

Inspection

A. M. Vaysburd - B. Bissonnette

Pièce COM-70

Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

Québec

Benoît Bissonnette

Curriculum vitae

*Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde*

Québec 

Formation académique

- B.Sc.A. (Génie civil), Université Laval, 1990

- Ph.D. (Génie civil), Université Laval, 1996

- **Titre de la thèse :**

"Le fluage en traction : un aspect important de la problématique des réparations minces en béton"

Expérience professionnelle



UNIVERSITÉ
LAVAL

Professeur agrégé

Département de génie civil,
Université Laval



Chercheur principal

Centre de recherche sur les
infrastructures en béton (CRIB)

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets de recherche impliquant l'évaluation de la condition du béton

M.Sc.

8 projets depuis 2000

Ph.D.

5 projets depuis 2000

Projet SBIR avec la US Navy

Projet CREEP Phases 2 et 3

Expérience professionnelle *(suite)*

Conseiller scientifique pour le Service d'expertise en matériaux (S.E.M.) Inc., Québec, Canada

Participation à plus de 25 projets impliquant l'évaluation de la condition du béton depuis 2003

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets pratiques impliquant l'évaluation de la condition du béton

2006

<i>Détérioration d'une dalle neuve</i>	(L. Pépin)
<i>Enveloppe de béton contaminée</i>	(Projex)
<i>Durée de vie résiduelle d'un quai</i>	(Quai de RDL)
<i>État de l'enveloppe de béton</i>	(SIQ)
<i>État des fondations</i>	(Projex)

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets pratiques impliquant l'évaluation de la condition du béton

2005

<i>État d'un stationnement</i>	(Québec)
<i>État de quais</i>	(Québec / Lévis)
Détérioration de dalle sur sol	(Mont-Ste-Anne)
<i>État de dalles, colonnes et toiture</i>	(U. Laval)
<i>Séparateurs de voie en béton</i>	(EBC)
<i>Viaducs</i>	(V. de Montréal)

Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

Québec 

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets pratiques impliquant l'évaluation de la condition du béton

2005

Dalle sur sol

(PROCAM)

Bassins traitement

(V. de Lévis)

Murs de béton

(Coffrage LD)

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets pratiques impliquant l'évaluation de la condition du béton

2004

<i>Expertise dalles et colonnes</i>	(T. Vieux-Port)
<i>Tablier d'un barrage</i>	(Alcan)
<i>Toits centrales hydroélectriques</i>	(Alcan)
<i>Trottoirs écaillés</i>	(Édifice H)
<i>Trottoirs écaillés</i>	(litige)
<i>Pont atteint de RAG</i>	(Trent U.)

Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

Expérience professionnelle *(suite)*

Participation à des projets pratiques impliquant l'évaluation de la condition du béton

2004

Dalle sur sol (Canadian Tire)

Détérioration au gel d'un tablier (Performix)

2003

Expertise parements (Manoir Richelieu)

Expertise dalle (Man. Lambton)

État dalles, colonnes (Liberty Street)

Commission d'enquête
sur le viaduc

Quebec

Expérience professionnelle *(suite)*

Autres activités de consultation en technologie du béton

2006

École Polytechnique de Montréal

2005

Ville de Montréal

2003-2004

Conproco / US Navy

Cours enseignés

Cours de premier cycle

- Conception des structures I
- **Entretien et réfection des structures**
- Laboratoire de génie civil II
- Matériaux de construction
- Résistance des matériaux

Cours enseignés *(suite)*

Entretien et réparation des structures

Extrait du plan de cours (offert depuis 1999)

Cours 2

Philosophie et considérations pratiques

Cours 3

Pathologie des ouvrages en béton

Cours 4

Auscultation des ouvrages en béton

Cours 5

Inspection d'un ouvrage à identifier (MTQ)

Distribution de l'énoncé du projet

Commissariat d'expertise
sur le béton
de la Concorde

Québec 

Cours enseignés *(suite)*

Cours de 2^e de 3^e cycles

- Durabilité du béton
- Notions avancées en mécanique des solides déformables
- Propriétés mécaniques du béton

Cours de formation continue

- **Entretien et réfection des infrastructures**

Conférences scientifiques

Membre des comités scientifique et aviseur de
l'International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, Le Cap,
Afrique du Sud, novembre 2008

Président du comité technique de la ***Conférence annuelle 2008 de la Société Canadienne de Génie Civil***, Québec, Canada, mai 2008

Membre des comités organisateur et scientifique du
2^e Symposium ***Advances in Concrete Through Science and Engineering***, Québec, Canada,
septembre 2006

Conférences scientifiques

Membre du comité organisateur du **Congrès annuel 2006 de l'Association Canadienne des Barrages (ACB/CDA)**, Québec, Canada, octobre 2006

Membre des comités scientifique et aviseur de **'International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting**, Le Cap, Afrique du Sud, novembre 2005

Co-organisateur du **Fourth International Workshop on Improving the Performance of Repaired Concrete Structures**, San Diego (CA), USA, mai 2003

Conférences scientifiques

Co-organisateur du 7^e Séminaire Adrien-Pouliot - Les Infrastructures Routières Québécoises: Peut-On Faire Mieux?, Université Laval, Québec, février 2003

Co-organisateur du Third International Workshop on Improving the Performance of Repaired Concrete Structures, Québec (QC), avril 2001

Comités techniques

Membre du **comité 223**
de l'American Concrete
Institute (ACI) sur les
bétons à retrait
compensé

Membre du **comité 364**
de l'American Concrete
Institute (ACI) sur la
réhabilitation des
ouvrages en béton

ACI 364.1R-07

**Guide for Evaluation of Concrete
Structures before Rehabilitation**

Reported by ACI Committee 364



American Concrete Institute®

Comités techniques

Guide for Evaluation of Concrete Structures before Rehabilitation

Reported by ACI Committee 364

Fred R. Goodwin
Chair

Alexander M. Vaysburd
Secretary



Sam Bhuyan

Zareh B. Gregorian

Erick N. Larson

Avanti C. Shroff

Benoit Bissonnette

Pawan R. Gupta

James L. Loper

Thomas E. Spencer

Michael L. Brainerd

Ronald E. Heffron

Pritpal S. Mangat

John A. Tanner

Christopher D. Brown

Robert L. Henry

James E. McDonald

Valery Tokar

Douglas Burke

Kal R. Hindo

Martin S. McGovern

David A. VanOcker

Ashok K. Dhingra

Charles J. Hookham

William R. Nash

Kurt F. Von Fay

Boris Dragunsky

Lawrence F. Kahn

Mark A. Postma

James Warner

Peter H. Emmons

Ashok M. Kakade

David W. Scott

Patrick M. Watson

Paul E. Gaudette

Dov Kaminetzky

Robert E. Shewmaker

David W. Whitmore

Timothy R. W. Gillespie

Keith E. Kesner

K. Nam Shiu

Comités techniques

Contenu du guide ACI 364.1-R07

Chapter 1 - Introduction

Chapter 2 - **Preliminary and detailed investigation**

Chapter 3 - Document review

Chapter 4 - **Field investigation**

Chapter 5 - **Sampling and material testing**

Chapter 6 - **Evaluation**

Chapter 7 - Final report

Chapter 8 - References

Comités techniques

Président du comité technique

RILEM TC 193-RLS sur les chapes de recouvrement en béton

Membre du comité technique **RILEM TC 181-EAS** sur le comportement du béton au jeune âge

Comités techniques

Membre fondateur du groupe de travail nord-américain **CREEP** sur les réparations en béton

(regroupant le CRIB de l'U. Laval, le U.S. Corps of Engineers, le U.S. Bureau of Reclamation, la U.S. Navy et les sociétés Structural Preservation Systems Inc., Sika et Conproco)

Membre fondateur du bureau de direction de la **Section du Québec de l'International Concrete Repair Institute (ICRI)**

Sociétés professionnelles

- Ordre des ingénieurs du Québec
- American Concrete Institute (ACI)
- International Concrete Repair Institute (ICRI)
- RILEM

Publications et encadrement

Depuis 2000

- Participation à la rédaction de quatre livres et chapitres de livres
- Plus d'une trentaine de publications dans des revues avec comité de lecture
- Plus d'une dizaine de publications dans des comptes-rendus de conférences internationales
- Près d'une vingtaine de directions de projets de maîtrise et doctorat

Commission d'enquête sur le viaduc de la Concorde

Inspection

Mandat

1. Étude des différentes versions des guides et manuels d'inspections préparés par le MTQ au cours des 30 dernières années
2. Étude des guides d'inspection développés par d'autres agences en Amérique du Nord
3. Revue et analyse des inspections du viaduc de la Concorde effectuées entre 1977 et 2005
4. Recommandations pour l'amélioration du système d'inspection au MTQ

Mandat

1. Étude des différentes versions des guides et manuels d'inspections préparés par le MTQ au cours des 30 dernières années
2. Étude des guides d'inspection développés par d'autres agences en Amérique du Nord
3. Revue et analyse des inspections du viaduc de la Concorde effectuées entre 1977 et 2005
4. Recommandations pour l'amélioration du système d'inspection au MTQ

Sommaire

Revue des documents d'inspection du MTQ

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Conclusions quant à la conformité des inspections avec les exigences des manuels

Sources d'information

Dossier du viaduc de la Concorde

- Plans originaux du viaduc – version du concepteur (1969)
- Rapports d'inspection fournis par le MTQ (1977-2005)
- Lettres et documents reliés à la demande d'assistance technique (2004-2005)
- L'étude d'opportunité préparée par l'ingénieur de la DT, incluant les mesures d'ouverture des joints (2003)

Sources d'information

Dossier photographique

- Projet de réparation de viaducs 1992

Sources d'information

Documentation pertinente du MTQ

Guide d'entretien des structures

(*Bridge maintenance guide - BMG*)

- 1978 ed. mise à jour jusqu'en 1987

Inspection des ouvrages d'art

(*Structures inspection*)

- 1987 ed.

Sources d'information

Documentation pertinente du MTQ

Manuel d'inspection des structures – Évaluation des dommages (*Manual of bridge inspection - MBI*)

- 1993 ed. mise à jour en 1996
- 2004 ed. mise à jour en 2005

Manuel d'inspection des structures – Instructions techniques (*Technical instructions*)

- 2004 ed.

Syllabus des cours de formation à l'intention du personnel d'inspection du MTQ

Sources d'information

Autres documents pertinents

Manuel d'entretien des structures

(Manual of bridge maintenance - MBM)

- 2001 ed.

- 2004 ed.

Gestion de la conservation des ponts (2003),

Rapport à l'Assemblée Nationale pour l'Année 2002-2003 Tome II, Vérificateur Général du Québec

Inspection System (présentation *Power Point*),

G. Richard, MTQ, Toronto (février 2007)

Sources d'information

Autres documents pertinents

US National Bridge Inspection Standards (2004)

AASHTO Manual for Condition Evaluation of Bridges (2000)

National Highway Institute Training Course – Safety Inspection of Highway Bridges (2004)

Ontario Structure Inspection Manual (2000)

UK Concrete Society Technical Report No. 54 – Diagnosis of Deterioration in Concrete Structures (2000)

Sources d'information

Transcriptions des témoignages

M. Gilbert Bossé, ing.

M. Claude Leclerc, ing.

M. Christian Mercier, ing.

M. Guy Richard, ing.

M. Tiona Sanogo, ing.

M. Draco Simic, ing.

Sources d'information

Rapports

Rapport d'expertise (MTQ)

- Joliette
- St-Alphonse
- de Blois

Rapport Desjardins Sauriol & Associés -F. Légeron

Rapport MTQ – B. Massicotte et coll.

Rapport MTQ – R. Ellis

Rapport MTQ – Direction des Structures

Rapport synthèse du MTQ

Sources d'information

Rencontres avec Dr. Jacques Marchand et Dr. Denis Mitchell pour discuter le contenu de leur rapport sur les causes de l'effondrement du viaduc *de la Concorde*

Revue des documents d'inspection du MTQ

Documents d'inspection du MTQ

- **Évolution du système d'inspection au MTQ**
 - Guide d'entretien des structures (1978 - 1993)
 - Manuel d'inspection des structures (1993 - 2006)
- **Évaluation de la condition**
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- **Commentaires sur les manuels du MTQ**

Évolution du système d'inspection au MTQ

Historique

1970 – 1978

Aucun document disponible pour évaluation

1978 – 1993

Guide d'entretien des structures

Chapitre d'un document couvrant l'entretien des ponts

1993 – aujourd'hui

Manuel d'inspection des structures

Relevé des dommages

Instructions techniques

Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

Québec 

Documents d'inspection du MTQ

- Évolution du système d'inspection au MTQ
 - **Guide d'entretien des structures (1978 - 1993)**
 - Manuel d'inspection des structures (1993 - 2006)
- Évaluation de la condition
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- Commentaires sur les manuels du MTQ

Guide d'entretien des structures

1978-87

Chapitre du Guide intitulé **Inspection**

Types d'inspection

- Annuelles
- Approfondies pour les ouvrages majeurs – fréquence de 5 à 10 ans

Inspecteur

- Brève description de tâches
- Aucune référence à la qualification/formation requise

Guide d'entretien des structures

1978-87 (...)

Survol de l'inspection de structures

- Matériaux et défauts
- Éléments à inspecter

Documents et formulaires à remplir

Guide d'entretien des structures

1978-87 (...)

Avant 1985

Rapport d'inspection et de réparation de structures
(simple formulaire)

À partir de 1985

Inspection Générale (ponts)
avec liste de vérification des éléments principaux

Inspection Spéciale (ponts)

Guide d'entretien des structures

1987-93

Chapitre du Guide intitulé *Inspection*

Document additionnel: *Inspection des ouvrages d'art*

Début d'un système d'inspection uniforme pour la province

- Fréquence d'inspection
- Formation des inspecteurs
- Rapports
- Responsabilités

Guide d'entretien des structures

1987-93 (...)

Types d'inspections

- **Sommaire (annuelle)**
Inspection visuelle “*Walk-through*”
pas d'instructions spécifiques
- **Générale (3 à 6 ans)**
Inspection de tous les éléments d'une structure
- **Spéciale**
Sur demande / aux 10 ans pour les structures complexes

Guide d'entretien des structures

1987-93 (...)

Inspecteurs

- Tâches définies plus clairement
- Qualifications requises
- Introduction des formations en inspection

Amélioration des instructions relatives à l'inspection de structures

- Éléments des structures à inspecter
- Pas encore de système de notation

Documents et formulaires plus élaborés

Documents d'inspection du MTQ

- **Évolution du système d'inspection au MTQ**
 - Guide d'entretien des structures (1978 – 1993)
 - **Manuel d'inspection des structures (1993 – 2006)**
- **Évaluation de la condition**
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- **Commentaires sur les manuels du MTQ**

Manuel d'inspection des structures

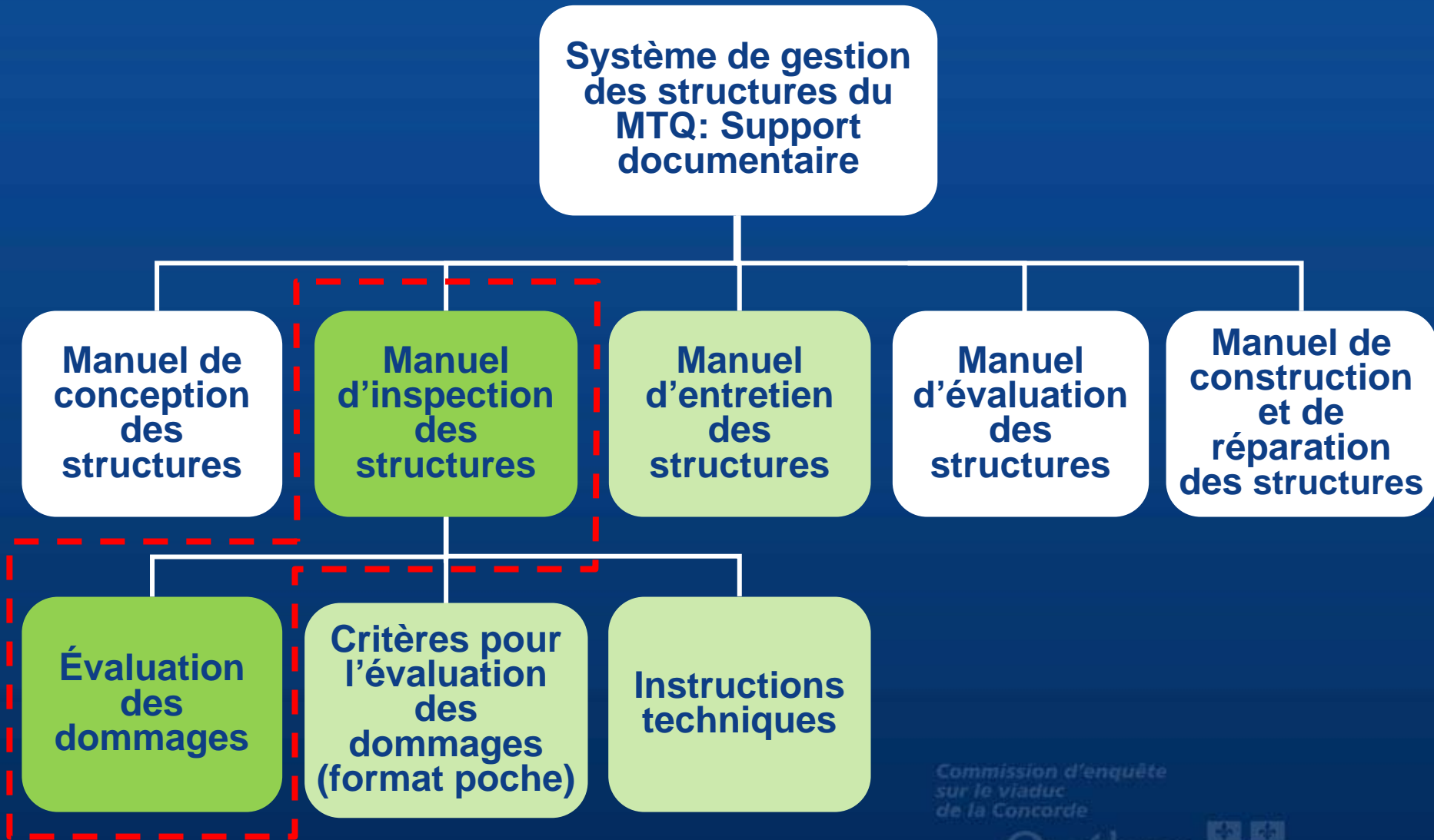
Instauration en 1993 d'un nouveau système de gestion beaucoup plus élaboré

- Planification et inventaire
- Inspection
- Entretien

Documents consacrés à l'inspection

- Évaluation des dommages (document principal)
- Instructions techniques (document de référence)

Manuel d'inspection des structures



Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

Manuel d'inspection des structures

Structures

**MANUEL
D'INSPECTION
DES STRUCTURES**
Évaluation des dommages

**GUIDES ET
MANUELS
TECHNIQUES**

Québec

Manuel d'inspection des structures

Évaluation des dommages

- Procédure d'inspection
- Système d'évaluation des dommages
- Défauts de matériaux
- Chapitres (11) distincts sur les différentes composantes de pont à considérer
- Fiches et rapports d'inspection

Types d'inspection

Inspections régulières

- **Inspection Sommaire**
 - annuelle
- **Inspection Générale**
 - 3 ans
 - depuis 2004: 2 – 6 ans

Types d'inspection

Inspections spéciales

- Inspection Spéciale (au besoin)
- Inspection d'Évaluation Structurale (au besoin)
- Inspection Sous-Marine (10 ans)
- Inspection d'Observation (au besoin)
- Inspection d'Affouillement (après inondation)

Systeme d'évaluation des dommages

Systeme de notation

Deux indicateurs pour chaque élément

- Cote d'évaluation du **matériau** (CEM)
- Cote d'évaluation du **comportement** (CEC)

Valeurs des cotes attribuées variant de 1 à 6

- Condition **critique** (1)
- Condition **excellente** (6)

Systeme d'évaluation des dommages

Systeme de notation (...)

Critères pondérés

Les éléments d'une structure sont subdivisés en 3 catégories

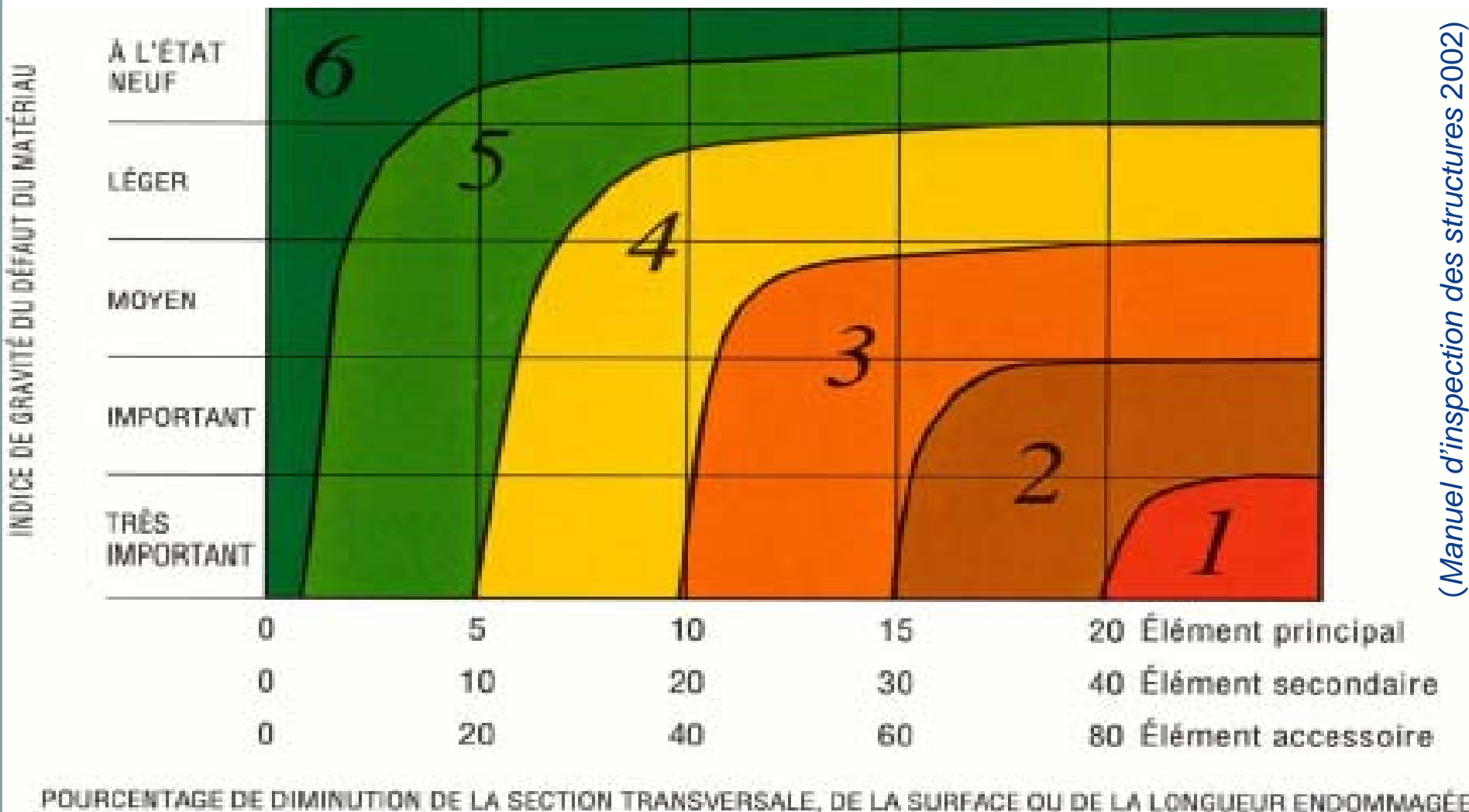
- Éléments principaux (P)
- Éléments secondaires (S)
- Éléments accessoires (A)

Deux catégories de critères **CEM** et **CEC**

- Généraux
- Spécifiques

Systeme d'évaluation des dommages

Critères matériau généraux (CEM)

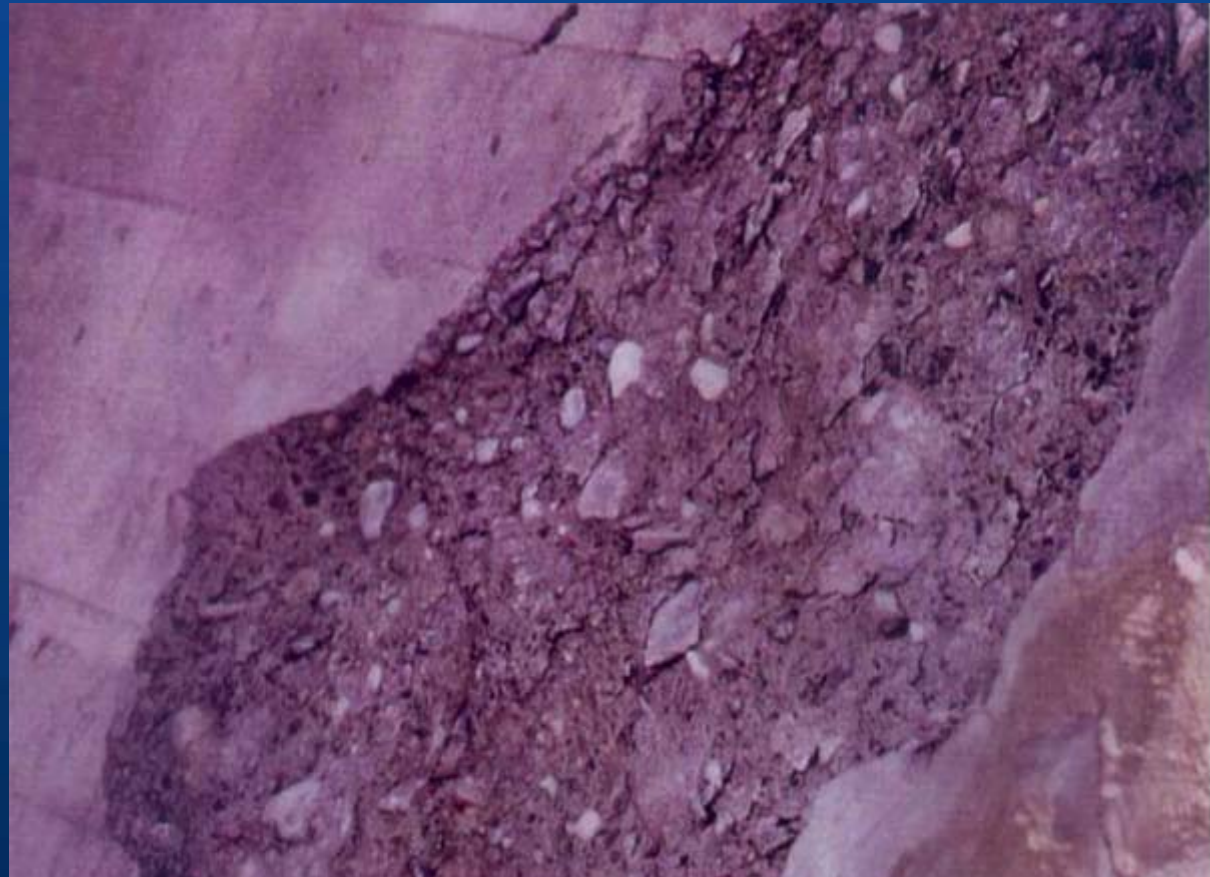


Systeme d'évaluation des dommages

Critères matériau généraux (CEM)

Indice de gravité du défaut de matériau

Ex.: écaillage



*(Manuel d'inspection
des structures 2002)*

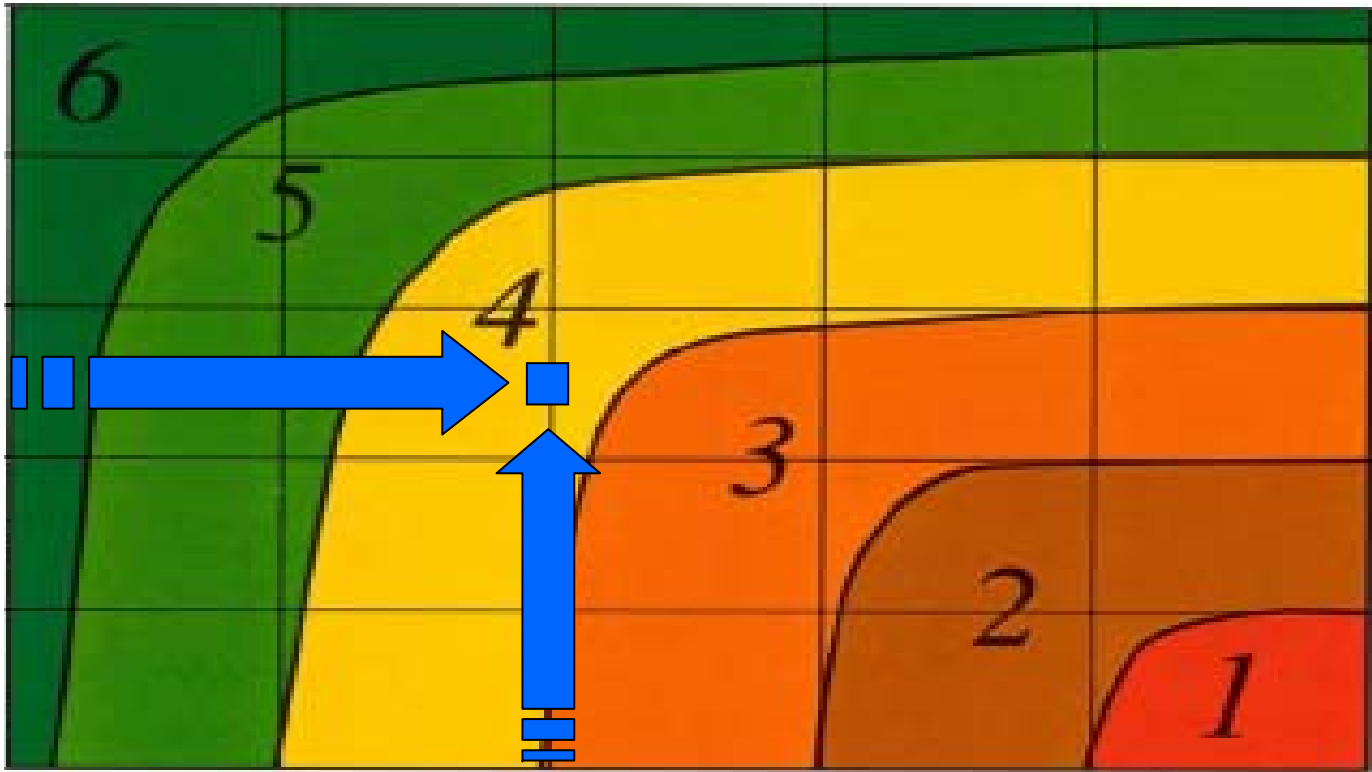
Photo 3.2.1 c)- Écaillage important du fût d'une culée.

Systeme d'évaluation des dommages

Critères matériau généraux (CEM)

INDICE DE GRAVITÉ DU DÉFAIT DU MATÉRIAU

Indice de gravité



Étendue du défaut

- 0 Élément principal
- 0 Élément secondaire
- 0 Élément accessoire

(Manuel d'inspection des structures 2002)

Systeme d'évaluation des dommages

Critères matériau spécifiques (CEM)

Ex. : Éléments principaux du système structural

COTE	DÉFAUTS DE MATÉRIAUX OBSERVÉS
6	– Aucun défaut de matériau observé.
5	– Fissures longitudinales étroites dans les éléments en béton armé. – Fissures verticales ou diagonales filiformes dans les éléments en béton armé. – Fissures transversales filiformes dans la dalle épaisse. – Moins de 5 % des boulons d'assemblage défectueux ou manquants.
4	– Fissures longitudinales moyennes dans les éléments en béton armé. – Fissures verticales ou diagonales étroites dans les éléments en béton armé. – Fissures transversales étroites dans la dalle épaisse. – De 5 à 10 % des boulons d'assemblage défectueux ou manquants.

Systeme d'évaluation des dommages

Critères comportement généraux (CEC)

Diminution de la capacité de l'élément

- Valeur rarement évidente
- Jugement de la diminution de la capacité des éléments structuraux par l'inspecteur

Systeme d'évaluation des dommages

Critères comportement généraux (CEC)

Comportement		Pourcentage de diminution de l'aptitude d'un élément à jouer son rôle		
Cote	Désignation	Élément principal	Élément secondaire	Élément accessoire
6	Excellent	0 à 1%	0 à 2%	0 à 5%
5	Bon	1 à 5%	2 à 10%	5 à 20%
4	Acceptable	5 à 10%	10 à 20%	20 à 40%
3	Médiocre	10 à 15%	20 à 30%	40 à 60%
2	Déficient	15 à 20%	30 à 40%	60 à 80%
1	Critique	> 20%	> 40%	> 80%

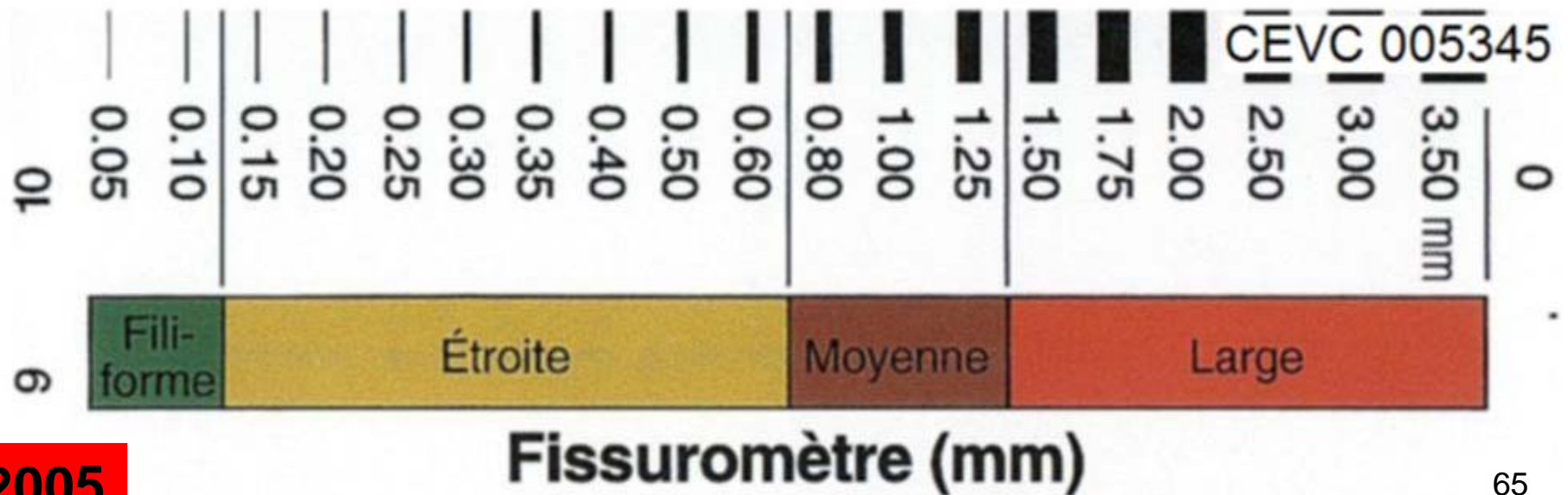
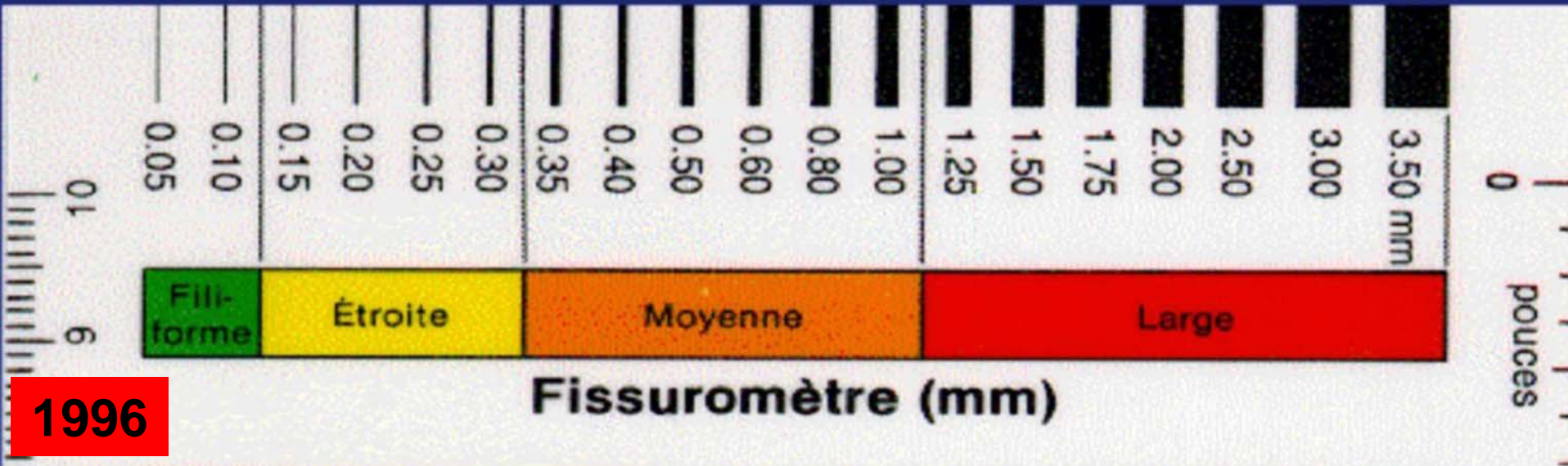
Systeme d'évaluation des dommages

Critères comportement spécifiques (CEC)

Ex. : Éléments principaux du système structural

COTE	DÉFAUTS DE COMPORTEMENT OBSERVÉS
6	<ul style="list-style-type: none">– Défauts ou modifications à un élément pouvant réduire de moins de 1 % sa capacité à supporter la charge appliquée.– Aucune fissure structurale.– Aucune flèche ou vibration des éléments ou de leurs assemblages lors du passage de camions lourds sur la structure.
5	<ul style="list-style-type: none">– Défauts ou modifications à un élément pouvant réduire de 1 à 5 % sa capacité à supporter la charge appliquée.– Fissures de flexion filiformes dans les éléments en béton armé.– Flèche ou vibration légère des éléments ou de leurs assemblages lors du passage de camions lourds sur la structure.

Systeme d'évaluation des dommages



Systeme d'évaluation des dommages

Critères comportement spécifiques (CEC)

Critères relativement à la fissuration de cisaillement dans les poutres et dalles épaisses en béton armé

CEC Avant avril 2007 Depuis avril 2007

6	aucune fissure	-
5	-	< 0,8 mm
4	< 0,125 mm	-
3	< 0,7 mm	0,8 à 1,5 mm*
2	< 1,375 mm	-
1	> 1,375 mm	> 1,5 mm*

Commission d'enquête
sur le viaduc
de la Concorde

66

Inspecteurs

Qualifications des inspecteurs

- Diplôme professionnel (ing., tech.)
- Formation en inspection de ponts
- Expérience en inspection de ponts

La compétence exigée pour l'inspecteur qui doit procéder à l'inspection générale dépend de la complexité et la vulnérabilité des structures

Équipes de deux inspecteurs

Responsable de la gestion et l'entretien d'un pont :
ingénieur

Mesures suggérées

Expertise de dalle («auscultation»)

1993-2004

Expertise de dalle requise en fonction de la cote CEM de la dalle

CEM Dalle	Besoin d'expertise
6	Aucune expertise requise
5	Expertise requise dans 5 à 8 ans
4	Expertise requise dans 2 à 4 ans
3	Expertise requise dès l'an prochain
2	Expertise requise immédiatement
1	Délai d'intervention suggéré pour effectuer des travaux de réparation est trop court pour réaliser une expertise de la dalle

Mesures suggérées

Expertise de dalle (...)

Depuis 2004

«*Auscultation*» des dalles de certains ponts ne comportant pas de membrane

Intervalle : toutes les deux Inspections Générales
(4 à 12 ans)

Mesures suggérées

Délais d'interventions

CEM ou CEC	<i>Manuel 1996</i>	<i>Manuel 2004</i>
6	<i>Aucun travaux requis</i>	<i>Aucun travaux requis</i>
5	<i>s'ici 6 à 10 ans</i>	<i>dans plus de 10 ans</i>
4	<i>d'ici 3 à 5 ans</i>	<i>d'ici 6 à 10 ans</i>
3	<i>d'ici 1 à 2 ans</i>	<i>d'ici 3 à 5 ans</i>
2	<i>d'ici l'an prochain</i>	<i>d'ici 1 à 2 ans</i>
1	<i>Travaux prioritaires</i>	<i>Travaux prioritaires</i>

Mesures suggérées

Cheminement d'un projet de réparation*

Jusqu'à 2001

Plan triennal

Depuis 2001

Plan quinquennal

* *Manuel d'entretien des structures*

Mesures suggérées

Actions à prendre

CECS	Mesures suggérées
6 et 5	Aucune restriction de charge n'est requise
4	Aucune restriction de charge ne devrait être requise Inspection spéciale peut être exigée si jugée nécessaire
3	Restriction de charge peut être requise Inspection spéciale nécessaire
2	Restriction de charge doit être affichée immédiatement Inspection spéciale doit être effectuée au plus tôt
1	Restriction de charge doit être affichée immédiatement ou la structure doit être fermée à la circulation Inspection spéciale doit être effectuée au plus tôt

CECS: plus faible valeur CEC attribuée parmi les éléments principaux d'une structure

Documents d'inspection du MTQ

- Évolution du système d'inspection au MTQ
 - Guide d'entretien des structures (1978 – 1993)
 - Manuel d'inspection des structures (1993 – 2006)
- Évaluation de la condition
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- Commentaires sur les manuels du MTQ

Évaluation de la condition

Les inspections fournissent de l'information sur l'état de la surface de l'ouvrage

- Examen visuel
- Examen par percussion
- Diverses mesures (dimensions, fissures)

Investigation approfondie : évaluation de la condition

- Essais non destructifs (NDT)
- Prélèvements et essais en laboratoire

Évaluation de la condition

Quand une investigation approfondie de la dalle ou du tablier devient-elle nécessaire (MTQ)?

- Sur la base des données d'inspection
- À des échéances établies (système de gestion)
- Avant des travaux de réparation

Documents d'inspection du MTQ

- **Évolution du système d'inspection au MTQ**
 - Guide d'entretien des structures (1978 – 1993)
 - Manuel d'inspection des structures (1993 – 2006)
- **Évaluation de la condition**
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- **Commentaires sur les manuels du MTQ**

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques non destructives (NDT)

- Essai d'adhérence (ICRI Guideline #03739)
- Essai d'arrachement (ASTM C900)
- Essai de chargement
- Fibres optiques
- Impulsion d'ultrasons (ASTM C597)
- Méthode nucléaire (ASTM D3017)
- Pachomètre
- Potentiel de corrosion
- Radar (GPR)

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques non destructives (NDT) (...)

- Radiographie gamma
- Résistance à la pénétration
- Résistivité électrique
- Scléromètre
- Thermographie infrarouge
- Ultrasons
 - Écho d'impulsion d'ultrasons
 - Émission acoustique
 - Impact-écho

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques semi-destructives (...)

Échantillonnage (carottes ou autres)

- Essais de résistance à la compression
- Examens pétrographiques
- Évaluation des propriétés physiques
 - Absorption
 - Densité
 - Perméabilité
 - Teneur en air et facteur d'espacement des vides
 - etc.

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques **semi-destructives** (...)

Tel que précisé par le *Manuel d'entretien des structures*, bien que le but premier du carottage soit de fournir des échantillons à analyser en laboratoire, l'examen visuel de la carotte et du trou de carottage permet d'obtenir des informations importantes telles :

- Épaisseur de la dalle / asphalte
- Qualité de l'adhérence entre l'enrobé et le béton de la dalle
- Corrosion et délaminage
- Réparations antérieures
- Ampleur de la fissuration (profondeur, ouverture)

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques **semi-destructives** (...)

Le carottage est considéré une technique «*semi-destructive*» puisque les trous formés peuvent facilement être remplis et n'affectent pas l'intégrité ou la protection de l'ouvrage

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques semi-destructives (...)

« Bien que le carottage soit un essai destructif, les avantages retirés sont supérieurs aux inconvénients puisque les trous laissés par le prélèvement des carottes peuvent être généralement facilement réparés. Le carottage doit être cependant limité aux cas où il peut fournir des renseignements utiles pour l'évaluation globale de la structure. »

(tiré du Manuel d'entretien des structures, 2005)

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques d'investigation destructives

Fenêtres d'exploration

2.7.2 Exploratory removal and openings—Exploratory removal of material and creating openings are useful to determine as-built conditions and to expose hidden conditions in a structure. Exploratory openings help to determine existing as-built features and to gain reliable information about the nature and extent of existing problems. Selective inspection openings are also used to verify the results of nondestructive tests. During the preliminary investigation, the use of inspection openings are often deferred to the detailed investigation phase.

Techniques d'investigation pour le béton

Techniques préconisées par le MTQ

BÉTON	
Sur le site	En laboratoire
<u>Usage courant</u> <ul style="list-style-type: none"> - Carottage - Teneur en chlorures - Pachomètre - Potentiel de corrosion <u>Usage non courant</u> <ul style="list-style-type: none"> - Radar - Thermographie infrarouge 	<u>Usage courant</u> <ul style="list-style-type: none"> - Résistance à la compression - Réseau d'air - Teneur en chlorures - Absorption <u>Usage non courant</u> <ul style="list-style-type: none"> - Pétrographie

(tiré du *Manuel d'entretien des structures*, 2005)

Documents d'inspection du MTQ

- **Évolution du système d'inspection au MTQ**
 - Guide d'entretien des structures (1978 – 1993)
 - Manuel d'inspection des structures (1993 – 2006)
- **Évaluation de la condition**
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- **Commentaires sur les manuels du MTQ**

Évaluation de la condition au MTQ

Opérations ciblées

Expertise de dalle / tablier (« Auscultation »)

- Détection et localisation des problèmes associés à la corrosion

Relevé des dommages

- Évaluation des désordres sur les parties d'une structure devant être réparées
- Objectif : Établir précisément le type et l'étendue des dommages affectant une structure en vue de préparer les plans et devis de réparation
- Investigation approfondie, s'il y a lieu, de la dalle ou du tablier seulement

Évaluation de la condition au MTQ

Opérations ciblées

Description comparative dans le *Manuel d'entretien des structures*

INSPECTION GÉNÉRALE	RELEVÉ DE DOMMAGES
<u>Principales similitudes</u>	
. La dernière inspection générale sert de document de référence	
<u>Principales différences</u>	
<ul style="list-style-type: none">. S'inscrit dans un processus continu d'évaluation de l'état de la structure. Moyens d'investigation limités. Seuls les dommages des parties les plus dégradées d'un élément sont enregistrés. Rapport enregistré au SGS-5016. Sert à évaluer sommairement la nature et le coût des travaux apparaissant à la 5^e année de la planification quinquennale (Activités)	<ul style="list-style-type: none">. Évaluation ponctuelle dans le processus de préparation d'un projet de réparation. Moyens d'investigation plus élaborés. Les dommages de toutes les parties d'un élément sont notés avec précision. Rapport manuscrit. Sert à évaluer avec précision la nature et le coût des travaux apparaissant à la 1^{re} année de la planification quinquennale (Travaux)

Évaluation de la condition au MTQ

Opérations ciblées

Relevé de dommages

- **Investigation de base**
 - Examen visuel
 - Examen par percussion
 - Mesure des ouvertures de joint
- **Investigation approfondie, si requise**
 - *Expertise de la dalle*
 - *Expertise du tablier*

Documents d'inspection du MTQ

- **Évolution du système d'inspection au MTQ**
 - Guide d'entretien des structures (1978 – 1993)
 - Manuel d'inspection des structures (1993 – 2006)
- **Évaluation de la condition**
 - Outils d'investigation
 - Évaluation de la condition au MTQ
- **Commentaires sur les manuels du MTQ**

Commentaires sur les manuels du MTQ

Le Manuel d'inspection des structures utilisé par le MTQ depuis 1993 est un document exhaustif

- Méthodologie et procédure des inspections
- Support pédagogique
- Qualification et formation des inspecteurs
- Fiches et rapports d'inspection

Consensus 4.9.1: Inspection et entretien

Les manuels d'inspection du MTQ sont
d'une qualité comparable à des documents
similaires applicables en Amérique du Nord

Commentaires - Manuels du MTQ

Procédure d'inspection

Certaines exigences ont été réduites dans les révisions récentes du Manuel

- Les délais associés aux priorités d'intervention ont été **doublés**
- Les critères pour la réalisation d'une expertise de dalle ne dépendent plus de la cote **CEM**

Ces assouplissements ne contribuent pas à la diminution du taux de désuétude du parc de structures

Commentaires sur les manuels du MTQ

Défauts de matériaux

Description relativement complète et détaillée

- Emphase sur les symptômes

Cependant, la section couvrant les différents problèmes de détérioration, particulièrement en ce qui a trait au béton, sont décrits superficiellement

- Peu d'explication sur les causes
- Facteurs d'influence non abordés

Commentaires sur les manuels du MTQ

Défauts de matériaux (...)

Ex. : *“efflorescence: dépôt de sel, généralement blanc et poudreux”*



Commentaires - Manuels du MTQ

Qualification des inspecteurs

Les exigences concernant les inspections sommaires ont été diminuées dans la dernière version du *Manuel d'inspection des structures*

Avant 2005 : classe B-2 (technicien)

Depuis 2005 : classe C (aucun diplôme requis)

Même pour une inspection sommaire, il est souhaitable que les inspecteurs aient une formation en génie civil, en plus d'une formation en inspection

Commentaires - Manuels du MTQ

Formation des inspecteurs

Il n'y a pas de cours dédié aux matériaux dans le curriculum

- L'état des matériaux ne peut être ignoré dans l'évaluation du comportement d'un élément
- Les inspecteurs (particulièrement A-1 et B-1) devraient avoir de bonnes connaissances de base sur les matériaux afin de reconnaître et traiter les défauts efficacement

Commentaires - Manuels du MTQ

Évaluation de la condition

Cette opération devrait être plus étroitement associée aux procédures d'inspection

Face à des désordres superficiels d'importance, la seule façon de déterminer si le «béton structural» est sain est de procéder à une investigation approfondie

- Prélèvement + observation & essais de caractérisation
- Essais NDT
- Fenêtre d'observation

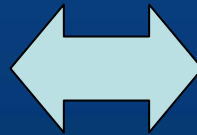
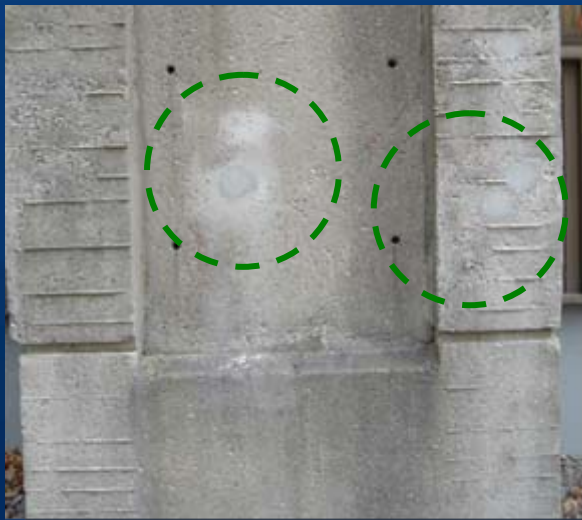
Commentaires - Manuels du MTQ

Évaluation de la condition (...)

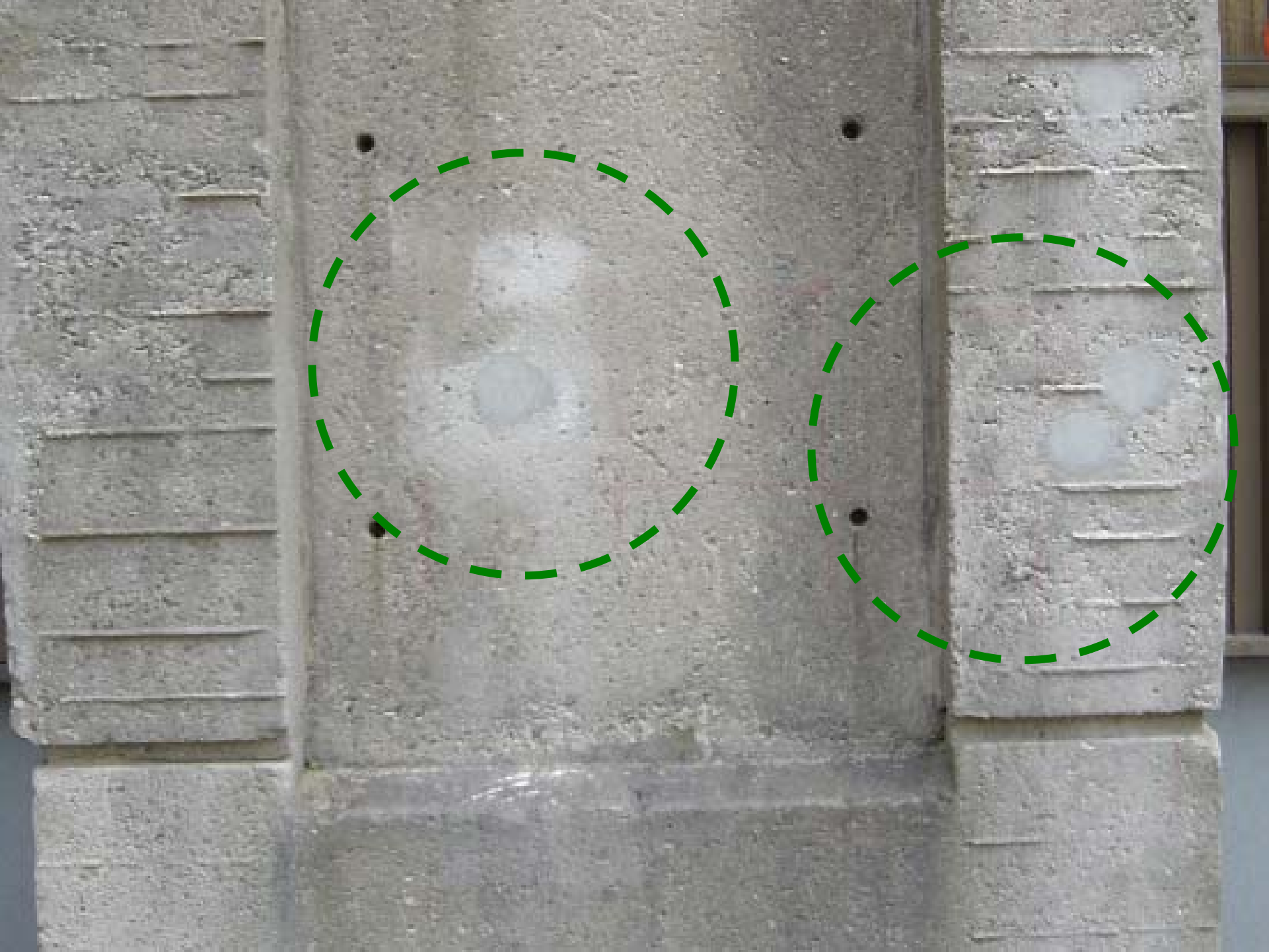
Les «risques» associés aux *cicatrices* de carottage sont généralement négligeables comparativement aux détériorations affectant les ouvrages à évaluer

Commentaires - Manuels du MTQ

Évaluation de la condition (...)







Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

- **Revue chronologique des rapports d'inspection (1977-2006)**
- **Tenue du dossier**
- **Conformité avec les manuels**
- **Précision des rapports d'inspection**
- **Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde**

1977-1993 (*Guide d'entretien des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
11/11 1977	-	- Réparation de perrés	-	Réparation de perrés

1977-1993 (*Guide d'entretien des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
3/10 1980	-	- Le joint de dilatation coule	-	Étanchéisation du joint de dilatation

1977-1993 (*Guide d'entretien des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
15/11 1985	Inspection Générale (Ponts)	<ul style="list-style-type: none">- Assise des appuis - rien de sérieux pour le moment. (Cause: non étanchéité des joints de dilatation)- Garde-roues - manque sur 4 m linéaires, côté nord	Bon	<ol style="list-style-type: none">1. Changement des joints au plus tard en 19882. Réparation des perrés3. Réparation du chasse-roue métallique

1977-1993 (Guide d'entretien des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
18/11 1986	Inspection et Réparation Struct.	<ul style="list-style-type: none">- Joint de dilatation et joint fixe non étanches- Garde-roues brisé, côté nord- Désagrégation du béton de tablier- Revêtement bitumineux fissuré et lézardé		<p>Évaluation révisée des activités recommandées.</p> <p>Total des coûts d'entretien et de réparation 300 000 \$</p>

1977-1993 (*Guide d'entretien des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés

Remplacement des joints et réparations

1993-2006 (Manuel d'inspection des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
29/05 1995	Gén.	<p><u>Fiche E-1 Platelage</u> Dessous aux extrémités: CEM 4, CEC 4 (le long des joints)</p> <p><u>Fiche F-1 Poutres à âme pleine</u> Extrémités des poutres: CEM 4, CEC 4 Milieu des poutres: CEM 5, CEC 5</p> <p><u>Fiche M-1 Joints de dilatation (est) et fixe (ouest)</u> Élément en élastomère: CEM 5, CEC 3 Épaulements : CEM 4, CEC 5</p>	<p>CECS = n/d</p> <p>Bon</p>	<p>Nettoyage du fût des culées</p>

1993-2006 (Manuel d'inspection des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
12/05 1999	Gén.	<p><u>Fiche D-1 Pile ou béquille intermédiaire (Culée)</u> Assise: CEM 9, CEC 3</p> <p><u>Fiche F-1 Poutre à âme pleine (Porte-à-faux des culées) Travées 1 et 3</u> Extrémités des poutres Est: CEM 4, CEC 5 Diaphragmes: CEM 9, CEC 5</p> <p><u>Fiche G-1 Poutre-Caisson</u> Extrémités des poutres Est: CEM 9, CEC 4</p>	<p>CECS 4</p> <p>Bon</p>	<p>Total des coûts d'entretien \$ 450</p> <p>Total des coûts de réparation \$ 62,950</p>

1993-2006 (*Manuel d'inspection des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
24/02 2000	Somm.	<ul style="list-style-type: none">- Les joints coulent un peu.- Plusieurs cavités dans les trottoirs.- Fissures verticales dans le fût des culées.	Bon	Pont inscrit à la programmation

1993-2006 (Manuel d'inspection des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
28/10 2002	Gén.	<p><u>Fiche F-1 Poutre à âme pleine (Porte-à-faux des culées) Travées 1 et 3</u> Extrémité des poutres Ouest: CEM 4, CEC 5 Extrémité des poutres Est: CEM 3, CEC 4</p> <p><u>Fiche G-1 Poutre-caisson</u> Extrémités des poutres Ouest et Est: CEM 4, CEC 4</p> <p><i>Demander un avis à la Direction des structures sur la méthode de réparation des bouts de poutres.</i></p>	<p>CECS 4</p> <p>Acceptable</p>	<p>Évaluation révisée des activités recommandées.</p> <p>Réparations additionnelles: - Réparation poutre-caisson en béton.</p> <p>Total des coûts de réparation \$ 83,875</p>

1993-2006 (*Manuel d'inspection des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
17/06 2004	Demande Assist. à la DS par la DT	<ul style="list-style-type: none">- Désagrégation importante des assises soupçonnée- Fissures de cisaillement larges sur le porte-à-faux des culées inquiètent	-	Attendre la manifestation de détérioration plus importante ou lever le tablier, inspecter et réparer?

1993-2006 (Manuel d'inspection des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
15/07 2004	Insp. Spéciale (?)	<ul style="list-style-type: none">- Détérioration des assise autour des appareils d'appui en élastomère (120 mm)- Délaminage et éclatement du dessous des tabliers et des côtés extérieurs de part et d'Autre du joint mobile.		Attendre l'apparition de détérioration plus importante avant d'intervenir. Suivi des désordres. Une évaluation préliminaire des travaux de reconstruction des assises est fournie: \$ 328,600.

1993-2006 (*Manuel d'inspection des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
6/10 2004	Somm .	Défaut supplémentaire observé: - Béton délaminé sous le joint longitudinal	Bon	Le pont est inscrit à la programmation

1993-2006 (*Manuel d'inspection des structures*)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
3/03 2005	Lettre de la DS			Attendre la manifestation de détérioration plus importante en portant une attention spéciale lors des inspections à venir, pour suivre l'évolution des dommages relevés en 2004.

1993-2006 (Manuel d'inspection des structures)

Date (J/M/A)	Type	Défauts observés	État	Travaux recommandés
18/05 2005	Gén.	<p><u>Fiche G-1 Poutre-caisson</u> Extrémités des poutres Est et Ouest: CEM 3, CEC 3 Milieu des poutres: CEM 4, CEC 4</p> <p><u>Fiche N-1 Chasse-roues et trottoirs</u> Trottoirs: CEM 1, CEC 1 NOTE: Béton délaminé et armature apparente à plusieurs endroits sur les trottoirs.</p>	<p>CECS 3</p> <p>Acceptable</p> <p>(réf. à la lettre de la DS du 3/03 2005)</p>	<p>Évaluation révisée des activités recommandées.</p> <p>Total des coûts de réparation 516 500 \$.</p>

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

- Revue chronologique des rapports d'inspection (1977-2006)
- Tenue du dossier
- Conformité avec les manuels
- Précision des rapports d'inspection
- Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Tenue du dossier

Le **dossier** d'inspection du viaduc de la Concorde était **incomplet**

Documents manquants

- Plans originaux (tels que construits) et résultats des essais de contrôle de la qualité
- Ensemble des documents relatifs aux réparations effectuées en 1992
- Rapport faisant état de l'inspection spéciale conduite en 2005 par la Direction des Structures

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

- Revue chronologique des rapports d'inspection (1977-2006)
- Tenue du dossier
- Conformité avec les manuels
- Précision des rapports d'inspection
- Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Conformité avec les manuels

- Dans l'ensemble, la **fréquence** des inspections a rencontré les exigences
- Depuis 1995, tous les **éléments** accessibles de l'ouvrage ont été **inspectés** et **notés** en fonction du *Systeme d'évaluation des dommages*

Conformité avec les manuels

- Une nacelle a été utilisée lors des inspections générales de 1999, 2002 et 2005 pour examiner les éléments difficiles d'accès
- Les rapports d'inspection ont été signés par l'ingénieur responsable et le technicien et déposés au dossier

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments **non conformes** (...)

L'Inspection Spéciale effectuée en 2004 n'a pas fait l'objet d'un **rapport écrit**

- La demande d'assistance de la DT correspond à une requête d'Inspection Spéciale selon le *Manuel d'inspection des structures*
- Les conclusions de l'inspection réalisée par un ingénieur de la Direction des Structures ont été consignés sommairement dans une lettre transmise à la DT en 2005

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments **non conformes** (...)

Dans les Rapports d'Inspection Générale, la **localisation et l'étendue des désordres** observés ne sont pas documentés

- absence de croquis
- peu de commentaires
- photographies incluses à l'occasion

Sans cette information, il est difficile de suivre adéquatement l'évolution de l'état de l'ouvrage

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments **non conformes** (...)

Localisation et étendue des désordres

Photographie d'une fissure jointe au Rapport d'Inspection Générale de 1999



- Aucune information quantitative dans le rapport
- Aucun commentaire

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments non conformes (...)

Les signes de détérioration observés lors de l'Inspection Générale de 1995 auraient en principe dû mener à des mesures correctives dans les 4 années suivantes

- Éléments du tablier : CEM et CEC de 4
- Appuis en néoprène fretté : CEC de 3
- Selon les Manuels 1993-2004 :
 - Expertise de dalle dans un délai de 2 à 4 ans
 - Réparations dans un délai de 1 à 2 ans

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments **non conformes** (...)

Aucune **action préventive** n'a été planifiée dans les rapports d'inspection

Tel que requis dans les manuels, les **réparations** doivent être identifiées et estimées dans les rapports d'inspection générale

- ex.: 1999
2002
2005

Conformité avec les manuels

Exemples d'éléments **non conformes** (...)

Tel que requis dans les manuels, les **réparations nécessaires** ont été décrites et estimées dans les rapports d'inspection générale (1999, 2002, 2005)

Après les interventions de 1992, aucune mesure corrective n'a été entreprise, à l'exception de l'enlèvement de fragments de béton sous le tablier

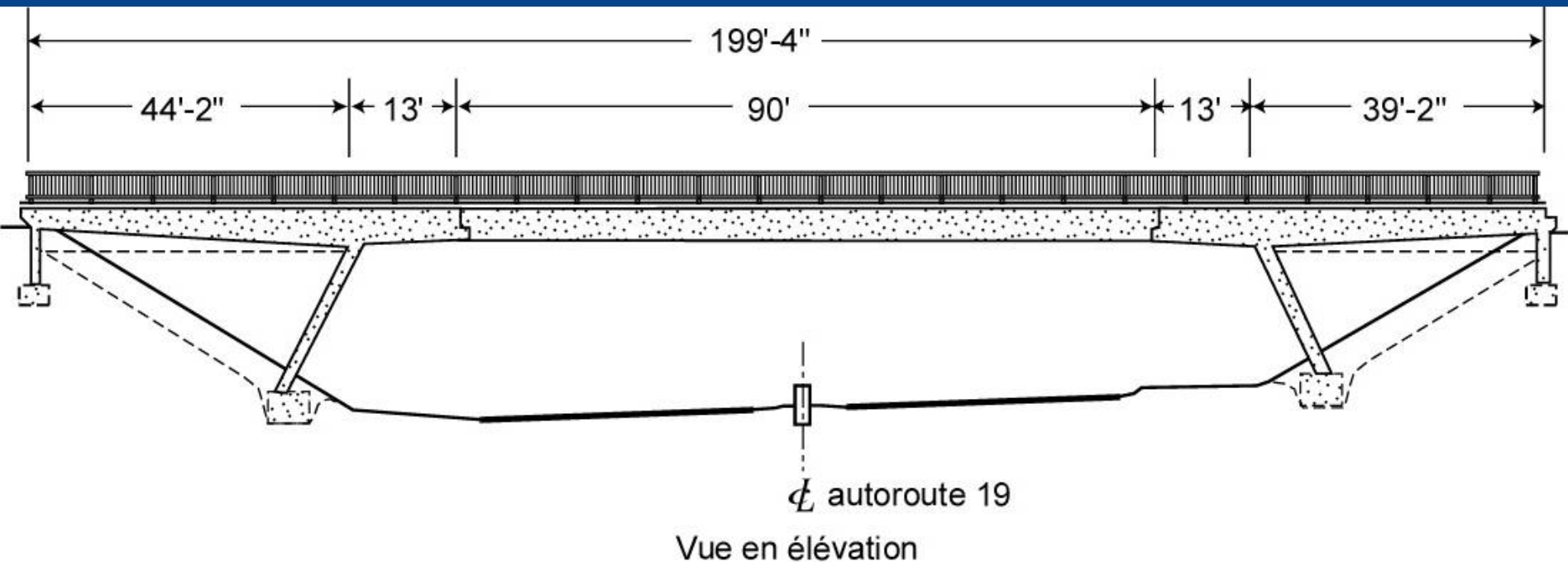
- En 1995 (moins de 3 ans après les réparations), des désordres significatifs étaient déjà relevés
- Des relevés de dommages et travaux de réparation auraient dû être réalisés avant 2000

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

- Revue chronologique des rapports d'inspection (1977-2006)
- Tenue du dossier
- Conformité avec les manuels
- Précision des rapports d'inspection
- Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Précision des rapports

La description des éléments structuraux a changé au fil des rapports



Précision des rapports

La description des **porte-à-faux** des culées a changé au fil des rapports

Jusqu'en 1999, l'ouvrage était décrit comme un pont à travée simple, sans égard aux dalles en porte-à-faux des culées

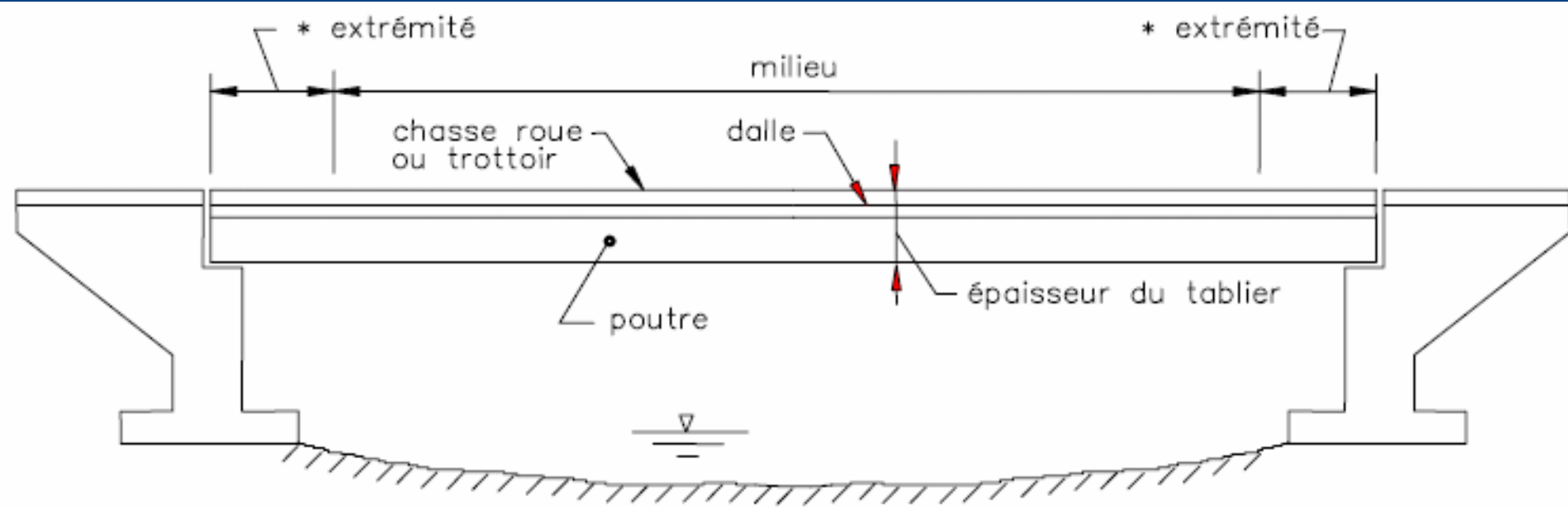
À partir de 1999, les rapports font état d'un pont à trois travées, les porte-à-faux étant considérés comme un système dalle / poutre à âme pleine (fiches E et F)

En 2005, le platelage est divisé en trois travées, alors que le système structural décrit ne tient compte que la **travée centrale** formée de poutres-caissons (fiche E seulement)

Précision des rapports

Description des porte-à-faux (...)

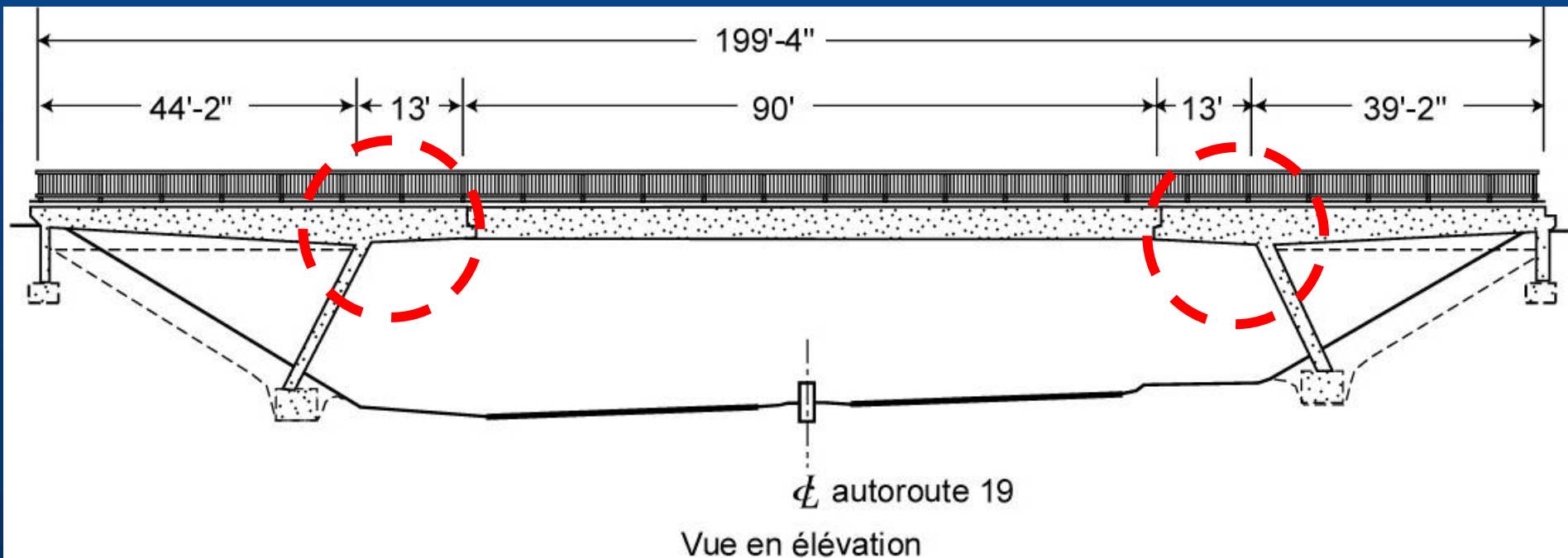
Exemple de pont avec des culées de configuration typique



Précision des rapports

Description des porte-à-faux (...)

Viaduc de la Concorde: culées de configuration particulière



Précision des rapports

La description des **assises** des culées n'a pas changé au fil des rapports

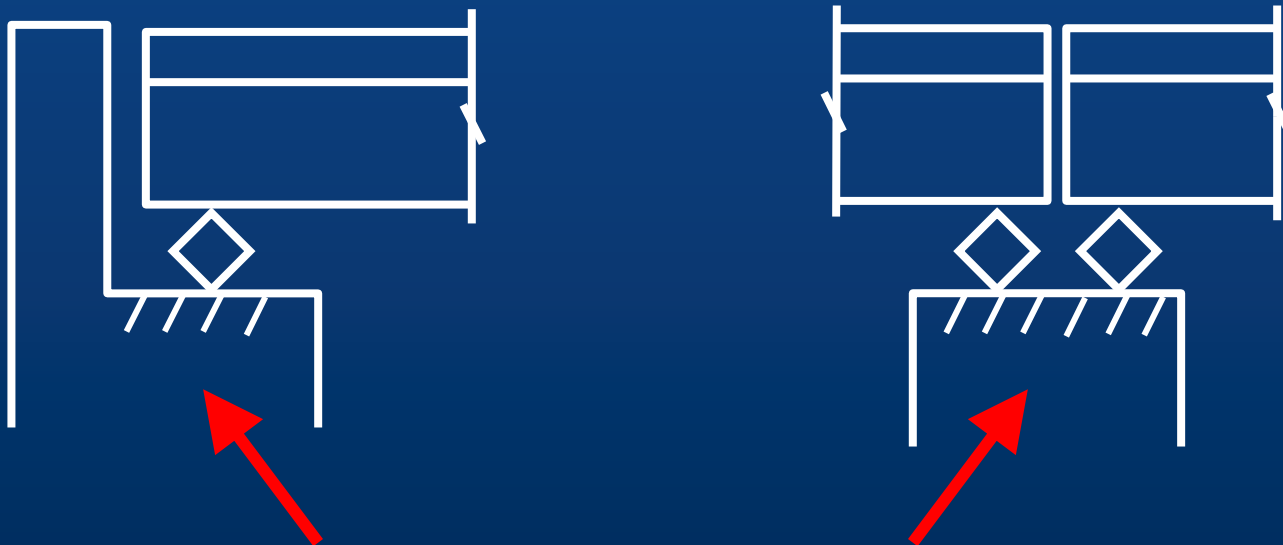
Décrits d'abord comme des culées ordinaires (fiche C), les éléments de fondation ont ensuite été répertoriés comme une combinaison culée / béquille (fiches C et D)

Dans tous les cas, même lorsque les dalles en porte-à-faux étaient considérés comme des poutres ou dalles, les **assises** étaient repertoriées comme des assises de culées typiques

Précision des rapports

Description des **assises** (...)

Même lorsque les porte-à-faux des culées étaient considérés comme des dalles (travées 1 et 3), les assises étaient considérées comme celles de culées ordinaires (éléments **secondaires**)

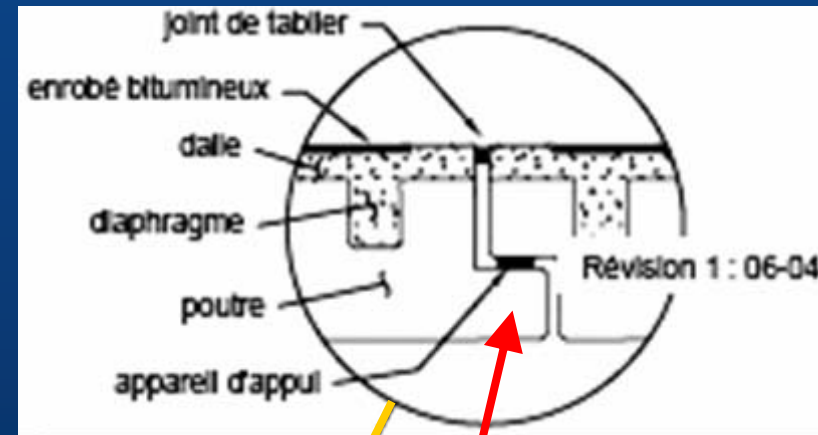


Assises d'éléments de support massifs

Précision des rapports

Description des **assises** (...)

Les **assises** constituaient l'extrémité des dalles en porte-à-faux et auraient conséquemment dû être traitées comme des éléments primaires



**extrémité de
la dalle**

Précision des rapports

La description des **diaphragmes** a changé au fil des rapports

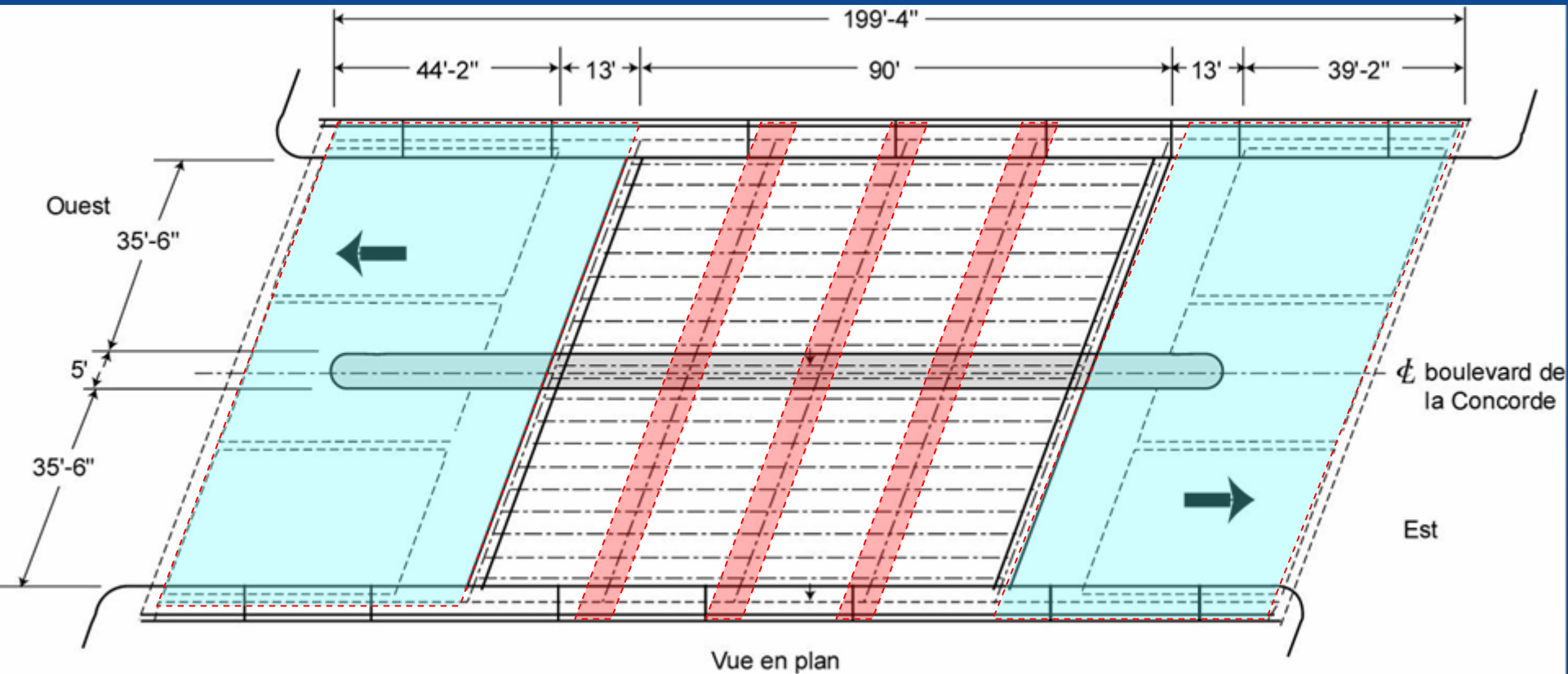
En 1995, les diaphragmes n'étaient pas répertoriés

En 1999 et 2002, les diaphragmes d'extrémité étaient répertoriés dans les fiches des porte-à-faux des culées, le diaphragme central demeurant non répertorié

En 2005, les diaphragmes étaient adéquatement répertoriés dans les fiches du système structural (poutres caisson)

Précision des rapports

Description des diaphragmes (...)



Précision des rapports

L'utilisation de termes inadéquats nuit à la qualité et la précision des rapports

- Utilisation inappropriée des termes qualificatifs

ex.: État général de l'ouvrage qualifié de «**bon**»

et

CECS = 4 («**acceptable**»)

Examen du dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

- Revue chronologique des rapports d'inspection (1977-2006)
- Tenue du dossier
- Conformité avec les manuels
- Précision des rapports d'inspection
- Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Consensus 4.9.2 : Inspection et entretien

Il manquait au dossier disponible du pont, entre autres, les «véritables» plans «tels que construit», le dossier d'entretien ainsi que les propriétés des matériaux spécifiées et en place.

Consensus 4.9.3 : Inspection et entretien

Certaines exigences prévues dans les manuels d'inspection du MTQ n'ont pas été entièrement respectées, quant :

- à l'attribution de certaines cotes d'évaluation;
- au contenu détaillé des rapports d'inspection; et
- aux délais prescrits par le manuel pour les travaux d'entretien.

Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Le caractère incomplet et imprécis de l'information consignée dans le dossier d'inspection a nuit au bon suivi de l'ouvrage

- Appréciation de l'évolution des désordres non possible
- Priorisation inadéquate des interventions

Commentaires sur le dossier d'inspection du viaduc de la Concorde

Les actions que commandaient l'information rapportée dans les rapports d'inspection n'ont pas été entreprises après 1992

- Entretien préventif
- Réparation
- Expertise de dalle