh/h), est peu important.

Le fait, dans l'option tunnel, de créer un nouvel axe routier avec 3 voies par direction, a des effets importants sur la rue Souigny et la rue Notre-Dame. D'autre part, on peut noter les impacts suivants sur le réseau routier environnant durant la période de pointe du matin (3 heures) :

- une augmentation de 600 véhicules en direction nord sur la rue L'Assomption et de 400 en direction sud, au nord de la rue Hochelaga, due au prolongement de cette rue jusqu'à l'avenue Souigny;
- le nouveau tronçon de la rue L'Assomption, entre Souigny et Hochelaga, supporterait 2 000 véhicules en direction nord et 2 700 en direction sud;
- une diminution des débits de 400 à 800 véhicules sur la rue Sherbrooke en direction ouest;
- une baisse de 400 à 700 véhicules sur la rue Hochelaga en direction ouest, entre les rues L'Assomption et Iberville;
- une baisse de 400 à 500 véhicules sur la rue Ste-Catherine en direction ouest, pour le tronçon situé à l'est de la rue Frontenac;
- une augmentation de 400 véhicules sur la rue Pie-IX dans les deux directions, entre les rues Ontario et Ste-Catherine;
- une baisse de 800 à 900 véhicules sur la rue Iberville en direction sud, au sud de la rue Hochelaga.

Variations de débits sur le réseau routier
Horizon 2011
Variante en tunnel versus statu quo



LÉGENDE :

Débits 6h-9h AM
2011

1000 1000

Différence de débits entre la variante en tunnel et le statu quo

Dessau-Soprin



759, Square-Victoria, bureau 310
 Montréal (Québec) H2Y 2J7
 Tél.: (514) 281-1033

Figure 14

L'aménagement d'un tunnel aurait donc un effet significatif sur les débits des artères adjacentes.

5.2 DÉPLACEMENTS AUTOMOBILES

Selon les résultats des simulations, un tunnel accueillerait 17 917 déplacements automobiles en période de pointe du matin à l'horizon 2011.

5.2.1 Bénéficiaires du tunnel

Les tableau 2 présente les principaux *secteurs d'origine* des usagers du tunnel. L'est de la Communauté Urbaine de Montréal contribue à près de 40% des déplacements qui empruntent le tunnel (20% pour la CUM Est et 19% pour la CUM Centre-Est). La CUM Centre-Est comprend principalement les arrondissements Mercier / Hochelaga-Maisonneuve qui sont traversés par le tunnel et la rue Notre-Dame; l'option tunnel bénéficie donc en partie aux usagers automobilistes des quartiers environnants. La CUM Centre-Sud contribue pour sa part à 18% des usagers du tunnel et le secteur L'Assomption (Rive Nord-Est) amène 11% des usagers.

Le tableau 3 présente la répartition des déplacements automobiles des usagers du tunnel *par secteur de destination*. Les secteurs « CUM Centre-Ville » et « CUM Centre-Est » représentent plus de 60% des destinations des usagers qui emprunteraient le tunnel. Si on inclut les déplacements vers le secteur « CUM-Est », on peut considérer qu'environ 70% des déplacements empruntant la nouvelle route se destine vers la moitié est de l'île de Montréal.

Le tableau 4 présente les *paires Origine-Destination* de déplacement les plus importantes des usagers du tunnel, en période de pointe du matin. Ainsi, on constate :

- une demande importante des secteurs CUM Est (7) et CUM Centre-Est (5) vers le secteur Centre-Ville (1), totalisant 18% des déplacements utilisant le tunnel;
- des échanges majeurs entre le secteur CUM Centre-Sud (2) et les secteurs CUM Centre-Est (5) et CUM Est (7), totalisant 27% des déplacements du tunnel;

- 8% des déplacements empruntant le tunnel proviendraient du secteur L'Assomption (14) et se destineraient vers le Centre-Ville (1) ;
- peu de déplacements internes dans le secteur CUM Centre-Est traversé par le tunnel, ceux-ci représentant seulement 1% des déplacements du tunnel.

Par ailleurs, les données des secteurs ont été agrégées en secteurs plus vastes pour permettre l'analyse des déplacements à une autre échelle. La *distribution des déplacements automobiles par territoire* est présentée au tableau 5 :

- 51% des usagers du tunnel en font l'utilisation pour des déplacements à l'intérieur de la CUM;
- 48% des déplacements prennent leur origine à l'extérieur de la CUM et se destinent à la CUM ou vice-versa (échanges CUM / Hors CUM);
- les déplacements en transit sur l'île de Montréal et utilisant le nouvel axe routier sont minimales (1%).

5.2.2 Indicateurs de performance du réseau

La performance du lien routier a été analysée en comparant, pour les deux scénarios, les véhicules-heures (véh-hre) et véhicules-kilomètres (véh-km) qui donnent un aperçu des gains cumulatifs pour l'ensemble des usagers du réseau routier de la région de Montréal. Ces indicateurs, calculés par EMME/2, sont présentés au tableau 6.

Ainsi, pour un nombre égal de déplacements automobiles sur l'ensemble du réseau routier de la région de Montréal en 2011 (983 827 déplacements), l'option tunnel amène des réductions du nombre de véh-hre de l'ordre de 7 400 véh-hre (ou 1%) et des réductions du nombre de véh-km de l'ordre de 5 900 véh-km (ou à peine 0,03%). D'autre part, lorsque ces gains sont répartis par usager (temps moyen, distance moyenne et vitesse moyenne), les écarts obtenus sont peu significatifs.

Tableau 2 Option tunnel
Secteurs d'origine des usagers
PPAM - Horizon 2011

Secteurs	Nbre	%
CUM Est (7)	3625	20
CUM Centre-Est (5)	3427	19
CUM Centre-Sud (2)	3195	18
L'Assomption (14)	1995	11
Autres secteurs	5675	32
Total	17917	100

Tableau 3 Option tunnel
Secteurs de destination des usagers
PPAM - Horizon 2011

Secteurs	Nbre	%
CUM Centre-Ville (1)	5828	33
CUM Centre-Est (5)	4935	28
CUM Centre-Sud (2)	2576	14
CUM Est (7)	2109	12
Autres secteurs	2469	14
Total	17917	100

Tableau 4 Option tunnel
Distribution des déplacements automobiles
Principales paires O-D en PPAM - Horizon 2011

Origine	Destination	Nb	%
CUM Est (7)	CUM Centre-Ville (1)	2113	12
L'Assomption (14)	CUM Centre-Ville (1)	1455	8
CUM Centre-Sud (2)	CUM Centre-Est (5)	1379	8
CUM Centre-Sud (2)	CUM Est (7)	1407	8
CUM Centre-Est (5)	CUM Centre-Ville (1)	1105	6
CUM Est (7)	CUM Centre-Sud (2)	1090	6
CUM Centre-Est (5)	CUM Centre-Sud (2)	869	5
Lajemmerais (20)	CUM Centre-Est (5)	790	4
CUM Centre-Est (5)	CUM Centre-Est (5)	158	1
Autres Paires O-D		7709	43
Total		17917	100

Tableau 5 Option tunnel
Distribution des déplacements automobiles
par territoire en PPAM - Horizon 2011

Origine	Destination	Nb	%
CUM	CUM	9205	51
Hors CUM	CUM	6707	37
CUM	Hors CUM	1811	10
Hors CUM	Hors CUM	194	1
Total		17917	100

Tableau 6 Résumé des différents indicateurs
Période de pointe du matin - Horizon 2011

	Statu quo	Option en tunnel
Pour l'ensemble des usagers du réseau :		
Nombre de déplacements	983 827	983 827
Véhicules-heures	620 913	613 545
Véhicules-km	18 184 698	18 178 797
Temps moyen (min)	37,9	37,4
Distance moyenne (km)	18,5	18,5
Vitesse moyenne (km/h)	29,3	29,6

5.3 ANALYSES DE CIRCULATION POUR L'OPTION TUNNEL

5.3.1 Circulation dans le tunnel

Selon les résultats de simulation pour la période de pointe du matin, le tunnel serait emprunté par 8 850 véhicules particuliers en direction ouest (3 540 en heure de pointe AM) et par 2 770 en direction est (1100 pendant l'heure de pointe AM). À ces débits de véhicules particuliers, vont s'ajouter des camions dont le volume n'est pas connu. Si on suppose un pourcentage de camions de 10 à 15 % (tel qu'observé actuellement sur la rue Notre-Dame pendant la période de pointe), alors le débit total de véhicules dans le sens maximum (direction ouest) pourrait être de l'ordre de 9 800 à 10 400 en période de pointe du matin (3 900 à 4 200 véhicules pendant l'heure de pointe).

Le tunnel étant aménagé avec trois voies par direction, il y aura un maximum de 1 400 véhicules par voie en direction ouest pendant l'heure de pointe du matin.

La vitesse affichée dans le tunnel serait de 70 km/h. Avec les débits de circulation anticipés pour ce type de route avec une vitesse permise de 70 km/h, le niveau de service dans la direction de pointe à l'heure de pointe serait de niveau « E ». Pour la même période mais en direction inverse de la pointe, le niveau de service serait quant à lui, de niveau « A ».

5.3.2 Circulation sur la rue Notre-Dame à l'ouest d'Iberville

À l'ouest des rues Iberville/Frontenac, au point de raccordement du tunnel, l'apport des nombreux véhicules amènerait une augmentation principalement en direction ouest (augmentation de 37%) en période de pointe du matin. Selon les simulations, le débit en direction ouest serait de 12 550 véhicules en période de pointe (5 020 en heure de pointe) et de 5 110 véhicules particuliers en direction est (2 040 en heure de pointe).

Si on suppose un pourcentage de camion de l'ordre de 10%, le débit en direction de pointe serait de 5 600 (heure de pointe) soit environ 1 850 véhicules par voie. Selon les analyses théoriques, le niveau de service pour ces conditions de circulation serait alors de niveau « F ».

5.3.3 Circulation sur la rue Notre-Dame à l'est d'Iberville

5.3.3.1 Avant l'ouverture du tunnel (de 2001 à 2011)

La capacité de la rue Notre-Dame est contrôlée par les carrefours actuels aménagés avec des feux de circulation. Les analyses réalisées dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement de la modernisation de la rue Notre-Dame, ont démontré que les carrefours situés entre les rues d'Iberville et Pie-IX présentent actuellement d'importants problèmes de congestion durant les heures de pointe.

La rue Notre-Dame, avec l'augmentation potentielle de la demande, telle que simulée avec EMME/2, connaîtrait des problèmes de circulation et de capacité pendant 10 ans, jusqu'au moment de l'ouverture du tunnel.

Il faut mentionner également que les carrefours étant déjà saturés, et avec l'augmentation de la demande prévue par le modèle (qui ne tient pas compte des problèmes de capacité aux carrefours), on peut s'attendre à un important débordement du trafic sur le réseau local adjacent.

5.3.3.2 Au moment de l'ouverture du tunnel (horizon 2011)

Au moment de l'ouverture du tunnel en 2011, un transfert des volumes s'effectuera de la rue Notre-Dame au profit du tunnel, allégeant ainsi la circulation sur cette artère. Cependant, bien que les diminutions de débits prévues sur Notre-Dame sont importantes (de l'ordre de 500 à 800 véhicules particuliers par heure en direction de pointe), les débits résiduels sur cette rue seront considérables puisque la demande ne cessera de croître entre 2001 et 2011.

Ainsi, si on compare les débits que l'on observe présentement sur la rue Notre-Dame (2001) à ceux prévus après l'ouverture du tunnel en 2011, la perte de débits est de l'ordre de 300 à 550 véh/h (incluant les camions) dans la direction de pointe et de 350 à 400 véh/h en direction inverse. Si on applique ces variations de débit aux débits observés présentement sur le terrain, il reste 2 000 à 2 800 véh/h en direction de pointe et 1 000 à 1 400 véh/h en direction inverse.

L'analyse des carrefours munis de feux de circulation, qui sont présentement jugés problématiques, a été faite en période de pointe du matin pour le secteur à l'est des rues Iberville et Frontenac, c'est-à-dire à l'est du branchement du tunnel à la rue Notre-Dame. Ces analyses démontrent que, dans la majorité des cas, la rue Notre-Dame n'offrira pas la capacité nécessaire pour répondre adéquatement à la demande.

Le carrefour Alphonse-D.Roy/Notre-Dame a été analysé. Le niveau de service du carrefour sera de niveau « D » avec un rapport volume/capacité (v/c) légèrement supérieur à 1, c'est-à-dire que le carrefour sera à saturation à ce moment. Présentement le niveau de service de ce carrefour est de « F » avec un rapport v/c estimé nettement supérieur à 1, donc en situation de sursaturation.

Pour ce qui est du carrefour Pie-IX/Notre-Dame, les analyses montrent que le niveau de service général du carrefour demeurera à « F » avec un rapport v/c supérieur à 1. L'approche Est du carrefour est la plus problématique avec un niveau de service « F » alors que les autres approches ont des niveaux de service variant de « A » à « E ».

Quant au carrefour St-Clément/Viau/Notre-Dame, le rapport v/c prévu sera égal à 1, donc le carrefour est à saturation mais offre un niveau de service général de niveau « C » (temps de retard moyen d'environ 34 secondes). Les niveaux de service des approches de ce carrefour varient de « A » à « E ». L'approche Est de ce carrefour est particulièrement sensible, bien que son niveau de service soit « C », le rapport v/c est 0,97 ce qui signifie qu'une faible variation des débits à cette approche par rapport aux hypothèses utilisées pourrait détériorer significativement le niveau de service du carrefour en général.

En résumé, bien que les conditions de circulation sur la rue Notre-Dame seront améliorées suite au transfert d'un bon nombre d'usagers vers l'axe du tunnel, les carrefours qui sont présentement en condition de sursaturation demeureront problématiques puisqu'ils seront à capacité et n'offriront aucune réserve de capacité sans que des modifications géométriques importantes n'y soient apportées.

5.3.4 Trafic journalier sur la rue Notre-Dame en 2011 avec l'option tunnel

Dans l'*option tunnel*, si on considère les débits qui vont continuer d'utiliser la rue Notre-Dame entre les rues Dickson et Frontenac, on peut évaluer que le trafic journalier entre ces rues sera de l'ordre de 44 000 à 56 000 véh/jour en 2011 suite à l'ouverture du tunnel. Comparativement, 52 000 à 72 000 véhicules circulent actuellement sur ce tronçon en 2001.

À titre de comparaison, les débits journaliers actuels sur certaines artères de Montréal sont approximativement les suivants :

- boulevard de l'Acadie (vis-à-vis rue Jarry) : 49 000
- boulevard Pie IX (nord de Rosemont) : 51 000
- boulevard Pie IX (sud de Rosemont) : 55 000
- avenue Papineau (entre Crémazie et Sauvé) : 52 500
- rue Sherbrooke (entre Viau et l'autoroute 25) : 52 500
- boulevard René-Lévesque (secteurs des rues Guy et Mansfield) : 45 000
- boulevard René-Lévesque (secteurs des rues St-Urbain et St-Laurent) : 49 000

Ainsi, avec 44 000 à 56 000 débits journaliers continuant d'emprunter la rue Notre-Dame, on peut considérer que la rue Notre-Dame conservera son caractère d'artère majeure est-ouest dans ce secteur de la ville et sa vocation de desserte industrielle et portuaire.

5.4 CAMIONNAGE

La rue Notre-Dame est actuellement un axe stratégique pour le transport des marchandises par camion, que ce soit pour le port de Montréal ou les autres industries riveraines (ADM, Sucres Lantic, Cimenteries Miron, Héneault-Gosselin, Montank, Camco, etc.). D'autre part, la rue Notre-Dame est un important lien est-ouest de transit sur l'île de Montréal pour le camionnage.

Le modèle EMME/2 du MTQ n'inclut pas les mouvements de camions qui empruntent le réseau routier de la région de Montréal. Il n'est donc pas possible de savoir combien de

camions utiliseraient le tunnel pour une partie de leur trajet. Il est certain que le tunnel présenterait un attrait pour les camions actuellement en transit sur la rue Notre-Dame mais la rue Notre-Dame continuera d'être un lien privilégié pour le camionnage desservant le port de Montréal et les industries riveraines.

5.5 TRANSPORT DES MATIÈRES DANGEREUSES

Selon un comptage effectué en décembre 1999 sur la rue Notre-Dame, les camions de transport de matières dangereuses représentaient 0,5% à 1,0% des véhicules totaux empruntant la rue Notre-Dame entre les rues Iberville et Dickson en période de pointe du matin et au maximum 0,5% en période de pointe du soir. Les pourcentages maximum sont observés aux abords des portes d'entrées du port de Montréal. En terme absolu, 65 à 95 camions de transport de matières dangereuses empruntent la rue Notre-Dame en période de pointe du matin et 55 à 65 en période de pointe du soir.

Sur une base journalière, on peut estimer que 300 à 500 camions de transport de matières dangereuses empruntent la rue Notre-Dame sur le tronçon concerné. Ces camions continueront d'utiliser la rue Notre-Dame actuelle, puisque le tunnel sera interdit aux véhicules transportant des matières dangereuses.

5.6 MAINTIEN DE LA CIRCULATION DURANT LA CONSTRUCTION

Sur le réseau routier, durant la construction du tunnel, à part la circulation de camions qui sera accrue, aucun autre impact majeur n'est à prévoir ailleurs qu'aux deux approches (est et ouest) du tunnel où une augmentation de la circulation sera remarquée en raison du camionnage relié aux activités de chantier, en raison de la machinerie et de l'arrivée et de la disposition des matériaux de chantier (rues Dickson, Viau, St-Clément, Moreau, Frontenac, Iberville, Ontario, entre autres).

Des impacts locaux sur la circulation de quartier se feront remarquer près des trois puits de ventilation du tunnel où des rues locales devront être fermées pour la durée de leur construction.

De plus, des mesures particulières de maintien de la circulation devront être prises lors du raccordement au réseau des approches du tunnel, telles fermetures de voies, chemin de détour, etc.

6. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Le présent chapitre présente certains impacts environnementaux reliés à la construction du tunnel, tels le bruit engendré, les vibrations induites et certains impacts envisagés lors de la construction même du tunnel. On doit noter qu'aucune étude d'impact n'a été réalisée en tant que telle sur ce projet. Ainsi, nombre d'impacts environnementaux n'ont pas été quantifiés.

Parmi ces derniers, notons que la construction du tunnel aura des impacts majeurs à l'endroit des puits de ventilation du tunnel en ce qui concerne l'expropriation de résidences et l'émission de gaz polluants qui s'y retrouveront en forte concentration. Toutefois, ceux-ci n'ont pas encore fait l'objet d'une étude approfondie. De plus, aux approches du tunnel, il y aura accroissement du trafic routier avoisinant, ce qui créera une augmentation sensible du bruit ambiant, de la quantité de poussières présentes dans l'atmosphère et de l'émission de polluants. Par ailleurs, il faut également penser aux impacts qu'aurait un incendie ou un déversement accidentel, dans le tunnel.

Tous les axes routiers en-dehors du tunnel n'ont pas été étudiés dans le cadre de cette étude et bien qu'il n'y ait pas d'autre impact environnemental majeur sur l'ensemble du réseau routier existant, il y aura des impacts notables sur la rue Notre-Dame et sur les rues avoisinantes au tunnel mais aucune étude d'impact n'a été réalisée à ce sujet.

6.1 BRUIT

Cette étude sommaire concernant l'impact sonore des trois futurs puits de ventilation du tunnel Notre-Dame sur les quartiers résidentiels concernés, est basée sur une analyse comparative des niveaux de bruit générés par le puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine localisé sur l'Île Charron.

Le climat sonore actuel dans les quartiers résidentiels où est prévue l'installation des puits de ventilation du tunnel Notre-Dame est principalement constitué du bruit relié à la circulation automobile et de camionnage ainsi qu'aux activités urbaines en général. Pour estimer le niveau de gêne que pourrait provoquer le bruit émis par les puits de ventilation

dans ces quartiers résidentiels, des relevés sonores du bruit ambiant ont d'abord été effectués aux résidences les plus proches des emplacements prévus pour chacun des trois puits. Par la suite, une analyse du bruit inhérent aux puits de ventilation a été réalisée à partir des mesures de bruit relevées à proximité du puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine situé sur l'Île Charron. Finalement, des calculs sommaires ont été réalisés pour estimer le climat sonore prévisible aux résidences les plus proches des futurs puits de ventilation, lors de la mise en opération de ces derniers.

Ainsi, des mesures du bruit ambiant ont été réalisées aux résidences les plus proches des emplacements prévus pour les trois puits afin de déterminer le climat sonore actuel. La localisation des trois puits est indiquée ci-dessous :

- Puits n°1 : situé en bordure de la voie ferrée du Canadien Pacifique, près de la rue Ontario, entre les rues Moreau et Thomas-Valin;
- Puits n°2 : situé dans le quadrilatère formé par les rues Ontario, Valois, de Rouen et Bourbonnière;
- Puits n°3 : situé dans le quadrilatère formé par les rues Ontario, Leclair, de Rouen et Théodore.

Les mesures de bruit ont été réalisées en fin de soirée puisqu'à cette période de la journée, les citoyens risquent d'être plus sensibles au bruit émis par les puits de ventilation du fait que le bruit ambiant du secteur est généralement plus faible. Les résultats de ces mesures de bruit ambiant sont présentés au tableau 7 ci-après.

Tableau 7 : Résultats des mesures de bruit aux résidences les plus proches des emplacements prévus pour les trois puits de ventilation.

Paramètres statistiques	3059, rue Thomas-Valin (puits n°1) dB A	2188, rue Valois (puits n°2) dB A	2272, rue Théodore (puits n°3) dB A
Leq	48,3	50,6	51,2
Lmax	65,9	72,9	70,8
Lmin	45,6	40,1	42,1
L _{1%}	52,7	61,7	62,7
L _{10%}	49,7	50,7	52,7
L _{50%}	47,7	45,2	46,2
L _{90%}	46,7	42,7	44,2
L _{95%}	46,5	42,2	43,7
L _{99%}	46,2	41,7	42,7
Heure début	22h04	22h46	23h49
Durée	30 minutes	30 minutes	30 minutes

Le niveau de bruit ambiant (L_{eq}) aux résidences les plus proches des emplacements prévus pour les puits de ventilation est de l'ordre de 50 dB A, en fin de soirée.

Le niveau de bruit continu équivalent (L_{eq}) tient compte des fluctuations dynamiques du niveau de bruit. Il correspond au niveau de bruit continu ayant la même énergie sonore que le bruit discontinu. Ce paramètre est largement utilisé en bruit environnemental puisque les sources de bruit sont souvent variables, tel le bruit généré par les infrastructures routières. L'analyse statistique, pour sa part, permet de représenter les variations du niveau de bruit durant une période d'analyse. Les valeurs statistiques sont habituellement indiquées en pourcentage (%) du temps de la période de mesure. Les valeurs couramment utilisées sont : $L_{1\%}$, $L_{10\%}$, $L_{50\%}$, $L_{90\%}$, $L_{95\%}$ et $L_{99\%}$. Par exemple, la valeur $L_{1\%}$ représente le niveau de bruit atteint ou dépassé pendant 1 % du temps de la période d'analyse, c'est-à-dire que durant 1 % du temps, le niveau de bruit se trouve au-dessus de cette valeur et que durant 99 % du temps, le niveau de bruit se trouve à un niveau inférieur à cette valeur.

Pour estimer les niveaux sonores générés par les futurs puits de ventilation du tunnel Notre-Dame, des relevés sonores d'une durée de 20 minutes chacun ont été effectués, en après-midi (vers 14h00), à proximité du puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine, sur l'Île Charron, lorsque ce dernier était en fonctionnement. Ce puits de ventilation a été retenu, du fait qu'il est localisé dans un environnement sonore relativement calme, c'est-à-dire où le bruit émis par le puits est prédominant, contrairement au puits Viger du tunnel Ville-Marie, où le bruit ambiant du secteur rend pratiquement inaudible le bruit généré par le puits de ventilation.

Bien que nous ne possédions pas toutes les informations concernant les puits du tunnel Hippolyte-Lafontaine (débit d'air et pertes de pression des ventilateurs, configuration des puits de ventilation, dispositifs de réduction de bruit, niveaux de bruit générés par la circulation au travers des puits de ventilation, etc.) et que plusieurs paramètres peuvent différer de ceux prévus pour le tunnel Notre-Dame, ces mesures permettent d'estimer tout de même les niveaux de bruit prévisibles.

Les relevés sonores ont été réalisés à 10 et à 20 mètres du puits de ventilation et ce, à une hauteur de 1,5 mètres par rapport au niveau du sol. De même, le niveau de bruit ambiant du secteur (en dehors de la zone d'influence du bruit des puits d'évacuation) a également été mesuré afin d'estimer le niveau sonore généré uniquement par le puits de ventilation. Les résultats de ces mesures sont reproduits dans le tableau 8 ci-après.

Tableau 8 : Résultats des mesures de bruit relevées à proximité du puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine sur l'Île Charron.

Paramètres Statistiques	À 10 mètres du puits dB A	À 20 mètres du puits dB A	Bruit ambiant du secteur dB A
Leq	64,5	62,5	53,7
L _{1%}	67,7	64,2	57,7
L _{10%}	66,2	63,7	54,7
L _{50%}	64,7	62,7	53,2
L _{90%}	62,2	61,7	52,2
L _{95%}	61,9	61,2	51,9
L _{99%}	61,7	60,7	51,7

Si l'on soustrait logarithmiquement le bruit ambiant des niveaux sonores mesurés, il est possible d'estimer que le puits génère un niveau de bruit de l'ordre de 64 dB A à 10 mètres et de 62 dB A à 20 mètres. En prenant comme hypothèse de base que les puits de ventilation du tunnel Notre-Dame généreront des niveaux de bruit similaires à ceux émis par le puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine, il est possible d'évaluer sommairement le climat sonore prévisible à proximité de ces nouvelles installations en prenant en considération que le niveau sonore généré par le puits de ventilation diminue seulement de 2 dB A par doublement de distance.

Les résidences les plus proches du puits n°1 sont localisées à près de 60 mètres de celui-ci. Le climat sonore prévisible à ces résidences, suite à l'implantation du puits de ventilation, serait alors de l'ordre de 59 dB A (atténuation supplémentaire de 3 dB A par rapport à la mesure à 20 mètres, 62 dB A), soit une augmentation de 11 dB A par rapport au climat sonore actuel (48,3 dB A).

Les résidences adjacentes à l'emplacement prévu pour le puits n°2 sont situées à environ 30 mètres de ce dernier. Le bruit généré par l'ajout du puits n°2 pourrait faire augmenter le bruit ambiant du secteur (50,6 dB A) de l'ordre de 10 dB A, soit à environ 61 dB A (atténuation supplémentaire d'un dB A par rapport à la mesure à 20 mètres, 62 dB A).

Finalement, le bruit généré par le puits n°3 pourrait faire augmenter le bruit ambiant aux résidences les plus proches (51,2 dB A à approximativement 20 mètres) d'environ 11 dB A, pour un niveau global estimé à 62 dB A.

Ces niveaux sonores estimés représentent une évaluation pour une hauteur de 1,5 mètres par rapport au niveau du sol. Il serait cependant important d'estimer les niveaux sonores générés à 4,5 mètres et même 7,5 mètres de hauteur, puisque plusieurs bâtiments résidentiels comportent au moins deux étages.

Cette étude est basée sur une comparaison des niveaux de bruit générés par les puits de ventilation du tunnel Hippolyte-Lafontaine. Elle a donc ses limites. Pour évaluer réellement le climat sonore projeté, il faudrait procéder à une étude plus détaillée, basée sur les niveaux de bruit générés par les futurs équipements, notamment les ventilateurs, ainsi que les détails de construction des puits de ventilation.

Par ailleurs, lors de la conception des puits de ventilation, il sera très important d'apporter une attention particulière à l'isolation acoustique. Ainsi, l'ajout de silencieux et de traitement absorbant sur les parois des puits de ventilation devraient permettre de réduire considérablement les niveaux de bruit générés dans les quartiers résidentiels à des niveaux inférieurs aux niveaux de bruit ambiants actuels et conformes à la réglementation sur le bruit de la Ville de Montréal.

6.2 VIBRATIONS

Lors de la construction du tunnel, les vibrations sont induites principalement par les travaux de dynamique puis par l'équipement de construction (dont le tunnelier), tandis que lors de la mise en service, elles sont plutôt reliées à circulation routière. Dépendamment du niveau de ces vibrations, les effets peuvent aller du simple inconfort jusqu'à l'apparition de dommages aux bâtiments.

En ce qui concerne la circulation routière, les vibrations induites par celle-ci sont minimes. Le fait que le tunnel soit creusé dans le roc et ce, à une profondeur variant de 10 m à 15 m, rend pratiquement nul les effets des vibrations. Les contraintes engendrées dans les matériaux sont équivalentes, sinon moindres que celles causées par les variations de

température et d'humidité à l'intérieur du bâtiment. On peut donc affirmer que les vibrations induites par la circulation routière durant la mise en service du tunnel sont négligeables.

Pour ce qui est des vibrations induites par l'équipement de construction, qui ici s'avère être un tunnelier, des études ont été réalisées lors de projets similaires à celui-ci (Central Artery, Dublin Port Tunnel). Elles montrent que les vibrations générées par le forage du tunnelier sont deux fois plus petites en intensité que la limite requise pour que des dommages commencent à apparaître sur les bâtiments. En général, il est donc permis de dire que les vibrations causées par l'équipement de construction ne sont pas un facteur à être pris en compte.

Les travaux de dynamitage provoqueront des vibrations au niveau du sol. Les vibrations seront plus importantes lors de la construction du puits d'accès et diminueront progressivement à mesure que l'on s'éloignera de la surface du sol. Il est donc important d'établir des limites d'amplitude vibratoire afin de s'assurer que les structures de bâtiments se trouvent à proximité du site des explosions ne subissent aucun dommage. Ainsi, il sera exigé à l'entrepreneur que les amplitudes vibratoires maximales ne dépassent pas 12 mm/s sur tout terrain bâti, ce qui correspond au double de l'exigence du Cahier des charges et devis généraux du MTQ (limite de 25 mm/s aux résidences et commerces) et de l'exigence stipulée dans le règlement fédéral américain « Office of Surface Mining (OSM) » publié en mars 1983 (25 mm/s pour des distances de dynamitage jusqu'à 1524 m).

6.3 DURANT LA CONSTRUCTION

Certains impacts environnementaux tels le bruit, la poussière et l'accroissement du trafic lourd ne peuvent être évités durant la construction. Toutefois, des mesures de mitigation peuvent être adoptées, afin de minimiser la portée de ces impacts.

6.3.1 Bruit

Afin de limiter les impacts sonores du chantier, des mesures d'atténuation devraient être intégrées aux plans et devis auxquels les entrepreneurs seront soumis. Les clauses

contractuelles pourraient comporter des pénalités. Les mesures d'atténuation prévues comprennent, sans s'y limiter, les mesures suivantes :

- des équipements de construction générant un bruit réduit incluant, entre autres, l'ajout de silencieux ou de compresseurs électriques d'alimentation d'air;
- une alarme à intensité variable qui s'ajuste selon le bruit ambiant pour les équipements devant être équipés d'alarme de recul et qui seront constamment ou fréquemment sur le chantier;
- des écrans acoustiques temporaires du mobile installés près des équipements les plus bruyants;
- une organisation du chantier et un ordonnancement des travaux préparés en ayant comme objectif la réduction de l'impact sonore la nuit et durant les mois les plus chauds;
- une patrouille du bruit 24 heures par jour et 7 jours par semaine créée pour assurer le respect et l'application adéquate des mesures d'atténuation, assurer un suivi acoustique, sensibiliser le personnel professionnel et technique au problème de bruit sur un chantier et leurs incidences, gérer les plaintes et informer en temps réel le surveillant de chantier en titre qui sera habilité à arrêter les travaux sur seul constat d'infraction lors de dépassement des seuils sonores retenus dans le devis;
- une ligne téléphonique directe (24 h / 7 jours) pour la population, à la fois pour formuler des plaintes et obtenir des informations sur le chantier et les mesures en place;
- des comités de « résolution de problèmes » pour gérer les impacts causés par le chantier et comportant des rencontres formelles régulières avec la population résidante ayant des problèmes spécifiques liés au chantier en vue de trouver des solutions satisfaisantes.

D'autres mesures d'atténuation sonore pourraient s'ajouter avec la progression du chantier et l'identification de nouveaux besoins.

6.3.2 Poussière

Il est évident que l'excavation d'un tunnel semblable génère un volume impressionnant de matériaux de déblai. La manipulation de ces matériaux de déblai entraîne inévitablement la dispersion de particules fines dans l'environnement. Des mesures de mitigation peuvent

être adoptées afin de réduire le niveau de poussière dans l'air environnant au projet. La poussière provient essentiellement des excavations en surface et par la circulation des camions. La quantité de poussière produite par l'excavation en tunnelier proprement dite est négligeable. Afin de réduire la propagation de la poussière, des mesures, tel le lavage des roues de camions ou l'arrosage répété du sol et du pavage avoisinant les travaux, sont à envisager.

6.4 CAMIONNAGE

La construction d'un tel ouvrage implique l'emploi de nombreux camions pour le transport des matériaux. Ces véhicules lourds se veulent néfastes tant au niveau du bruit que de la dégradation de la chaussée, tout particulièrement pour les rues résidentielles qui ne sont pas conçues pour recevoir de telles charges. Afin d'éviter les désagréments aux résidents avoisinants, un plan de camionnage devra être mis en place, afin de garder les véhicules lourds hors des rues résidentielles.

6.5 EXPROPRIATIONS

Une soixantaine de résidences devront être expropriées afin de permettre la construction de l'approche ouest du tunnel. Ces résidences sont toutes situées dans le secteur des rues L'Espérance et de la Terrasse Thomas-Valin. La localisation de l'axe à cet endroit est essentielle puisque la profondeur du roc et l'épaisseur de mort-terrain doit permettre le creusage de l'approche en tranchée ouverte et le percement du tunnel dans le roc.

7. ÉCHÉANCIER

Nous joignons à l'annexe 3, un échéancier probable de la réalisation d'un ouvrage de l'envergure d'un tunnel routier de 3,3 km de longueur.

Tel que montré sur l'échéancier, on doit compter au minimum 7 années et plus vraisemblablement de 9 à 10 ans en incluant les délais nécessaires pour obtenir toutes les autorisations gouvernementales et environnementales requises pour un tel projet.

Bibliographie

Hatch Mott MacDonald, *Notre Dame Highway Tunnels – Feasibility Study for Dessau-Soprin*, August 2000.

Hatch Mott MacDonald, *Notre Dame Highway Tunnels – Cost Estimate for Feasibility Study for Dessau-Soprin*, August 2000.

Transports Québec, *Modernisation de la rue Notre-Dame – Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre de l'Environnement – Chapitre 1 : Mise en contexte*, Version finale, Août 2001.

ANNEXE 1- CONDITIONS GÉOTECHNIQUES

1 CONDITIONS GÉOTECHNIQUES

1.1 GÉOLOGIE GÉNÉRALE

Le tracé de l'axe autoroutier en tunnel est situé dans la formation de Tétreauville du groupe de Trenton. Cette formation consiste en une alternance très régulière de calcaire gris argileux et de shale calcaire plus foncé et en lits plus minces. En plus de la régularité de la stratification qui confère une certaine homogénéité à l'ensemble, le Tétreauville a pour caractéristique un très faible contenu de fossiles. La pierre possède un grain très fin. Les inter lits de shale, parfois de schiste, passent graduellement à la composition des lits calcaires par transition sur un à deux centimètres; ils comptent pour 5 à 25% du volume total. Localement, le Tétreauville est affecté par l'arrachement d'écailles de quelques mètres à 10 mètres d'épaisseur. Ce type particulier d'érosion par les glaciers de la période du Pléistocène a laissé des dénivellations brusques dans la topographie du substratum rocheux. La faible épaisseur des lits calcaires ainsi que l'altérabilité des inter lits, empêchent l'utilisation de cette pierre en maçonnerie, ou pour la fabrication d'agrégat de qualité. Par contre, sa proportion d'argile la rend très apte à servir à la fabrication de ciment. La qualité du roc de surface est en général de moindre qualité, mais cette dernière s'améliore avec la profondeur.

1.2 EXCAVATIONS DANS LA FORMATION DE TÉTREAUVILLE

En général, l'homogénéité de cette formation rocheuse favorise l'exécution de tunnels et autres ouvrages, car le rocher possède des propriétés constantes sur de vastes étendues. Par contre, lors de l'excavation de certains ouvrages, la présence d'écailles a causé plusieurs problèmes d'excavation. Les différents problèmes associés à ce phénomène sont les suivants: présence d'eau en quantités importantes, instabilité de la voûte, remplissage des vides par du mort-terrain ou tout simplement présence de vides. Le phénomène des écailles a été rencontré lors de l'excavation du métro aux stations Beaugrand, Radisson et Pie-IX de même que lors de l'excavation du tronçon 6.4 de l'intercepteur sud-est de la CUM, à l'est de la structure Clarence-Gagnon. Le vélodrome olympique a été construit, dans certains secteurs, sur des écailles glaciaires, ce qui a nécessité l'injection de quantités importantes de coulis de ciment.

Dans le cas de l'intercepteur de la CUM, le tunnelier a été en arrêt pendant plusieurs mois; ce contrat a été terminé par un autre entrepreneur. Ce tunnel était situé dans le shale d'Utica, selon les informations disponibles.

Lors de l'excavation des puits d'accès aux tunnels dans ce secteur, plusieurs puits ont nécessité des méthodes d'excavation particulières et dans quelques cas, il y a eu affaissement en surface. Nous pouvons citer les structures de Lasalle, Dixon, de Boucherville et Clarence-Gagnon. Ces structures étaient situées sur l'intercepteur de la CUM.

Le diamètre maximal des tunnels excavés avec un tunnelier sur l'île de Montréal est d'environ 6,5 m. Ils ont été excavés dans le cadre du projet d'assainissement des eaux de la CUM. En ce qui a trait à la méthode par forage et dynamitage, la dimension maximale des tunnels excavés est d'environ 15 m de largeur, soit lors de la construction des stations de métro.

En général, les apports d'eau importants sont survenus dans les zones des écailles glaciaires. Très peu de consolidation du roc a été faite pour les tunnels excavés par tunnelier; l'utilisation de boulons de consolidation, de cintres métalliques, de béton projeté sous pression ou de treillis métallique a été sporadique et très localisée. Cela s'explique par le fait que les tunnels excavés par cette méthode étaient situés en profondeur; or, à ces profondeurs, la qualité du roc est meilleure, la couverture rocheuse au-dessus de la voûte étant assez importante.

1.3 LE PROJET DE TUNNEL AUTOROUTIER

Les dimensions des excavations proposées dans le cadre de ce projet sont importantes, la méthode proposée pour chaque voie de circulation semble appropriée. Pour cette raison, la consolidation de la voûte lors de l'excavation va s'avérer très importante ainsi que sa réalisation par rapport à l'avancement de l'excavation par forage et dynamitage. En général, dans ce genre d'excavation, la couverture rocheuse au-dessus de la voûte est d'environ une fois le diamètre. Dans ce cas-ci, un couvert rocheux de huit mètres par-dessus la voûte est envisagé tandis qu'aux portails, un couvert rocheux de cinq mètres minimum est prévu. Ceci peut sembler mince mais en adoptant une méthode d'excavation par forage et

dynamitage appropriée suivie de la consolidation du massif rocheux, immédiatement à l'arrière, ces épaisseurs s'avèrent sécuritaires.

Après avoir terminé l'excavation par tunnelier, la méthode suggérée est l'abattage de la voûte et du radier dans chaque tunnel suivi immédiatement de la consolidation. Ensuite, il y aura abattage du pilier central suivi de la consolidation. La longueur des boulons de consolidation utilisés sera d'environ 5 ou 6 mètres. Lors de l'excavation par tunnelier, des boulons de consolidation seront installés à la voûte, mais ça pourrait causer des problèmes lors de l'excavation par forage et dynamitage. Si des boulons de consolidation sont requis, dans les zones où il y aura abattage, des boulons plus courts seront utilisés. Étant donné la stratification sub-horizontale des formations rocheuses, il ne sera peut-être pas requis d'excaver le radier final des tunnels autoroutiers circulaires. Un radier horizontal sera plus facilement réalisable et la circulation se fera plus facilement lors de la construction. Il y a de fortes chances pour que la voûte forme une surface sub-horizontale alors il faudra que les concepteurs prévoient des sur-excavations. L'utilisation d'une excavatrice de type "road header" n'empêchera pas la formation de surface sub-horizontale. Les strates vont avoir tendance à se détacher selon les plans de faiblesse ou les joints de stratification.

Lors des sautages, les charges par délais utilisées devront être calculées pour ne pas dépasser les vitesses de vibration permises dans la Ville de Montréal. Lorsqu'il y a excavation par abattage, il est plus facile de contrôler les vitesses sismiques, les charges par délais étant moindres.

Par ailleurs, il est très difficile, voire impossible, de rendre étanche un ouvrage souterrain. Nous savons qu'ailleurs, des membranes d'étanchéité ont été utilisées entre le béton et le roc. Par contre, il n'est pas clairement observé que l'utilisation de ces membranes a rendu un ouvrage souterrain vraiment étanche.

Étant donné les dimensions des ouvrages souterrains prévus, un programme de monitoring en surface et en souterrain doit être prévu. Étant donné la complexité de l'ouvrage, lors du creusage des tunnels piétonniers, la cartographie géologique doit être complétée pour pouvoir procéder à l'interprétation des structures géologiques qui seront traversées par les

tunnels autoroutiers et prévoir les travaux ou mesures correctives à entreprendre avant et pendant l'excavation des deux tunnels.

1.4 EXCAVATIONS EN TRANCHÉE

Dans les zones où des conditions difficiles sont anticipées, des mesures spéciales devront être prises pour empêcher le rabattement de la nappe phréatique ou des infiltrations importantes. L'utilisation de parois moulées ou l'injection de colonne de ciment sous pression (« jet grouting ») pourront être utilisées pour la construction des murs de soutènement temporaires.

ANNEXE 2 - ESTIMATION DES COUTS

SOMMAIRE DES COÛTS DU PROJET

(coûts en dollars 2001 non actualisés)

MODERNISATION DE LA RUE NOTRE-DAME ENTRE L'AUTOROUTE 25 ET L'AUTOROUTE 720 À MONTRÉAL

OPTION TUNNEL

1. COÛTS DE CONSTRUCTION DES APPROCHES EST ET OUEST	155 000 000 \$
2. COÛTS DE CONSTRUCTION DU TUNNEL	405 000 000 \$ (1)
3. MESURES DE MITIGATION, EXPROPRIATION, DOMMAGES & INSPECTIONS, DÉPLACEMENT DES UTILITÉS PUBLIQUES	25 000 000 \$
4. GESTION DE LA CIRCULATION PENDANT LES TRAVAUX	30 000 000 \$
5. CONTINGENCES (25%)	154 000 000 \$
6. HONORAIRES PROFESSIONNELS	115 000 000 \$
SOUS-TOTAL	884 000 000 \$

NOTE:

(1) Ce montant provient du document "Cost Estimate for Feasibility Study for Dessau Soprin" de Hatch Mott MacDonald

**ANNEXE 3 – NOTRE-DAME HIGHWAY TUNNELS
FEASIBILITY STUDY FOR DESSAU-
SOPRIN – AUGUST 2000**

Notre Dame Highway Tunnels

Feasibility Study

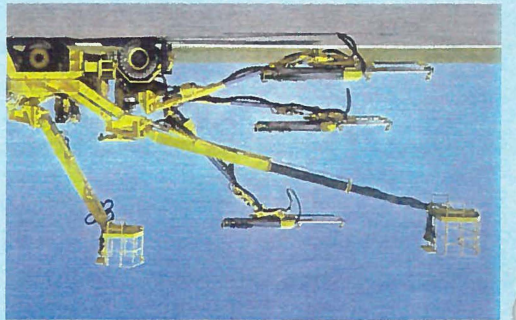
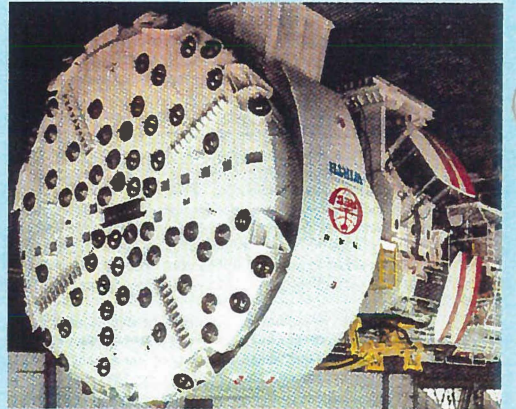
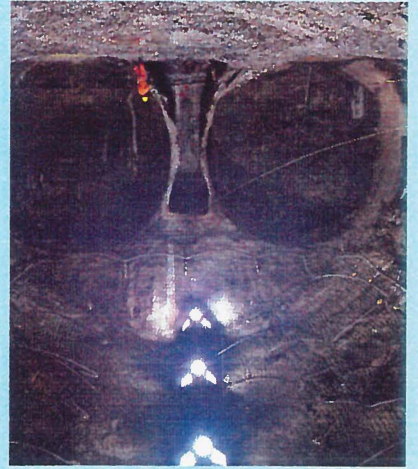
for

Dessau Soprin

Hatch Mott
MacDonald



August, 2000



June 23, 2000
 August 10, 2000, Rev. 1

**DESSAU-SOPRIN
 PROPOSED NOTRE DAME HIGHWAY TUNNELS-
 MONTREAL**
STUDY OF TUNNEL FEASIBILITY AND COST ESTIMATE
TABLE OF CONTENTS

1.	INTRODUCTION.....	3
2.	INFORMATION SUPPLIED BY DESSAU-SOPRIN.....	3
3.	THE TUNNEL CONCEPT	4
	3.1 Tunnel Alignment.....	4
	3.2 Geotechnical Considerations	4
	3.3 Tunnel Cross Sections - Options	5
	3.4 Modified Elliptical Shape - Selected Option.....	5
	3.5 Tunnel Ventilation	5
	3.6 Tunnel Drainage	7
	3.7 Tunnel Lighting and Wall Finish	8
	3.8 Fire Protection	8
	3.9 Operational Safety	9
	3.10 Traffic Control, Fire Detection and CCTV.....	10
4.	CONSTRUCTION METHODOLOGY	10
	4.1 Tunnel Excavation Methods.....	10
	4.1.1 Tunnel Boring Machines.....	10
	4.1.2 Drill and Blast.....	11
	4.1.3 Cut and Cover.....	12
	4.2 Tunnel Linings	13
	4.2.1 Temporary Lining	13
	4.2.2 Waterproofing	13
	4.2.3 Permanent Lining.....	14
	4.3 Roadway.....	14
	4.4 Ventilation Ducts.....	14
	4.5 Rock Removal/Disposal.....	14
	4.6 Evacuation Tunnels	15
	4.7 Cross Passages.....	15
	4.8 Portal Works	16
	4.9 Ventilation Control Centre Structures.....	16
	4.10 Ground Treatment	16

APPENDICES

- A - VENTILATION CALCULATIONS
- B - PROJECT SCHEDULE

FIGURES

1. Modernisation De La Rue-Notre-Dame – Tunnels Option
2. Tunnels – Plan and Profile
3. Twin Circular and Twin Elliptical Cross Sections
4. Twin Elliptical – Selected Option
5. Cut-and-Cover Cross Section
6. Similar Tunnels
7. Construction Methodology
8. Rock TBM
9. Drilling Jumbo
10. SEM Tunnel
11. Portal Structure with Vent Building Plan
12. Portal Buildings Section A-A
13. Portal Building Section B-B

1. INTRODUCTION

Hatch Mott Macdonald (HMM) was commissioned by Dessau-Soprin for the Ministry of Transportation of Quebec (MTQ) to provide an independent assessment of feasibility and cost for the Rue Notre Dame Highway scheme, tunnelled option, and hereafter called the Notre Dame Tunnels. The tunnels would link Avenue Souigny at Boulevard de L'Assumption at the north east with Rue Notre Dame at Rue Bercy in the south west. The length of the tunnels is 3.3 km of which 2.8 km is within the rock and would be constructed by tunnelling. The remaining 500 m is in soil and would be constructed by excavation from the surface.

This report describes the tunnel concept and the assumed construction methodology. An estimate of the overall construction costs is provided, separately from this report. The twin 3-lane vehicle tunnels, each accompanied by a separate evacuation tunnel, from portal to portal, including ventilation, control structures and operating systems are covered by this report.

2. INFORMATION SUPPLIED BY DESSAU-SOPRIN

Dessau-Soprin have supplied the following information to HMM to provide the basis for this report and estimate of construction costs:

- Plan drawing titled "Modernisation de la Rue-Notre-Dame variante - Tunnel" giving horizontal position of tunnel
- CD ROM of orthophotography of project area
- Drawing showing contours of depth to the rock surface
- Borehole reports
- Number of lanes, shoulder and lane widths
- Vertical clearance envelope
- Traffic volumes and composition
- Alignment of three major sewers
- Report on vibration levels.

From MTQ:

- Requirement for two separate evacuation tunnels
- Requirement for three ventilation/evacuation shafts along the length of the tunnel.

3. THE TUNNEL CONCEPT

3.1 Tunnel Alignment

The proposed vertical and horizontal tunnel alignment are shown in Figure 1. From the west portal, just west of the CP yard, the alignment generally parallels the CP tracks on a downgrade of 2%. The alignment then passes under the CP tracks south of Rue de Rouen and proceeds in an easterly direction, generally paralleling Rue de Rouen, and emerges from a portal between Rue de Ville Marie and the CN Rail corridor. The low point of the vertical alignment is reached east of the CP tracks. From here the alignment is essentially flat until the last 500 metres, which is on an upgrade of 2.2% up to the portal.

Beyond the portals, the approach grades continue in retained cuts to connect to the depressed highways, which pass under Rue Bercy in the west and Boulevard de L'Assumption at the east.

3.2 Geotechnical Considerations

Along the proposed route the geotechnical conditions can be broadly described in a till, silt/clay overburden overlying limestone. The depth to rock varies from less than 5 metres to 25 metres with the rock surface generally lowering towards the St. Lawrence River, to the south.

The vertical alignment has been designed to place most of the tunnel within the limestone bedrock. The large tunnels required for this project cannot be constructed economically within the overburden material except by open cut excavation techniques, commonly referred to as cut-and-cover. This technique requires property acquisition and demolition of buildings, which would not be acceptable for this project. Within the limestone, the tunnels would be excavated underground with minimal surface disturbance.

Unfortunately, locating the tunnel within the rock is not possible at the west end of the tunnel, where the portal would be located totally within the overburden and acceptable rock cover is not achieved until some 500 m from the portal. This first 500 m will therefore be constructed by cut-and-cover techniques. At the east end of the tunnel, the rock surface is near to the ground surface and a mined tunnel can continue up to the portal.

The groundwater levels are typically 2 m to 4 m below the ground level. Dewatering will be necessary during construction of the cut-and-cover sections and pumped drainage will be required due to the down-grade construction of tunnel drives.

Localized ground support measures will be necessary at both portals to ensure stability of the rock mass immediately above the portal openings (see Section 4.8).

3.3 Tunnel Cross Sections - Options

Several tunnel cross sections and a number of multiple tunnels were options considered in order to provide six lanes of traffic, shoulders of 1.5 m and 0.5 m, and dedicated emergency evacuation routes. The available options were narrowed down to the following:

- Twin, circular, three-lane tunnels and accompanying evacuation tunnels
- Twin, modified ellipse shaped, three-lane tunnels and accompanying evacuation tunnels.

The three-lane circular tunnels option was discounted as the overall diameter of the tunnels would have to be sized to allow for the 4.5 m height, by 13.1 m wide, 3-lane vehicle clearance envelope, resulting in an excavated diameter of near 17 m which is considered to be in excess of currently available TBM technology. The largest TBM built to date is 14.4 m diameter. Two circular tunnels of 17 m diameter, plus the 3.5 m diameter evacuation tunnel, would generate a total of 468 m² of excavation face. This compares unfavourably to the 300 m² generated by the twin modified elliptical option (see Figure 3).

3.4 Modified Elliptical Shape - Selected Option

The twin modified elliptical shape was selected as the most appropriate for this project. Historically, the Montreal limestone has been proven to be a good host material for tunnel construction. The excavated cross sectional area will be approximately 137 m² per running tunnel and the shape will efficiently use the space available to accommodate the following:

- 3-lane vehicular clearance envelope,
- ventilation (fresh air and exhaust) space,
- evacuation and maintenance walkways,
- roadway drainage and,
- signage and signal space.

The geological conditions present at the Notre Dame tunnel location permit this profile to be excavated using a combination of TBM and Sequential Excavation Method (SEM) techniques, in the 2.8 km limestone section. The initial excavation will create parallel circular tunnels driven by TBM with the pillar in-between and the curved roof removed by drill and blast and trimmed by road headers. The tunnels will be finished with a nominal 400 mm thick in-situ fibre reinforced concrete lining with a membrane waterproofing system behind.

3.5 Tunnel Ventilation

There are four systems commonly used to ventilate tunnels:

Natural Ventilation – Natural ventilation relies on meteorological conditions and the piston effect of traffic to ventilate the tunnel. Commonly used in short tunnels or long underpasses, tunnels longer than 240 m must have a mechanical ventilation system for smoke control. Consequently, natural ventilation is unsuitable for the Notre-Dame tunnels.

Longitudinal Ventilation – Longitudinal ventilation systems create a flow of air within the tunnel between the portals, sometimes assisted by one or more intermediate ventilation shafts. This system is most effective with unidirectional traffic. Longitudinal ventilation is generally not well suited for good smoke control in unidirectional tunnels over 850 m long or in bi-directional tunnels of any length. Consequently, longitudinal ventilation is not recommended for the Notre-Dame tunnels.

Semi Transverse Ventilation – This system uses a single duct along the entire length of the tunnel to uniformly collect or distribute air. In the case where fresh air is supplied to the tunnel from the duct, the ventilating airflow moves towards the portals through the main part of the tunnel collecting vehicle emissions as it goes. The resulting longitudinal airflows, ideally from the mid-length of the tunnel towards each portal, are sensitive to external winds and the predominant movement of vehicles in one direction through the tunnel. Under adverse operating circumstances, null points can develop and lead to extremely high concentrations of pollutants within the tunnel. Therefore the semi transverse system is not recommended for the Notre-Dame tunnels.

Fully Transverse Ventilation – A fully transverse ventilation system uses separate supply and exhaust ducts throughout the length of the tunnel, the distribution of ventilating airflows being independent of climatic conditions and the movement of vehicles. The ventilation concept shown in Figures 4 and 5 provides for fresh air ventilation, which is conveyed to road level via vertical ducts down the tunnel side wall. A second duct is required at high level to capture the return air including exhaust emissions. The resulting arrangement of supply and extract ducts at high level is, however, considerably more robust than the options offered by a semi-transverse ventilation system.

Ventilation shafts have been located at the approximate mid points of three equal length, zones of the 3.3 km tunnels. The shafts would contain the ventilation fans and exhaust and supply openings as well as emergency evacuation stairways. The latter would connect to the evacuation tunnels.

One of the ventilation shafts would likely contain the control centre, housing control displays and data collection systems for all tunnel operating elements including air quality monitoring, fire protection systems, CCTV monitoring, ventilation fan and damper operation, traffic signals and instructional displays and general communication functions.

Ventilation design for road tunnels is based on removal of carbon monoxide as the most noxious of the vehicle emissions. This is predominantly produced by gasoline fuelled vehicles. The requirement for dilution of carbon monoxide is established by ASHRAE '99. For short term exposures, 120 ppm is the allowable concentration.

A second concern is visibility, which is mostly affected by emissions from diesel fuelled vehicles. For diesel smoke 4 Dmg/m^3 (standard diesel smoke particles) has been used. This gives 90 m visibility of 4 cd/m^2 luminance surfaces.

Vehicle emission rates have been based on California emissions plus 50%. This is considered conservative. Vehicle mix is 85% cars and 15% trucks. General ventilation is governed by a completely congested tunnel with all engines idling.

The governing factor for the ventilation capacity, however is generally smoke removal during a fire.

The design was based on a 100 MW fire, which is equivalent to the fire intensity a fully laden truck may reach after a considerable time. Usually, for non-hazardous materials, a lower design load of 20 MW is used since this assumes that this would allow enough time for the public to escape before the fire has grown to its maximum intensity. Conservatively, the larger fire load has been used. Hazardous materials have been allowed for.

During a fire, both ducts are used to exhaust smoke and must be sized to ensure full smoke removal from a fire source.

Consequently, a fully transverse ventilation system, with balanced fresh air and exhaust ducting built into the ceiling void, is proposed for the Notre-Dame tunnel.

3.6 Tunnel Drainage

The tunnel lining includes a membrane waterproofing system, which will significantly reduce, if not eliminate, ingress of groundwater. The typical, drainage requirements are limited to water brought into the tunnels by vehicles. Unusual drainage requirements such as fire fighting water, portal sump overflow and washdown water would likely exceed the typical drainage needs. Washdown requirements are usually about 15 litres/sec. whereas fire fighting with 4 hoses would represent 60 litres/sec. At a 0.2% gradient this would require a 300 mm drainage pipe.

Road drainage would be via low profile catch basins connected to the collector drain. Continuous slot drains or channels are not preferred since they are problematic during flammable liquid fires.

For ease of maintenance, it would probably be preferable to route the drainage piping through the evacuation tunnels to the sumps at the tunnel low point. From this location, the water would be pumped to the portal sumps. The portal sumps would collect all drainage from the approach cuts and would contain oil separation and sedimentation features. From the portal sumps, the collected drainage would be pumped to a suitable entry sewer.

3.7 Tunnel Lighting and Wall Finish

Tunnel lighting systems for the vehicle tunnels will be provided in accordance with ANSI/IES RP-22 "American National Standard Practice for Tunnel Lighting 1996". The lighting scheme will incorporate increased lighting intensity within the threshold zone at the portals and a transition zone between the threshold and the typical lighting for the remainder of the tunnel. The threshold zone intensity is provided to allow the driver's eye to adjust to the darker tunnel. The length of this zone is a function of the design operating speed and for this tunnel would be 200 metres. The light intensity required is dependant on the orientation of the portal, the portal surroundings and the approach configuration and appearance. For this tunnel, the pavement luminance level would be approximately 300 cd/m² within the threshold zone and 10 cd/m² within the tunnel interior. To some extent, the design of tunnel lighting depends on the wall finishes with more reflective finishes requiring less light. For this study, painted concrete has been assumed. Prefinished panels, such as porcelain enamel would likely provide better lighting efficiency, but would require additional space.

For the evacuation tunnels, lighting will be provided in accordance with NFPA 101 "Life Safety Code (Section 5-9, Emergency Lighting)". This would include emergency lighting for the event of failure of the normal lighting.

3.8 Fire Protection

Fire hose connections are to be provided at 42.5 m intervals, (to suit the 85 m crosspassage spacing) along the vehicle tunnels. The fire hose cabinets will be located adjacent to the tunnel walkway. The hose cabinets will be heated and the connection pipe to the fire main will be heat-traced. A telephone and fire extinguisher will be located at the hose cabinets and the cabinet door will provide a door open alarm in the control room. The fire mains will be located within the evacuation tunnels. The fire main will either be heat-traced or the evacuation tunnel will be heated. Fire pumps will be located at the fire main supply points (likely the ventilation shafts) to boost the pressure and flow.

For smoke removal, both the exhaust and the supply fans will be set in the exhaust mode for the zone containing the fire. For the other zones the fans would be changed to supply, to maximize smoke removal.

In addition, the evacuation tunnels will be kept at a slight overpressure to avoid smoke ingress as the tunnels are accessed through the fire doors.

For protection of the structure, recent research after the Channel Tunnel fire has indicated that concrete linings survive intense fire exposure if reinforced with monofilament plastic fibres. It is believed that the fibres melt during a fire and the resulting passages provide relief routes for water pressure avoiding explosive break-up of the concrete. Such fibres will be included in all the permanent concrete work.

3.9 Operational Safety

The design speed limit for the running tunnels is 100 kph. Each running tunnel will include three lanes and a total width of 2.0 m of shoulder lane split into 1.5 m on the outside and 0.5 m on the inside of the tunnels. This additional lane width will be used to minimize blockages during a vehicle breakdown event. Walkways of 1 m in width are provided for both maintenance personnel and emergency egress.

The most applicable document available for emergency egress criteria is NFPA 502 "Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 1998".

NFPA 502 does not contain any explicit requirements for emergency exiting. The only specific provision is Clause 4-2c, which implies that certain provisions of NFPA 502 do not need to be met if "the maximum distance from any point within the tunnel to an area of safety does not exceed 120 metres. However, Chapter 9 of NFPA 502 requires the development of an emergency response plan to address any possible incident, of which many would require evacuation.

For comparison purposes, NFPA 130 "Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems, 2000", which applies to urban subways, requires that any point within the tunnel be within either 120 m from an area of safety or within 380 m from an exit to the surface. This might be used to justify a decision to not construct any special exiting provisions in tunnels less than 760 m long. However, the emergency response plan must consider the fact that in tunnels, road vehicles are considered to be a greater risk than trains. The risk arises from the greater number of movements in a road tunnel, the lower control that can be exerted over them, and the difficulty in barring dangerous materials.

In addition to the NFPA 502 requirements, recent European tunnel fires have resulted in a greater public awareness of tunnel hazards and an increased demand for improved safety provisions. In larger tunnels, a dividing wall or evacuation tunnel between opposing lanes, or separate tubes for opposing lanes, are often provided. The exits to a safe area can be provided at minimal cost by installing doors periodically in the centre wall, or by constructing cross passages between multiple tubes.

In the event of fire or other reason for tunnel evacuation, those vehicles able to, would drive out of the tunnel. Any remaining persons will egress the running tunnels via the walkway and the nearest cross passage into the central evacuation tunnel. The MTQ has taken an appropriately conservative approach to tunnel evacuation and has included two evacuation tunnels, one for each vehicle tube. These tunnels are to be connected to the vehicle tubes by cross passages at 85 metre centres. This facility would then exceed the requirements of both NFPA 502 and 130, in terms of emergency evacuation facilities. The cross passages would also inter-connect the vehicle tunnels at 500 m intervals.

Wheelchair access is provided directly off the roadway over the 200 mm high inside curb and into the cross passage without the need for steps. However, walkway steps are provided at either side of each cross passage to convey pedestrian traffic from walkway to cross passage elevation, a difference of approximately 1 m.

Emergency power systems will be required in the event of utility failure. These would include:

- > Dual electrical feeds
- > Uninterruptible power supply for emergency lighting and other essential control systems
- > Back-up generators for ventilation and drainage equipment.

3.10 Traffic Control, Fire Detection and CCTV

Traffic control inside the tunnel will be provided by electronic variable message signs, which will be sited above the traffic lanes. Messages concerning the following subjects will be displayed:

- > Lane control
- > Speed limits
- > Emergency closures
- > Safety instructions.

The signage will be controlled from a single control centre, which will be incorporated into one of the ventilation buildings. The control centre will also be equipped with real-time monitoring via CCTV cameras mounted at portals and strategic intervals along the running tunnels. Fire and smoke detection along with gas level monitoring and ventilation control will also be conducted in the control centre which will be fully staffed at all times.

4. CONSTRUCTION METHODOLOGY

4.1 Tunnel Excavation Methods

4.1.1 Tunnel Boring Machines

The TBM's that would be required for this project would be custom designed, but well within the current state-of-the-art, rock evacuation machines specially fabricated to suit the expected geotechnical conditions. Two machines, approximately 7.2 m diameter, and one approximately 3.5 m diameter will be required for the Notre-Dame tunnels. The smaller TBM will excavate one evacuation tunnel and this would be used as a pilot tunnel to confirm the rock conditions, detect zones requiring special attention, and to provide predrainage as necessary. The two larger TBM's will then simultaneously excavate the 2.8 km twin tunnels in the same direction for either the inbound or outbound elliptical tunnel.

The 3.5 m diameter TBM would be returned to the launch site to drive the second evacuation tunnel. Similarly, the two 7.2 m machines would be returned to the launch site to drive the twin circular tunnels of the second elliptical vehicle tunnel. Again the evacuation tunnel would be used as a pilot tunnel.

Consequently, each TBM will be required to perform 5.6 km of tunnelling. Such drive lengths are well within the capacity of modern TBM's, however, some refurbishment could be anticipated during the turnaround period. The tunnelling cost estimate is based on two new TBM's, which would be purchased at a rate of around \$10 Million each. Residual value on these machines is relatively small due to the specialized nature of their application and limited design life. Suppliers of rock TBM's of this size number approximately 10, of which one is a Canadian firm based in Toronto. Delivery times currently run at 9-15 months on average, depending on the overall size and complexity of the machine.

TBM's are highly complex machines and supply of the TBM's is generally left to the selected contractor, however, on some occasions, schedule advantage can be gained by owner procurement. TBM's supplied by an owner to its contractor generally creates difficult issues surrounding responsibility for performance. The TBM's are usually the most important items relative to successful completion of tunnel projects and it is highly advisable to involve specialist personnel when specifying and scheduling TBM's and production rates.

Temporary support using rock bolts in the crown and shoulders of the tunnels with fibre reinforced shotcrete is considered necessary for safety during this phase of the construction. This support would be erected off the TBM as close as possible to the tunnel face and is primarily to provide a safe working environment and stable surrounding rock mass prior to erection of the permanent concrete lining. Consequently, no trailing shield and segment erector equipment is included on the TBM as would be typical for soft or mixed ground TBM's.

Advance rates of 20 metres per day have been assessed for the 7.2 m diameter tunnels and 22 metres per day for the 3.5 m diameter tunnels. Vibrations produced by TBM mining and usually imperceptible and when perceptible are not considered objectionable.

4.1.2 Drill and Blast

After completion of the TBM mining, the pillar and roof section remaining between the twin 3 circular bored tunnels would be removed by drill and blast excavation to bring the inbound and outbound tunnels to their full cross-section.

This would be done using the Sequential Excavation Method (SEM), which involves subdividing the full face of the tunnel cross-section enlargement into two (or more) part-face sections. This is shown in Figure 7 with an upper section or 'heading' (respectively denoted 5 and 7 for the outbound and inbound tunnels) and a lower section or 'bench' (denoted 6 and 8). The heading and bench faces would be staggered or stepped along the tunnel alignment to allow them to be advanced simultaneously. The heading may need to further subdivided into two sections.

The advance achieved per day will be controlled by the span of the roof to be supported, allowable blasting hours and limits imposed upon vibrations. The primary concern and most common source of complaints associated with underground blasting relates to vibration. The level of vibration felt by area residents is affected by:

- The weight of explosive detonated per delay (number and length of holes)
- The quality of the rock being blasted
- The depth and transmissivity of the ground cover
- The distance between the blast area and residences.

The United States Bureau of Mines (USBM) has a long standing guideline vibration limit (as measured by the peak particle velocity or ppv) of 50mm/sec for residences near construction and quarry blasting. However, a more common and accepted limit, to minimize (but not eliminate) property damage claims and citizen complaints is 12 mm/sec. This limit is at the upper end of tolerable levels for daytime blasting. More restrictive levels would apply to night time blasting.

Based upon productivity issues alone, it is estimated that an average advance rate of 6 to 8 metres per day could be achieved (in each tunnel). However, to achieve the 12.5 mm/sec vibration level (with only 19 metres of overburden to the nearest residence), the amount of explosive per delay would be limited to an estimated maximum of 1.3 kg. On this basis and using an average powder factor of 1.2 kg/m³ (which considers the relief afforded by the previously mined TBM tunnels), the 12 mm/sec vibration level would limit the achievable advance per round to 2 metres.

Consequently, the 2 metre per round and hence 4 metre per day advance rate is considered to be the maximum rate achievable in each tunnel. Schedule savings will be achieved by multiple staging of drill and blast from the intermediate shafts. Further, a considerable and pro-active public relations effort would be necessary to reduce the possibility of work stoppages initiated by citizen complaints as the 12 mm/sec vibration limit would certainly be noticeable to residents.

To mitigate any property damage claims attributable to blasting, comprehensive pre- and post-construction condition surveys would be required. Vibration monitoring utilizing permanent and portable seismographs should be carried out with permanent accelerograms (digital) maintained for all blast events.

4.1.3 Cut and Cover

This technique involves excavating from the surface down to base-slab foundation in a sufficiently drained area, and building the rectangular shaped boxes (see Figure 5) from the bottom up. The excavation sidewalls are either pre-installed by diaphragm walling, contiguous piling techniques or formed as the excavation proceeds down, as in soldier piles and lagging techniques. In the latter case, 'H' section piles are normally installed in angled holes prior to commencing excavation.

An initial analysis of the soft ground sections indicates considerable variation of the deposits within the upper layers. It is likely, however, that localized ground treatment and a soldier pile and lagging approach is feasible. The cast-in-place, cut-and-cover structure will consist of reinforced concrete, with typical dimensions shown in Figure 5. Frequently wall and slab thicknesses are governed by the requirement for structure weight to counteract buoyancy forces.

Waterproofing can be achieved either by wrapping the entire structure in waterproof membrane or by deploying a proprietary system typically embedded into all construction joints. However, waterproof membranes are difficult to handle in the cut-and-cover environment but are not without precedent.

4.2 Tunnel Linings

4.2.1 Temporary Lining

The SEM tunnelling technique comprises small defined excavations, as described in 4.1.2 followed by temporary support. The temporary support is typically designed to suit the conditions encountered and may comprise any combination of the following:

- Rock bolts (variable centres and depths)
- Shotcrete immediately applied to exposed faces
- Additional shotcrete, mesh, spiles or lattice girders as required.

In addition, the SEM tunnelling technique requires instrumentation and monitoring of lining deformations and ground mass to be performed. Associated with the monitoring are continuous assessments and localized adjustments to the design according to the observed ground behaviour.

4.2.2 Waterproofing

The shotcrete provided in the temporary support stage also allows a relatively smooth surface against which to install a plastic waterproof membrane. This is required to prevent groundwater ingress into the tunnel space. The membrane is further protected from damage by the pre-installation against the shotcrete of a protection geotextile fabric. The membrane is typically jointed by fusion welding of overlapping joints. The joints are then pressure tested to ensure a proper seal. A drainage system is installed inside of the membrane to provide a level of redundancy for the system.

4.2.3 *Permanent Lining*

The permanent lining provides the following functions:

- Support of the surrounding rock mass
- Smooth finish to the tunnel sidewalls
- Support for ventilation duct ceiling panels
- Continuous waterproof member.

Initial assessment indicates that conventional reinforcement would not be required in the lining. The lack of continuous bar reinforcement offers substantial constructability advantage and lessens the likelihood of puncturing of the waterproof membrane.

Generally, the concrete would be finished to a smooth steel formed standard to provide a good surface for finishing products (paint, sealant, ceramic tiles or fabricated panels).

4.3 **Roadway**

The roadway will be constructed above a mass concrete or rock infill, building up the elevation of the tunnel invert to the required level for the vehicle clearance envelope. This roadway would be concrete placed by paving train with a 40 mm asphalt topping.

Roadway drainage will be provided by 2% minimum superelevation across all running surfaces into typical curb drain, which feed into low profile catch basins and finally into the tunnel sumps via piped subsurface collector drains.

4.4 **Ventilation Ducts**

Ventilation, as described in Section 3.5, is provided in the roof space. Two ducts of approximately 8.8 m² each have been allowed for in a fully-transverse system of ventilation. Precast concrete panels, one vertical at the tunnel crown and two near-horizontal, spanning from the underside of the centre panel to cast-in-place corbels, will create these ducts. The ceiling panels will be reinforced concrete cast-off site and lifted into position in the tunnels. The interface of the two horizontal and the single vertical panels will be constructed in a cast insitu soffit beam.

4.5 **Rock Removal/Disposal**

Rock removal from the TBM drives may be via construction railway or conveyor haulage. The grades in the tunnel will permit either system to operate. The use of conveyors is becoming more common and is very efficient provided appropriate maintenance is allowed for. A failure in the conveyor system shuts down the tunnel excavation whereas for a rail based system, it is possible to provide some redundancy. Conveyor systems have been used on large tunnels in North America such as in Chicago's TARP section.

Once the drill and blast operation commences, probably at multiple headings in each tunnel, the rock removal could be performed by loaders at the face and articulated heavy duty dump trucks out of the tunnels or by re-using the TBM muck haulage system. Haulage to disposal sites will be by standard road haulage trucks. Dump sites need to be established prior to tendering the construction contracts as this issue often causes contract claims and risk uncertainty. Environmental considerations in dump site selection are paramount.

An option for the excavated muck material would be to crush the clean excavated limestone at site and use in place of mass concrete for road base material. Another option for the material would be possible sale to aggregate suppliers.

4.6 Evacuation Tunnels

The emergency evacuation tunnels consist of 3.5 m excavated diameter tunnels, situated adjacent to the two running tunnels. The need for separate evacuation corridors is defined by safety requirements during a fire scenario. Cross passages allow access to the evacuation tunnel at approximately 85 m centres. This access is at roadway level to accommodate wheelchairs. The evacuation tunnel will also serve as a pilot bore, being driven by a 3.5 m diameter hard rock TBM as the first stage of evacuation. The 2.8 km drive is expected to take around eight months to complete and will provide valuable information on the precise rock conditions along the project alignment. This tunnel will be immediately supported by rock bolts and shotcrete as described in Section 4.2.1. Following hole-through a cast-in-place waterproof concrete lining and 1.65 m wide walkway in the invert will be installed.

The evacuation tunnel will also be used to convey services which will be wall mounted, and for passage of maintenance crews.

Positive ventilation pressure in the evacuation tunnel will be maintained by fans, pressure will be maintained marginally above the prevailing pressure in the running tunnels so that doors can be opened without excess effort.

4.7 Cross Passages

As outlined in Section 3.9, there are no explicit rules for frequency of emergency exiting from road tunnels such as the Notre-Dame project. Cross passages connecting the vehicle tunnels to the evacuation tunnels are provided at 85 m intervals. Cross passages between the vehicle tunnels are provided at 500 m intervals. The cross passages will be excavated by drill and blast after completion of the main drives. Small rubber wheeled front-end loaders will remove the excavated rock into the main tunnels for collection and disposal.

The cross passages will be temporarily supported and concrete lined in the same way as the evacuation tunnel. Emergency access fire rated doors will be provided within the cross passages.

4.8 Portal Works

The portals have been located in the most suitable positions allowing for the localized ground conditions and the presence of railway yards with multiple tracks. At the west end, the crossing of the CP tracks will be achieved by tunnelling methods, avoiding the need for track relocations.

The west portal will be constructed in the soft overburden conditions at the end of a 500 m section of cut-and-cover tunnels. The portal will be approximately 14 m deep from surrounding ground level to road level.

The east portal will be constructed almost entirely in rock as the limestone rises to near surface at this location. Depth to road level at the east portal is also approximately 14 m.

The portal construction will be established by different methods due to the different ground conditions:

West Portal – Soldier pile and lagging or caisson walls would be augered and concreted with unreinforced sections or “eyes” left for the tunnel openings. Soil nails, tiebacks and rock anchors would be provided, with temporary strutting and rakers as necessary. After tunnelling, the portal ventilation building would be constructed against the excavation support elements. Dewatering will be required throughout construction.

East Portal – Drill and blast excavation with shotcrete, mesh and rock anchors applied to the excavation face, again allowing eyes for the tunnel openings with temporary brace and raker supports. After tunnelling, the portal structure will be constructed against the excavation face.

4.9 Ventilation Control Centre Structures

These will be sited along the tunnel alignment. The fresh air intakes and fans along with the exhaust stacks will be accommodated within these structures. The exhaust stacks will discharge at roof level, which is approximately 10 m above ground level. If necessary the discharge points can be raised using exhaust stack extensions.

The Control Centre housing control panels for all signalling, CCTV monitoring, ventilation plant, communications, fire and gas detection systems will be housed within the east portal building. Buildings are constructed of reinforced concrete with architectural design to blend into the neighbourhood with sprayed concrete colour finishes. An approximate cost of \$2 M each for these buildings has been included in the estimate although this has not been estimated in detail.

4.10 Ground Treatment

The evacuation tunnel will serve as a pilot tunnel and if areas of poorly fractured rock or major water bearing fissures are encountered during the drive, there would be the opportunity to conduct grouting from within this tunnel across into the running tunnel profiles prior to their excavation. No other major ground treatment in the rock sections should be necessary.

At the soft ground cut-and-cover sections dewatering and/or grouting will be required prior to excavation. The boreholes indicate large deposits of permeable sand, silts and tills directly connected to the hydrostatic head and it is assumed that some treatment may be necessary to improve the vital properties of this material.

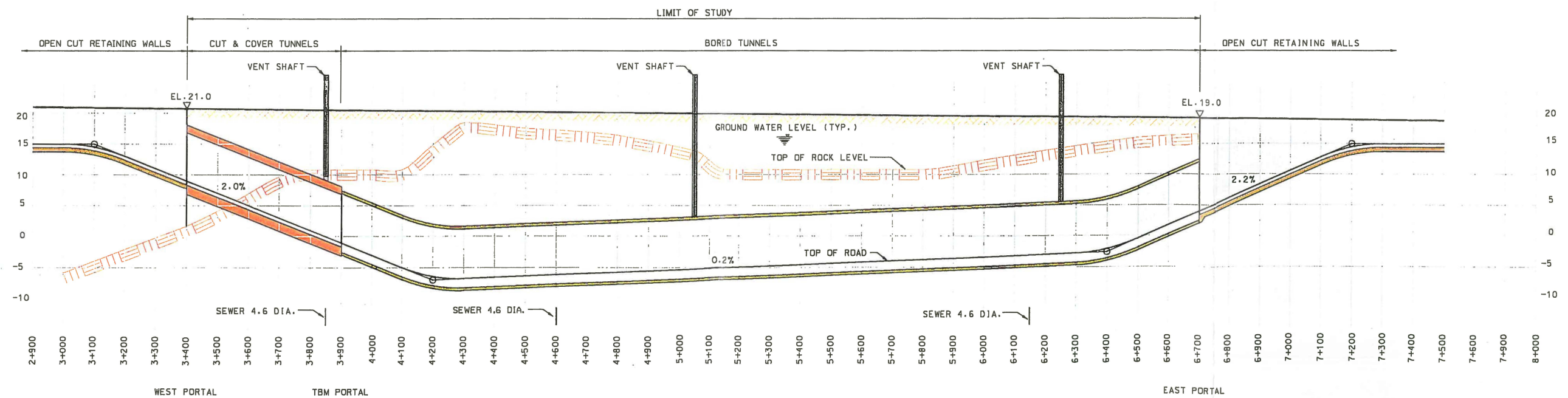
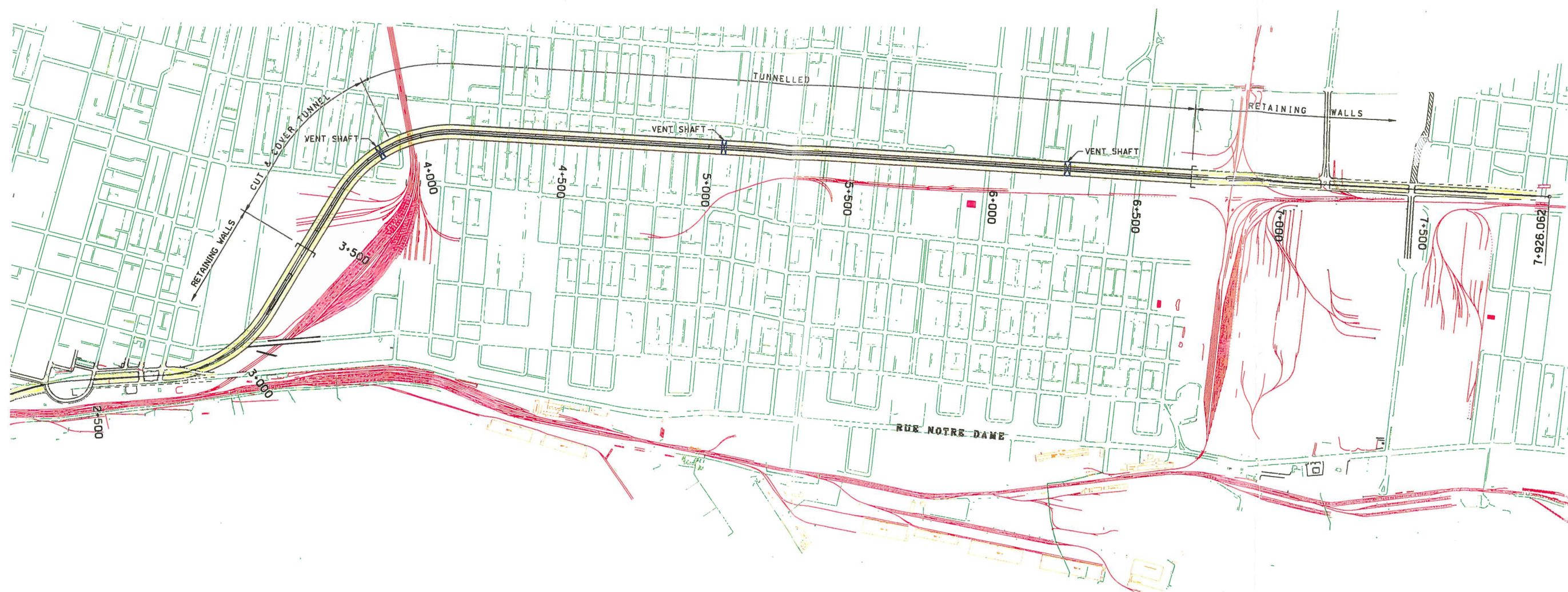
At the portals, various combinations of soft ground and hard rock support have been assumed, as described in Section 4.8.


B.L. Garrod

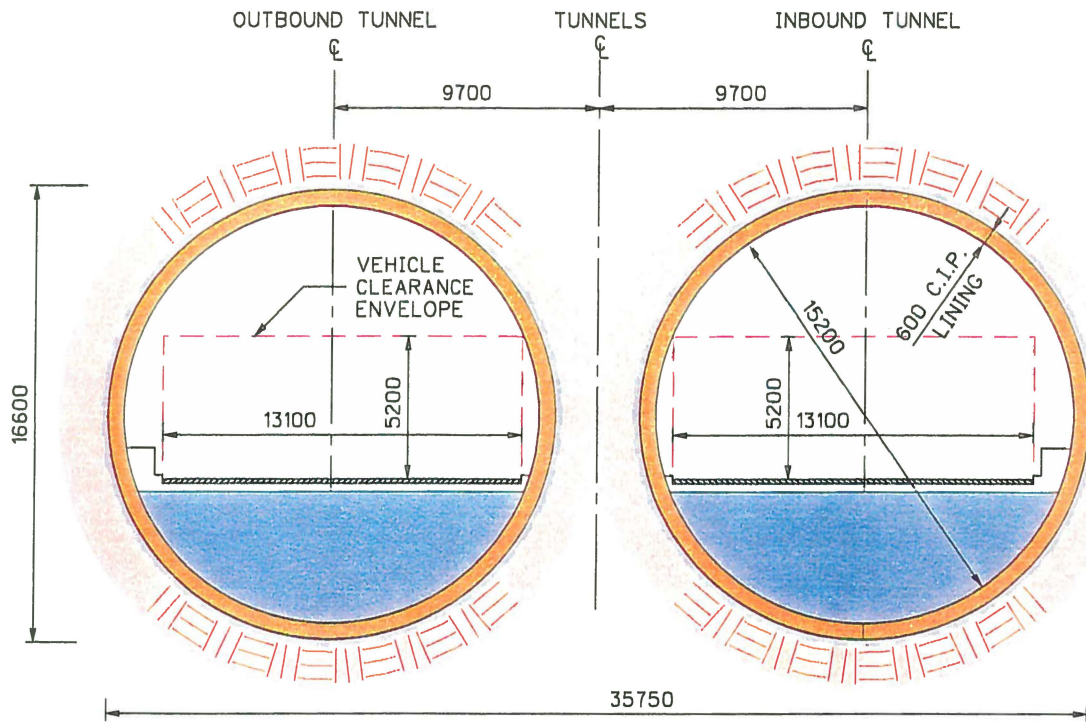
BLG:vem
Attachments



	NOTRE DAME TUNNEL MODERNISATION DE LA Rue NOTRE DAME TUNNELS		FIGURE NO. <div style="text-align: center; font-size: 24pt;">1</div>
			DATE 10 AUGUST 2000

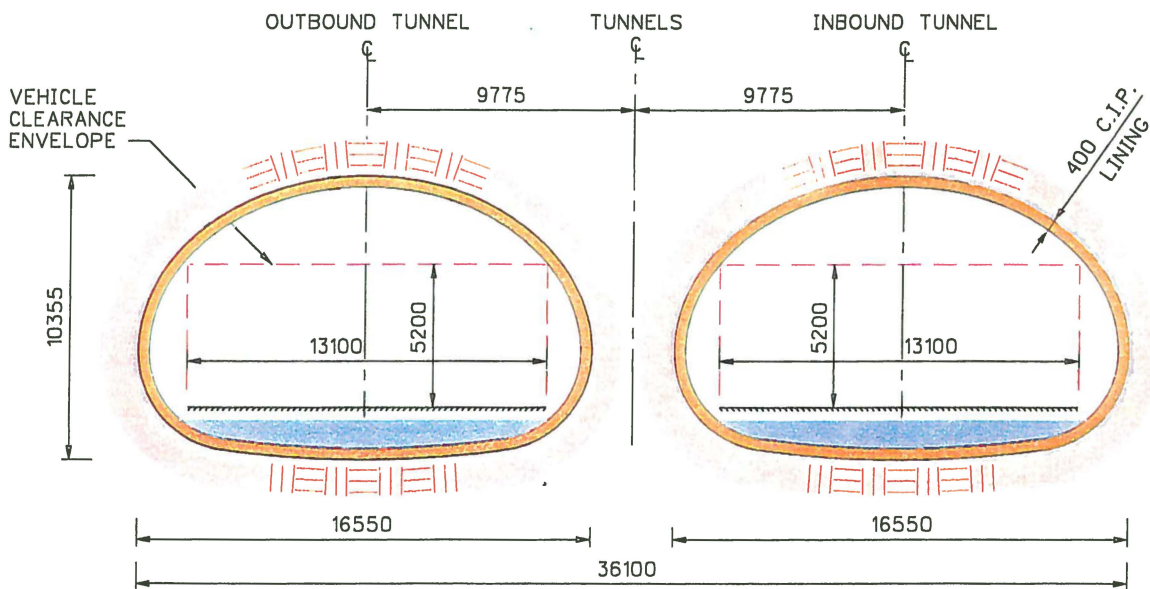


	NOTRE DAME TUNNEL TUNNELS PLAN AND PROFILE		FIGURE NO. <div style="text-align: center; font-size: 24pt;">2</div>
			DATE 10 AUGUST 2000



THREE LANE CIRCULAR TUNNELS

EVACATED AREA = 463m²



THREE LANE ELLIPTICAL TUNNELS

EVACATED AREA (incl. service tunnels) = 300m²



**NOTRE DAME TUNNEL
TWIN CIRCULAR & TWIN ELLIPTICAL
CROSS-SECTIONS**

FIGURE NO.

3

DATE

10 AUGUST 2000

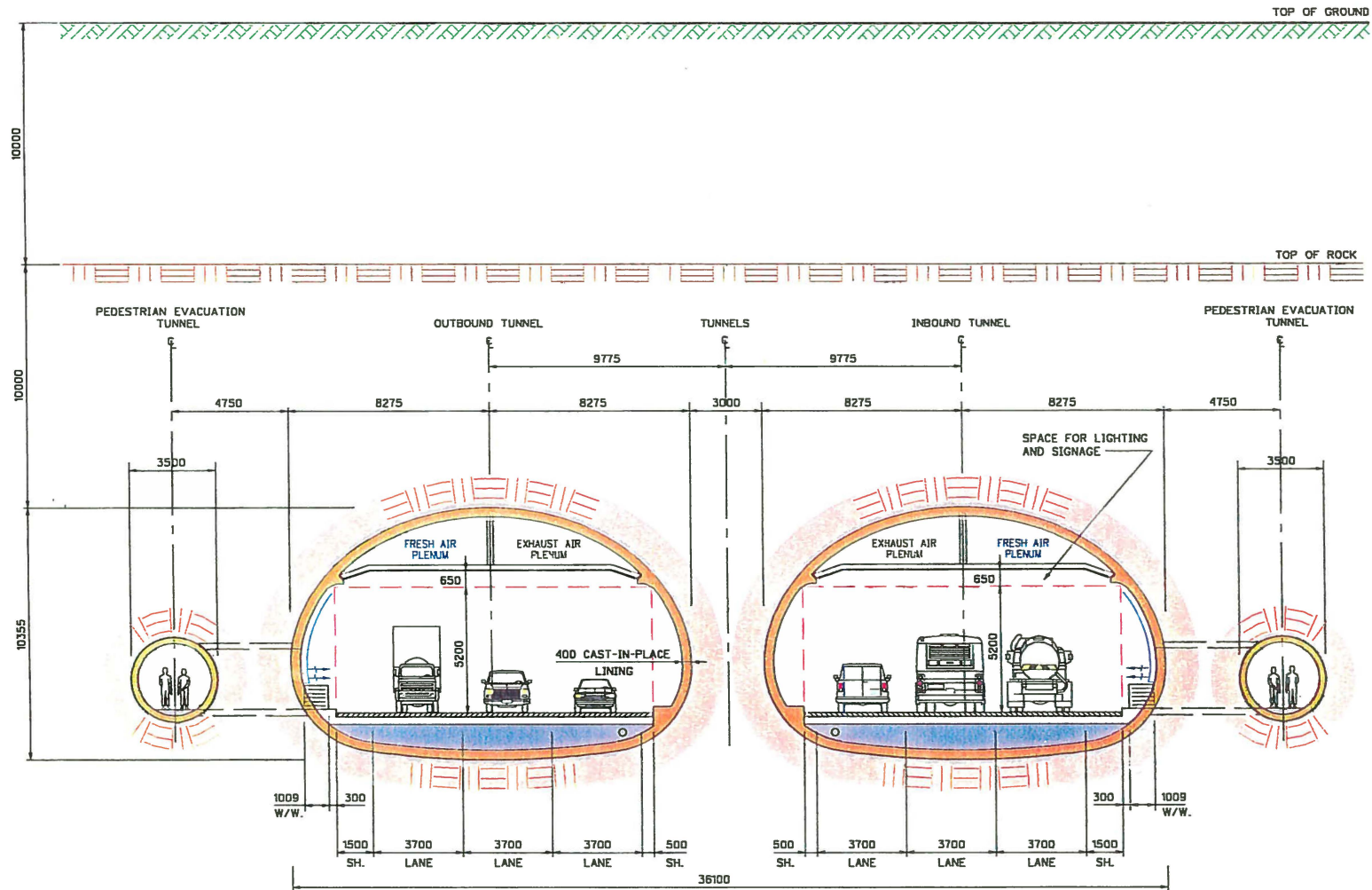


NOTRE DAME TUNNEL
 THREE LANE ELLIPTICAL TUNNELS
 TYPICAL CROSS-SECTION

DATE
 10 AUGUST 2000

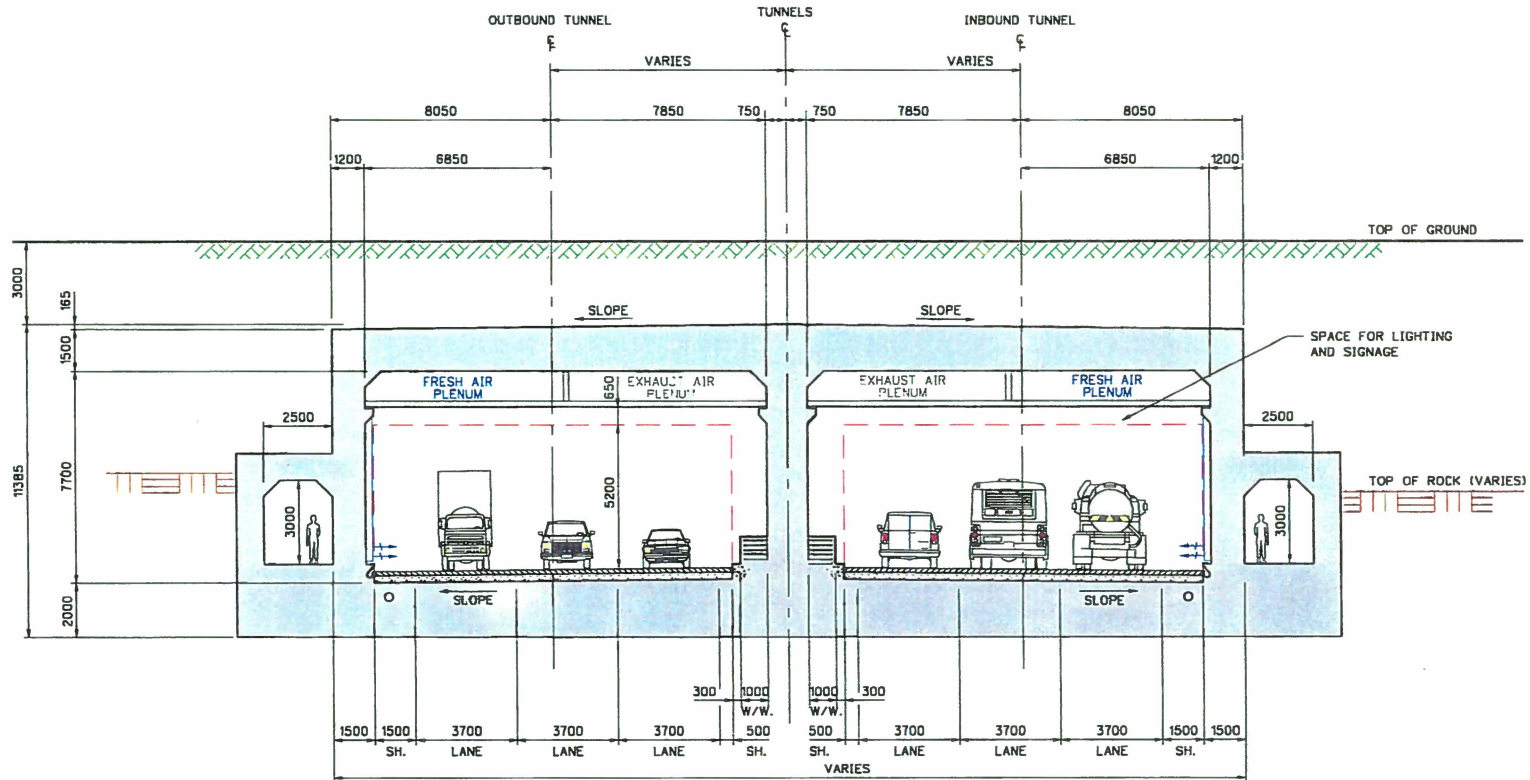
FIGURE NO.

4



THREE LANE ELLIPTICAL TUNNELS

NOTRE DAME TUNNEL
 CUT AND COVER
 TYPICAL BOX SECTION



THREE LANE CUT & COVER TUNNELS

FIGURE NO.

5

DATE

10 AUGUST 2000

Table of Dimensions of Similar Major Vehicular Tunnels

<i>Tunnel Name & Location</i>	<i>No. of Tubes</i>	<i>Route Length (km)</i>	<i>No. of Lanes/Tube</i>	<i>Shoulder/Walkway Widths (m)</i>	<i>Lane Widths/Tube (m)</i>	<i>Breakdown Lane?</i>	<i>Construction Status</i>	<i>Height from Road Surface to Soffit</i>	<i>Notes</i>
Cassier Conector Vancouver, BC	1	0.73	2 (+1 future centre lane)	1.23 (L)/1.10 (R)	2@ 3.65 + 1@ 3.65 (future)	No (use future space in interim)	Completed about 1992	5.20	Arch
Cumberland Gap Virginia/Tennessee, USA	2	1.25 (average)	2	0.61 (L)/1.22 (R)	2 @ 3.65	No (squeeze along right shoulder)	Completed 1993	5.1	Arch
Glenwood Canyon Tunnel, Hanging Lake Tunnel Colorado, USA	2	1.22	2	1.07 (L)/1.83 (R)	2 @ 3.66	No (squeeze along right shoulder)	Completed 1992	5.03	Arch
Third Harbor Artery (Ted Williams) Tunnel Boston, MA, USA	2	1.2	2	2 @ 0.76	2 @ 3.35	No	Completed 1998	5.0 (approx.)	Immersed tube
A86 Periferique Tunnels, Paris, France	2 (one first, second future)	10.1	3 per deck x 2 decks	2 @ 0.7	3 @ 2.9 m per deck x 2 decks	No	Started early 1997	2.6m	First (east) tunnel light vehicles; second (west) tunnel all vehicles. Tube dia. = 10.1 m
Branisko Tunnel Slovakia	2	5	2 (1 started, 1 future)	2 @ 1.0	2 @ 3.75	No	Started 1996	4.5 m (approx.)	Arch
Trans-Andes Tunnel	2	8.5 to 24.5	2	2 – maintenance walkways only	Not given	No	Planning	No soffit	Arch Alternative: Railway Tunnels
Drogen Immersed Tube Copenhagen	2 – Highway 2 – Rail	Cross Harbor – not given	2	Not given	Not given 2 @ 3.4 (est.)	No	Started 1996	No soffit	Estimated from scaled diagram
Hvalfjordur Iceland	3 lanes to 2 lanes with emergency bays in latter	5.8	3 and 2	2 @ 1.3 (approx.)	3 @ 3.0 2 @ 3.25	No	Under construction in 1996	4.75 to jet fans	Arch
Fatima Tunnels Norway	1 – undersea 2 – land	Undersea: 6.82 Land: 4.54 (total)	2	2 (?) @ 1.0	2 @ 3.0m	No	Started May 1995	Not given	Presumed arch
BOT tunnels Lyons, France	2	3.22	2	Not given (1m + est.) or other combination	2 @ 3.9 (est.) = 7.8 roadbed	Not given	Under construction December 1995	>4.6m	Circular 9.82 m (D)
Stockholm Sweden Ring Road Tunnels	2	14	3	1.0 (L)/2.0 (R) hard shoulders	3 @ 3.35	Use 2 m hard shoulder?	Started (?) 1995	Not given	Arch
Sachseln Tunnel Switzerland	1	5.19	4	2 @ 0.72	3.3/3.75/3.75/3.3	No	Under construction in 1994	5.5 (approx.)	Arch Two-way traffic; 6 emergency bays; 35 emerg. call niches
Pen-Y-Clip Tunnels A55 Expressway N. Wales, UK	1	0.93	2	1.0 m (L)/1.57 (R) on high curb	2 @ 3.65	No	Completed 1993	5.1	Arch Drive on LHS
Dallas Texas	2	2.4	3	2 @ 1.0 (approx)	3 @ 3.64 1 @ 3.04	Yes	In design	5.02 m	Arch
Melbourne Australia	2	3.4	3	1.0 m (R)	3 @ 3.65	No	Completed 2000		Arch
Bomlaafjord Norway		7.8					Under construction May 2000		Arch
Driskos, Dodoni Greece	2	4.5	2				Under construction June 2000		Arch
Westerschelde, The Netherlands	2	1.1	2				Completed		Immersed Tube

(L) Left (R) Right



NOTRE DAME TUNNEL
LIST OF SIMILAR TUNNELS

FIGURE NO.

6

DATE

10 AUGUST 2000

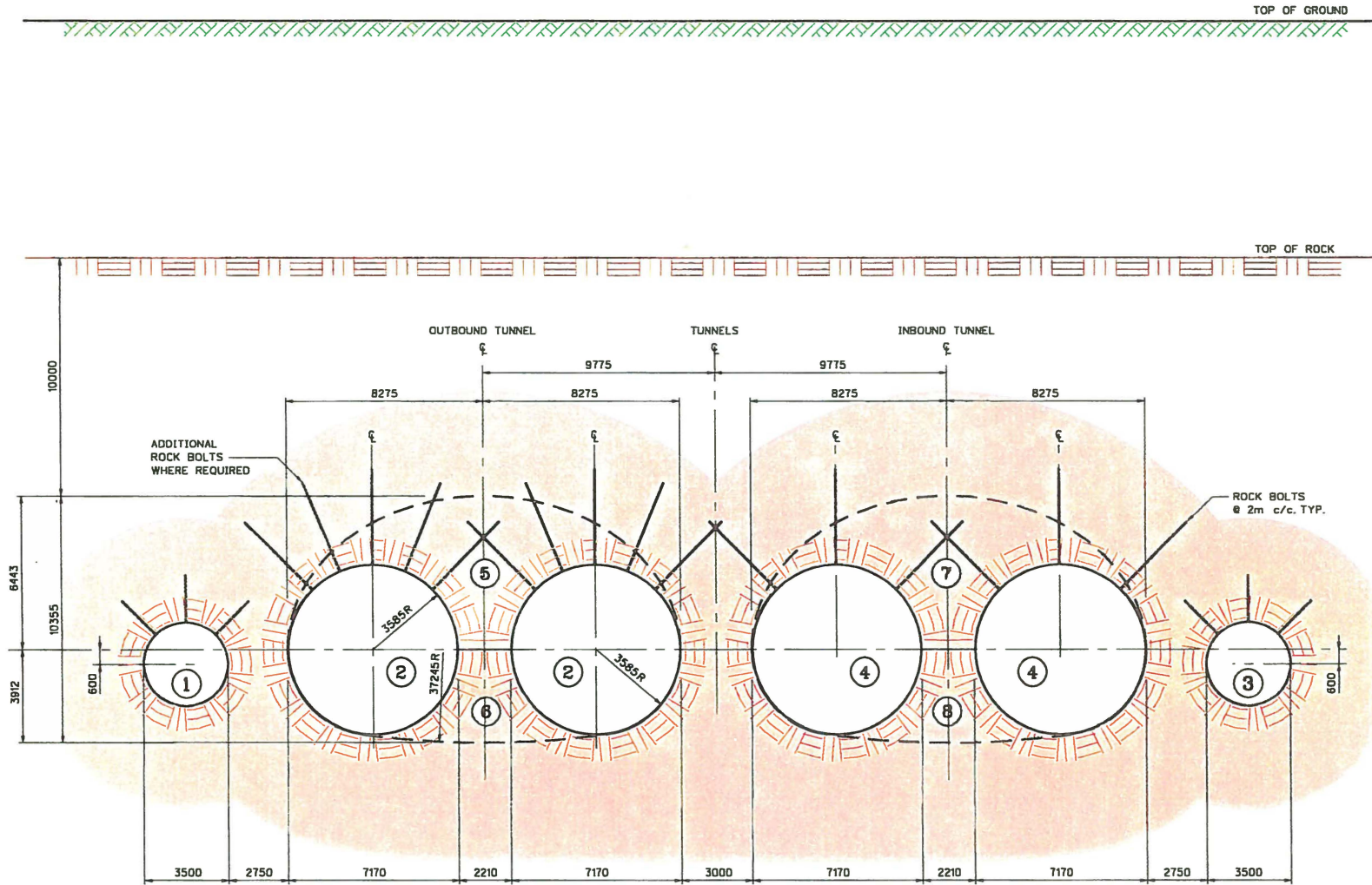


NOTRE DAME TUNNEL
THREE LANE ELLIPTICAL
CONSTRUCTION METHODOLOGY

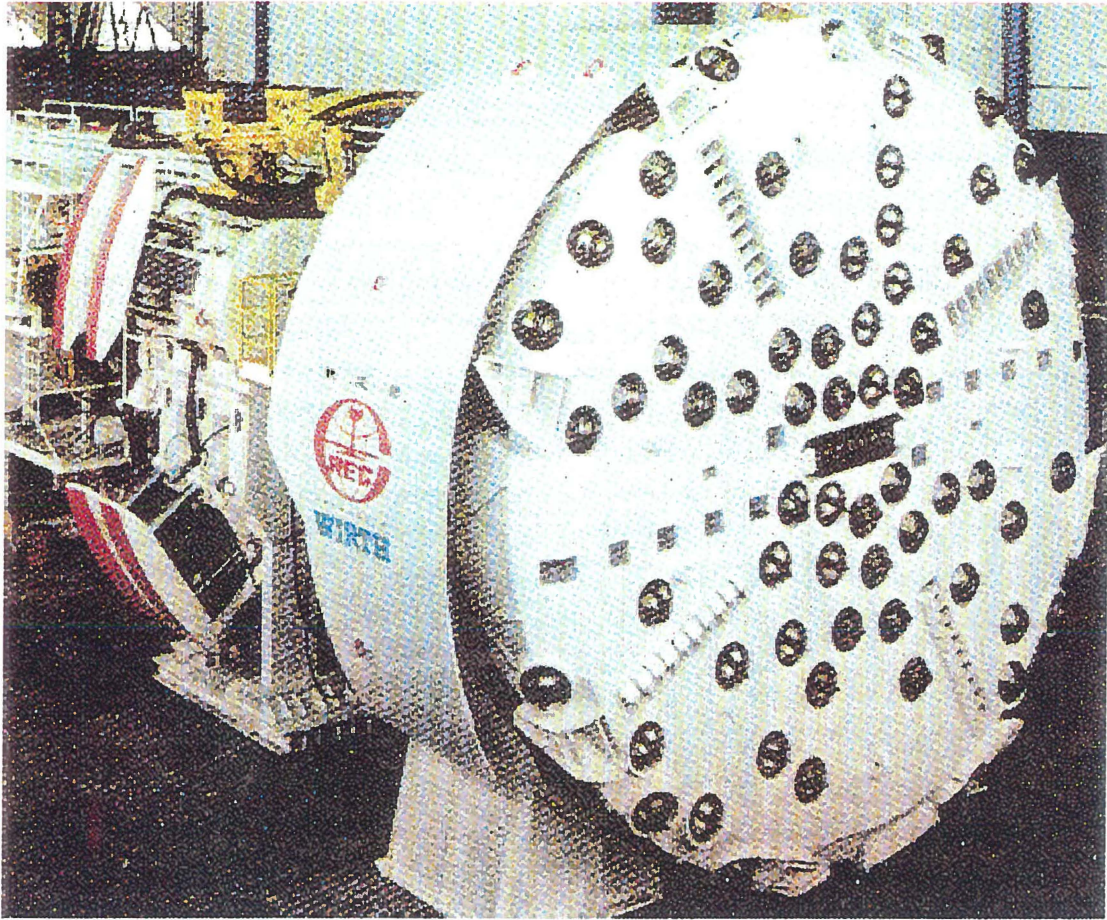
DATE
10 AUGUST 2000

FIGURE NO.

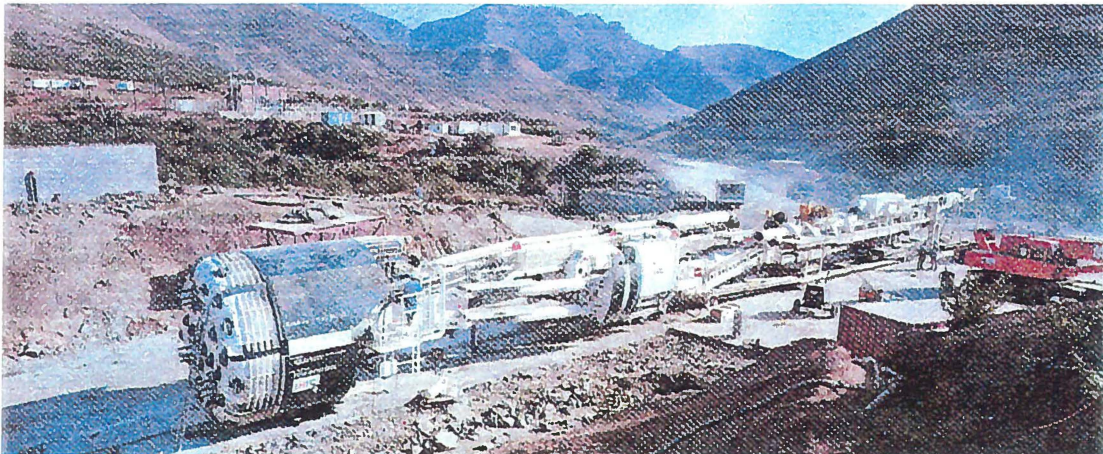
7



THREE LANE ELLIPTICAL TUNNELS
 TUNNELLED AREAS $4 \times 40m^2 + 2 \times 10m^2 = 180m^2$
 PILLAR & ROOF EXCAVATED AREA $2 \times 140m^2 - 4 \times 40m^2 = 120m^2$
EXCAVATION STAGES 1 - 8



CUTTING HEAD



ASSEMBLED TBM



NOTRE DAME TUNNEL

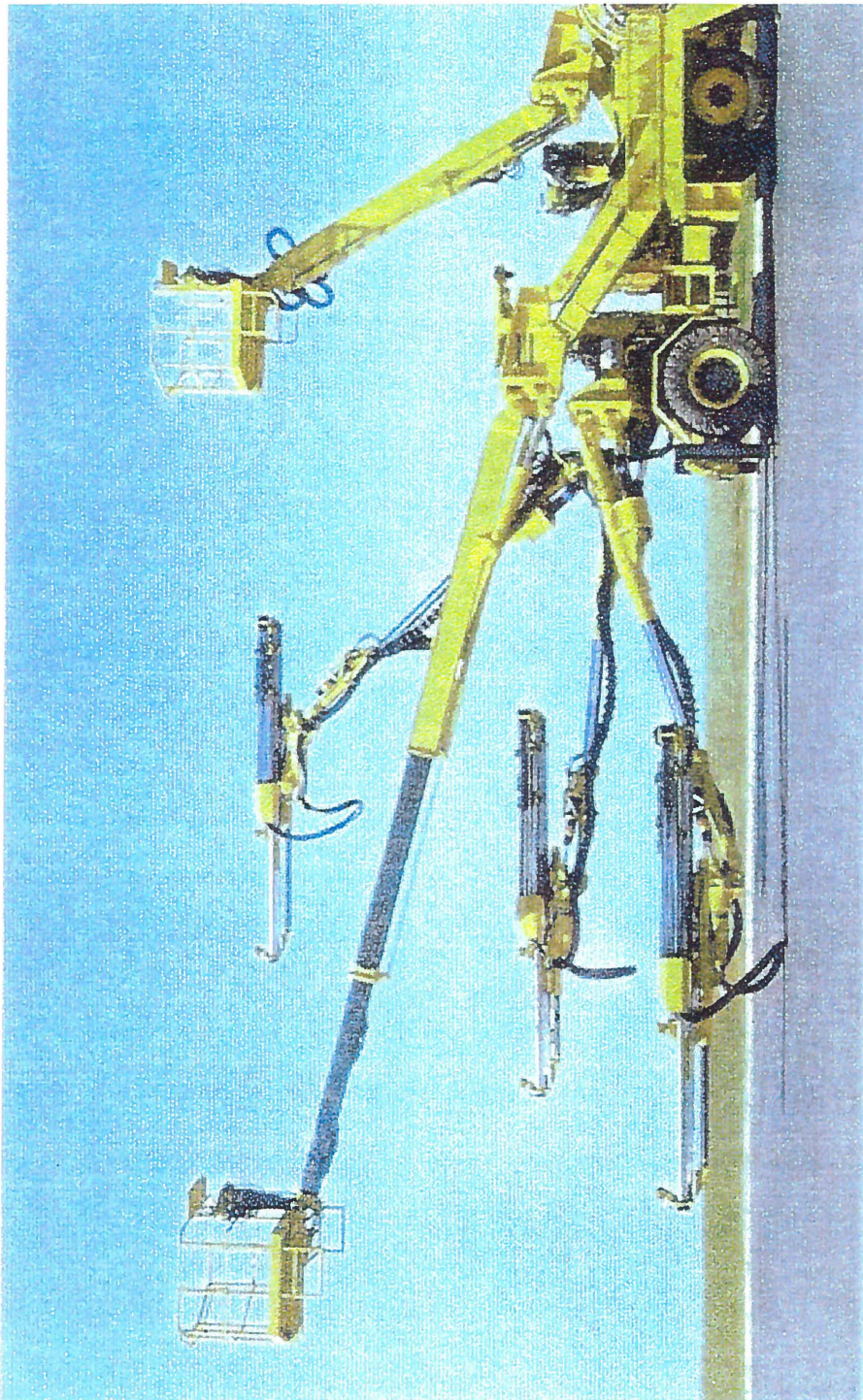
ROCK TBM EXAMPLES

FIGURE NO.

8

DATE

10 AUGUST 2000



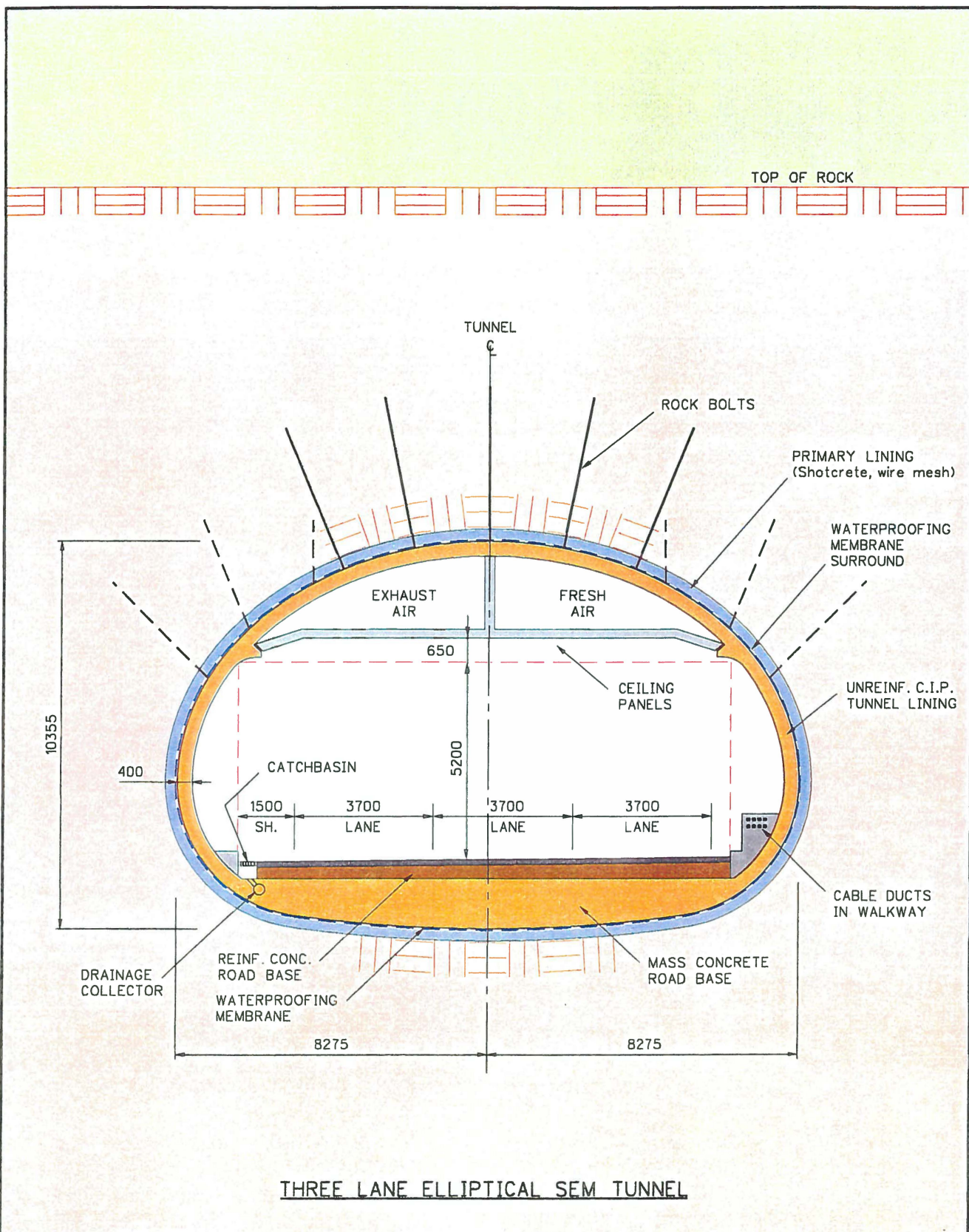
NOTRE DAME TUNNEL
DRILLING JUMBO EXAMPLE

FIGURE NO.

9

DATE

10 AUGUST 2000



NOTRE DAME TUNNEL
THREE LANE SEM TUNNEL
TYPICAL CROSS-SECTION

FIGURE NO.	10
DATE	10 AUGUST 2000



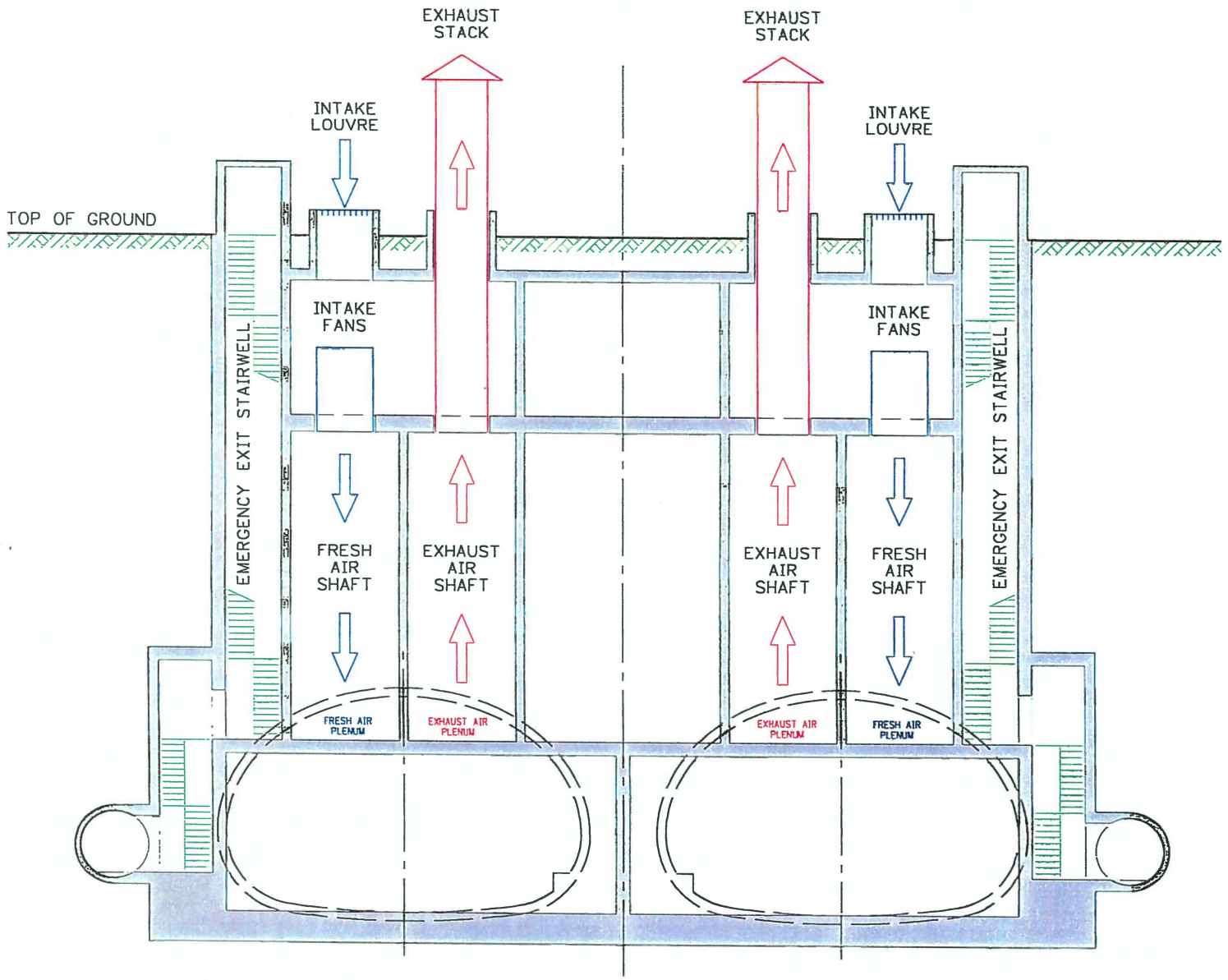
NOTRE DAME TUNNEL
VENT SHAFT STRUCTURE
TYPICAL SECTION

FIGURE NO.

12

DATE

10 AUGUST 2000



APPENDIX A

VENTILATION CALCULATIONS

TUNNEL VENTILATION

VEHICLES IN TUNNEL

(CARS ONLY)

Total tunnel length 3300 m
Tunnel elevation above sealevel 25 m

	Approach 1	Approach 2	Tunnel	Approach 3	Approach 4
Gradient (%)	-3		0		3
Length (m)	400		2500		400
No. of lanes	3				

Traffic Speed	CO Emission /car	Car Spacing	No. of Cars	CO Emission in Tunnel
(km/hr)	(cm ³ /sec)	(m)	(/km/lane)	(cm ³ /s)
0	40	6.6	152	60000
10	50	10.6	94	46523
20	55	15.7	64	34726
30	60	20.7	48	28668
40	62	25.8	39	23828
50	65	30.8	32	20893
60	70	35.8	28	19336
70	75	40.9	24	18163
80	80	45.9	22	17247
90	125	51.0	20	24284
100	280	56.0	18	49500

Emissions based on California emissions +50%

Conclusion : Design for CO emission rates as follows:

	Altitude correction	Adjusted CO
0 to 100 km/hr	1.10	66000

DILUTION REQUIRED

Criteria for CO dilution

0 to 100 km/hr use 120 ppm ASHRAE '99

Dilution:

0 to 100 km/hr 550000000 cm³/s
550 m³/sec

VEHICLES IN TUNNEL

	85% CARS	15% TRUCKS	TOTAL
Number of vehicles	67	12	79
Speed	60		
Length required	2401	603	3004

DIESEL POLLUTION VISIBILITY

Speed	Required Visibility	Diesel Pollution
(km/hr)	(m)	(Dmg/m ³)
60	90	4

Pollution:

	Approach 1	Approach 2	Tunnel	Approach 3	Approach 4
Gradient (%)	-3		0		3
Length (m)	400		2500		400
Number of diesels	1		9		1
Pollution (Dmg/s/lane)	50		409		131
Pollution (Dmg/s)	151	0	1227	0	393
Total (Dmg/sec)	1771				
Required Dilution (m ³ /sec)	443				
Altitude Correction	1.00				
Required Air (m ³ /sec)	443				

(using 15% diesel at 15 ton ave weight)

Governing requirement 550 m³/sec

LONGITUDINAL VENTILATION

TUNNEL AIR VELOCITY

Area of tunnel, A	120 m ²
Mean velocity, v	4.58 m/sec
Maximum v allowed	8 m/sec

IF MAXIMUM VELOCITY EXCEEDED USE TRANSVERSE VENTILATION

If transverse ventilation used, use following for area below ceiling

Area of tunnel, A	75 m ²	
Mean velocity, v	7.33 m/sec	only applicable to emergency ventilation
Maximum v allowed	m/sec	

SMOKE CONTROL (Generally applicable for longitudinal ventilation but has been proven to also apply to transverse ventilation)

Assumed fire size MW

Area of tunnel, A	88 m ²	Use area for longitudinal or transverse as applicable
Specific heat of air, c _p	1.01 kJ/kg.K	
Accel. due to gravity, g	9.8 m/s ²	
Height of tunnel, H	5.8 m	
K ₁	0.608	
K ₂	1.13	
Heat of fire, q	100000 kW	
Temp. of approach air, T	<input type="text" value="243"/> K	
Density of approach air, ρ	1.1 kg/m ³	

If T _i =	250	249.3	249.27	249.269	249.2692
V _c = K ₁ K ₂ (gHq/ρc _p AT _i) ^{1/2}	4.243442591	4.247410546	4.2475809	4.247587	4.2475855
T _r = (q/ρc _p AV _c) ^{1/2} + T	249.2712858	249.2693323	249.26925	249.2692	249.26925
If V _c =	4.243442591	4.247410546	4.2475809	4.247587	4.2475855

Temp. of fire site gases, T_i K
 Critical velocity, V_c m/s

Area of tunnel, A	86 m ²
Specific heat of air, c _p	1.01 kJ/kg.K
Accel. due to gravity, g	9.8 m/s ²
Height of tunnel, H	5.8 m
K ₁	0.608
K ₂	1.13
Heat of fire, q	100000 kW
Temp. of approach air, T	<input type="text" value="263"/> K
Density of approach air, ρ	1.1 kg/m ³

If T _i =	269	269.3	269.32	269.323	269.3234
V _c = K ₁ K ₂ (gHq/ρc _p AT _i) ^{1/2}	4.141085922	4.139547629	4.1394452	4.13943	4.1394277
T _r = (q/ρc _p AV _c) ^{1/2} + T	269.3225357	269.3233187	269.32337	269.3234	269.32338
If V _c =	4.141085922	4.139547629	4.1394452	4.13943	4.1394277

Temp. of fire site gases, T_i K
 Critical velocity, V_c m/s

Area of tunnel, A 86 m²
 Specific heat of air, c_p 1.01 kJ/kg.K
 Accel. due to gravity, g 9.8 m/s²
 Height of tunnel, H 5.8 m
 K₁ 0.606
 K₂ 1.13
 Heat of fire, q 100000 kW
 Temp. of approach air, T 283 K
 Density of approach air, ρ 1.1 kg/m³

If T_i = 289 289.4 289.37 289.374 289.3741

V_c = K₁K₂(gHq/ρc_pAT_i)^{1/3} 26.7320083 (1/T_i)^{1/3}
 T_i = (q/ρc_pAV_c)^{1/3} + T 10.15303375 (1/V_c)^{1/3} + T

V_c = 4.043266695 4.041403009 4.0415427 4.041524 4.0415236

T_i = 289.3731172 289.3740967 289.37402 289.374 289.37403

If V_c = 4.043266695 4.041403009 4.0415427 4.041524 4.0415236

Temp. of fire site gases, T_i 289.37 K
 Critical velocity, V_c 4.04 m/s

Area of tunnel, A 86 m²
 Specific heat of air, c_p 1.01 kJ/kg.K
 Accel. due to gravity, g 9.8 m/s²
 Height of tunnel, H 5.8 m
 K₁ 0.606
 K₂ 1.13
 Heat of fire, q 100000 kW
 Temp. of approach air, T 303 K
 Density of approach air, ρ 1.1 kg/m³

If T_i = 309 309.4 309.42 309.421 309.4217

V_c = K₁K₂(gHq/ρc_pAT_i)^{1/3} 26.7320083 (1/T_i)^{1/3}
 T_i = (q/ρc_pAV_c)^{1/3} + T 10.15303375 (1/V_c)^{1/3} + T

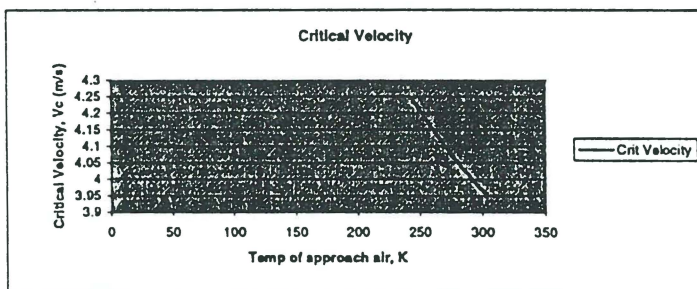
V_c = 3.954080534 3.952375822 3.9522907 3.952286 3.9522834

T_i = 309.4206775 309.4216005 309.42165 309.4216 309.42165

If V_c = 3.954080534 3.952375822 3.9522907 3.952286 3.9522834

Temp. of fire site gases, T_i 309.42 K
 Critical velocity, V_c 3.95 m/s

Temp of approach air, T	Crit Velocity
243	4.25 m/s
263	4.14 m/s
283	4.04 m/s
303	3.95 m/s



Therefore design for 4.25 m/s for transverse ventilation

TRANSVERSE VENTILATION

Normal ventilation

Number of zones 3
 Air volume required 183 m³/sec
 Maximum duct air velocity 30 m/sec
 Required duct area 6.1 m²
 Provided duct area 7.7 m²
 Actual velocity 23.8 m/sec

Emergency ventilation

Number of zones 3
 Air volume required 319 m³/sec
 Check rule of thumb 512 m³/sec (0.155 m³/sec/lane/m)
 Provided duct area 15.4 m² both ducts exhaust
 Maximum duct air velocity 33.2 m/sec Ok for emergency

TUNNEL SURFACE FRICTION

Periphery of tunnel, P	40 m			
Hydraulic Diameter, D_h	12.0 m			
Reynolds number, R_e	3.67E+06			
Roughness, ϵ	1700 μm			
ϵ/D_h	141.666667			
Friction, f	0.02 (from chart)			
Air density	1.1			
Pressure drop, Δp	64 Pa	Losses		7626 N

CHECK PRESSURE LOSSES

	K	Loss		
Entry	0.95	2.39		
Exit	1	2.52		
Expansion		0.00		
Contraction		0.00		
Total	4.92	Pa	Losses	590 N

CHECK ON VEHICLE DRAG

	Speed	No of Vehicles	Drag Coeff	Frontal Area	Drag
Drag for cars	0	455	0.5	3.5	18933 N
Drag for trucks	0	240	0.8	10.8	32909 N
For 15% trucks 85% cars					21030 N
			Total losses		29245 N

CHECK FOR TRANSVERSE DISTRIBUTED INTAKE OR DISCHARGE

Periphery of duct, P	15 m			
Hydraulic Diameter, D_h	1.6 m			
Reynolds number, R_e	3.61E+06			
Roughness, ϵ	1700 μm			
ϵ/D_h	1043.181818			
Friction, f	0.018 (from chart)			
Air density	1.1			
Pressure drop, Δp	2457 Pa	Total losses		18922 N

FAN SELECTION

Number of fans per duct	3
Capacity required	85 m^3/sec
Thrust required	6307 N
Fan Diameter	2.5 m
Fan Area	4.90625 m^2
Total pressure	1286 Pa

Using Woods 50 Hz truly reversible fans

Use 2.5 m diameter 700 kW fans, 3 per duct

APPENDIX B

PROJECT SCHEDULE

Notre Dame Tunnel Schedule

