

51^e Édition

Congrès et Salon des transports

Les Grands Défis



Englobe

Sols Matériaux Environnement



Méthode pratique d'investigation et de caractérisation d'ouvrages de béton

Avril 2016

Présentée par : Sofie Tremblay, géo. M. Sc.



Englobe

Sols Matériaux Environnement



Déroulement de la présentation

- Historique et contexte
- Description de la méthode
- Exemple de caractérisation à l'aide de la méthode proposée

Historique et contexte

- Boom économique d'après guerre
- Construction de nombreux ouvrages publics
- Fin de la durée de vie de certains ouvrages
- Septembre 2006 - Effondrement du viaduc de la Concorde

Historique et contexte




Viaduc de la Concorde

Tiré du rapport de la Commission
Johnson





Historique et contexte

Plan de redressement routier

-  Adopté en 2007 suite aux recommandations de la **Commission Johnson**
-  Investissements de **11,6 milliards** de dollars sur **5 ans**
-  **30 %** (environ 3,5 milliards) de ce montant devait être consacré à la conservation des structures (valorisation de l'entretien préventif)

Historique et contexte

Plan de redressement routier

-  L'objectif du gouvernement était d'**améliorer l'état du réseau routier** québécois afin qu'il soit comparable à celui des USA (les meilleurs en la matière)
-  Objectif visé : **80 %** des structures du réseau soient en bon état pour **l'année 2022**

Les Grands Défis

Méthode pratique d'investigation et de caractérisation

Évaluer adéquatement l'état actuel du béton d'un ouvrage

-  **Limiter les coûts de réparation**
-  **Assurer et prolonger le bon comportement en service de la structure**

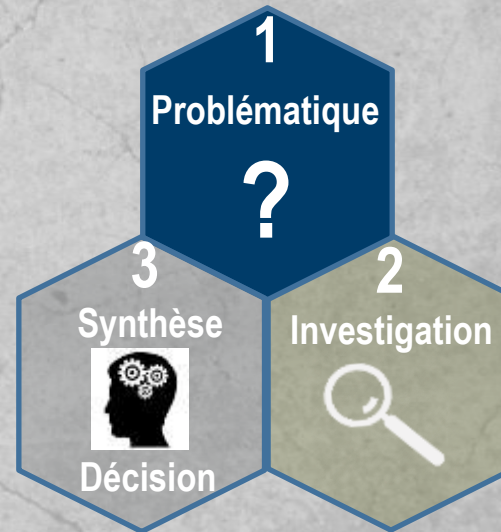
Méthode pratique d'investigation

■ Trois étapes principales





Méthode pratique d'investigation





Étape 1





Deux principaux éléments à prendre en considération

-  Contexte global et suivi du cycle de vie de la structure
-  Identification des indices de détérioration visibles afin de cibler la ou les pathologies présentes ainsi que les causes




Contexte global et suivi du cycle de vie de la structure

-  Localisation et conditions d'exposition aux agents agresseurs (ex.: sels déglaçants, marées, cycles répétés de gel-dégel)
-  Année de mise en service et durée de vie prévue de la structure
-  Compilation des campagnes d'inspection antérieures
-  Spécifications et types de béton (si disponibles)

Principales pathologies pouvant affecter le béton au Québec

-  Désordres chimiques
-  Désordres physiques

Désordres chimiques

-  Réaction alcalis-granulats
-  Corrosion des barres d'armature
-  Formation d'ettringite différée

Identification de la problématique

?

➤ Réaction alcalis-granulats

Patron de fissuration polygonal avec exsudation



Identification de la problématique

?

Corrosion des barres d'armature

Produits d'oxydation,
efflorescence et
exsudation



Identification de la problématique

?

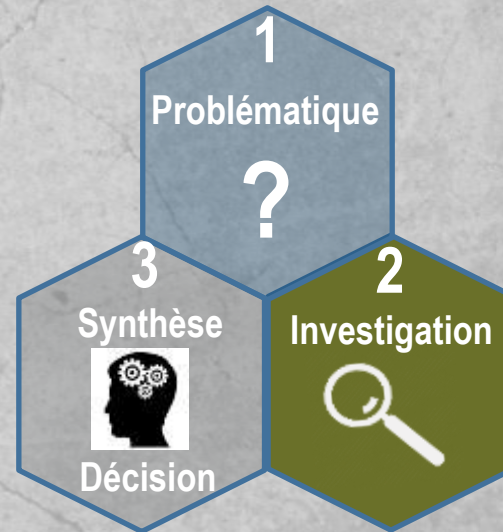
❖ Désordres physiques

- ❖ Cycles de gel / dégel
- ❖ Écaillage



Méthode pratique d'investigation

Étape 2








◆ Deux phases principales :

- ◆ Planification et prélèvement des échantillons adapté à la ou les pathologies possibles
- ◆ Réalisation des essais et détermination des propriétés et caractéristiques du béton



Planification et prélèvement

-  Couvrir tous les éléments structuraux de l'ouvrage
-  Couvrir les différentes zones d'exposition
-  Assurer la représentativité des échantillons

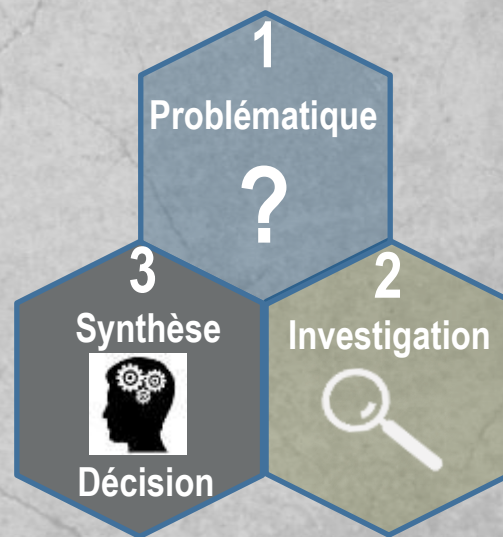


- **Réalisation des essais et détermination des propriétés du béton**
 - Réalisation des essais selon les normes applicables
 - Détermination de propriétés et caractéristiques de l'ouvrage

Méthode pratique d'investigation



Étape 3





- **Le processus décisionnel doit prendre en compte:**
 - La durée de vie prévue **VS** âge actuel et sa fonctionnalité
Mise aux normes
 - L'endommagement actuel de l'ouvrage
 - Niveau d'évolution de la ou des pathologies
 - Modélisation de l'évolution des différents processus



- **Choix du scénario adapté à l'ouvrage**
 - Suivi et instrumentation de la structure
 - Réhabilitation et mise à niveau
 - Mise hors service de la structure et recyclage des matériaux

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



- **Type de structure: Viaduc en béton armé**
- **Localisation: Quartier Limoilou, Ville de Québec**
- **Conditions d'exposition: Humidité, sels déglaçants et gel / dégel**
- **Année de mise en service: 1951 (65 ans)**
- **Compilation des campagnes d'inspection: Aucune information**
- **Spécifications et type de béton: Aucune information**

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



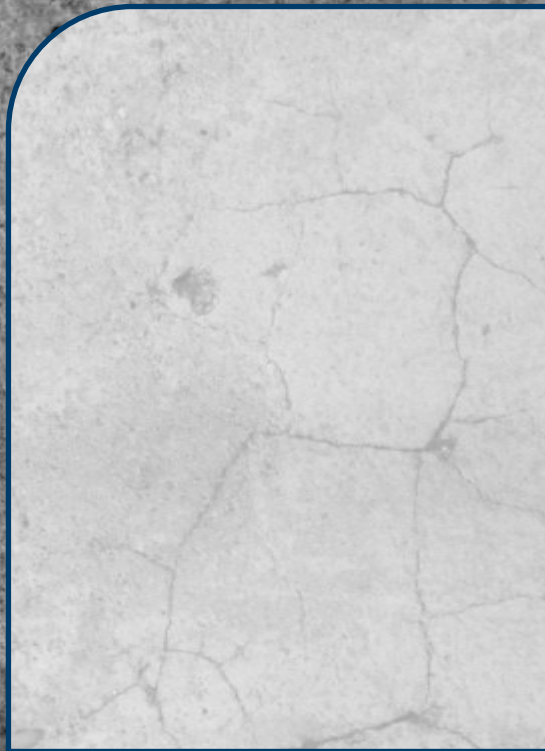
Identification de la problématique



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Identification de la problématique



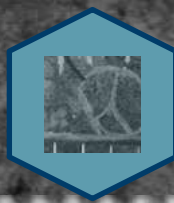
Exemple de caractérisation d'un ouvrage



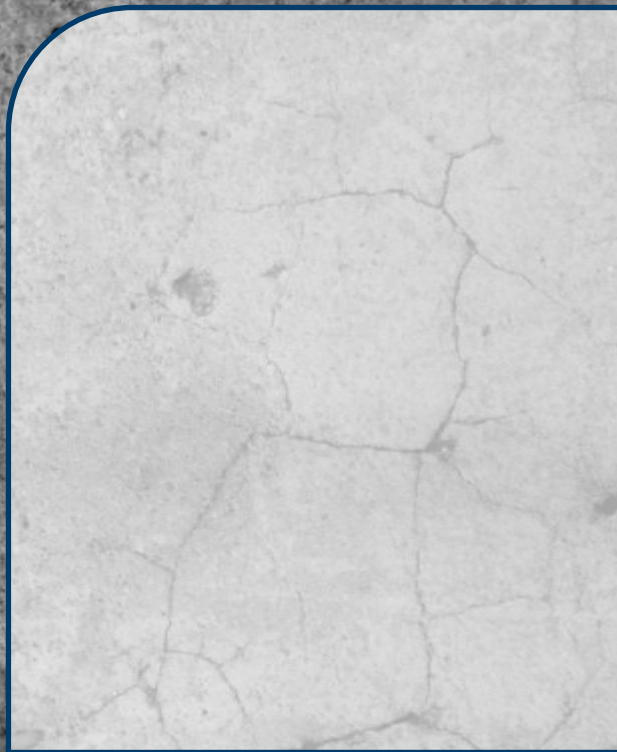
Identification des indices de détérioration visible



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Identification des indices de détérioration visible



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Identification de la problématique



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Identification de la problématique



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Identification de la problématique



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Action:

Prélever des carottes (10)
dans différents éléments
de la structure :

- Culées;
- Pile;
- Dalle.

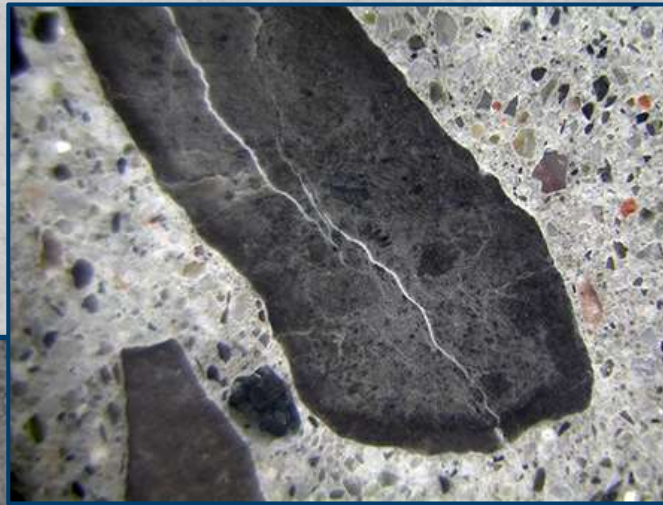


Exemple de caractérisation d'un ouvrage

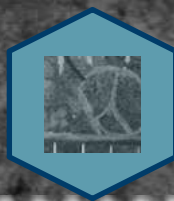


Investigation

Macroscopique
vers
Microscopique



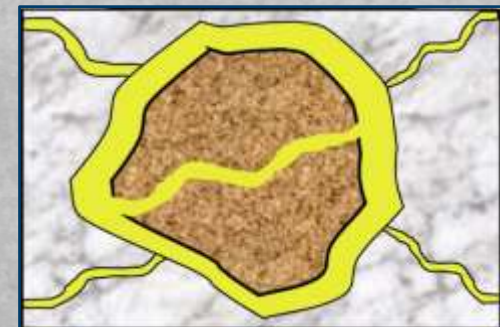
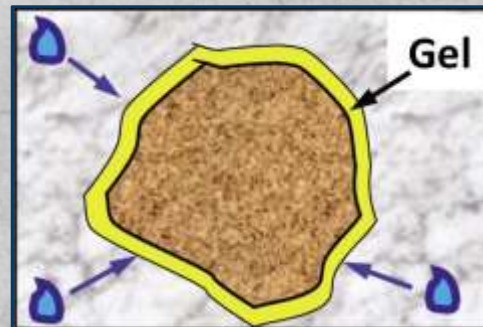
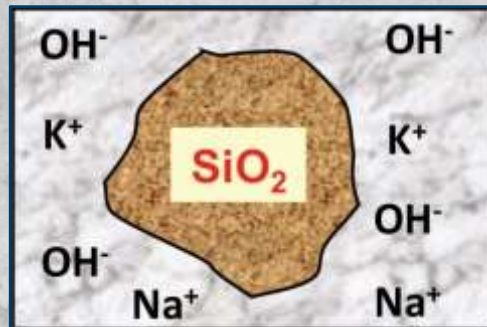
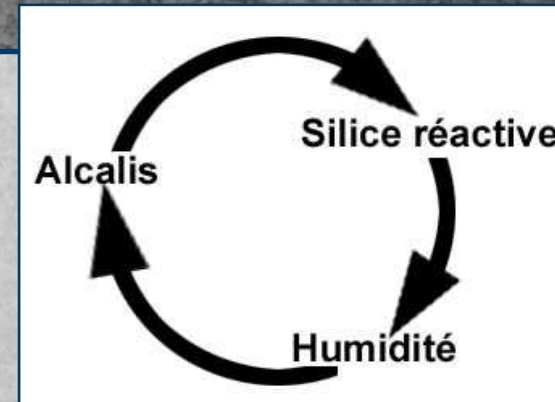
Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Pathologie identifiée :

Réaction alcalis-granulats



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Programme de caractérisation général :

- Examen visuel (10);
- Résistance à la compression (8);
- Caractérisation du réseau de vides d'air (1);
- Masse volumique, porosité et absorption (2).

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Programme de caractérisation adapté (RAG) :

- Essai cyclique de chargement / déchargement (SDT) (3);
- Module d'élasticité (3);
- Examen pétrographique (2);
- Teneur en alcalis (1).

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Résistance à la compression

Localisation	(MPa)
Culée est	38*
Culée ouest	42*
Pile	42*
Dalle	51*

* Moyenne des résultats

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Module d'élasticité

Localisation	$E_{\text{mesuré}}$ (GPa)	$E^*_{\text{théorique}}$ (GPa)	$E_{\text{mesuré}} / E_{\text{théorique}}$ (%)	Diminution (%)
Culée ouest	19,7	30,1	65	35
Pile	20,0	30,1	60	40
Dalle	24,8	33,6	74	26

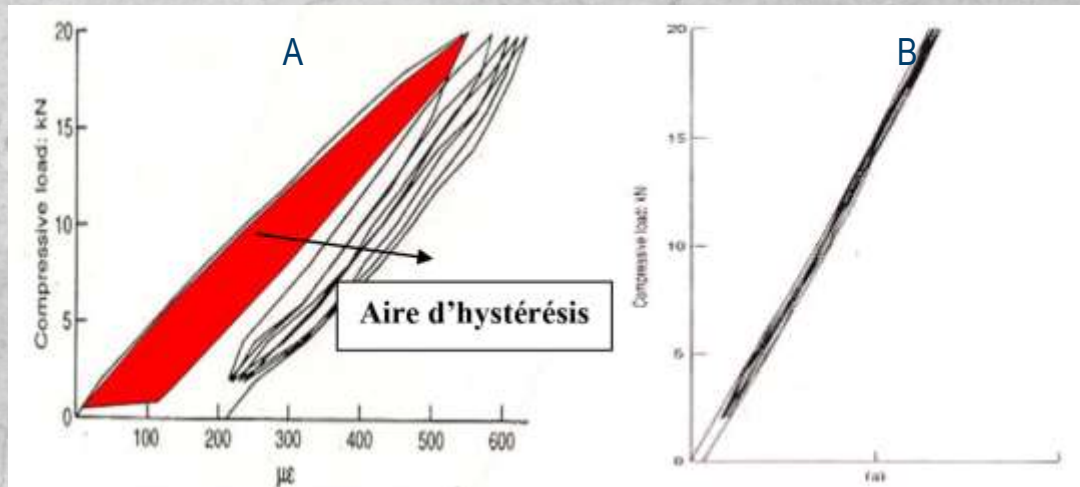
$$*E_c = 4,73 (f'_c)^{0,5}$$

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Essai cyclique de chargement-déchargement (SDT)



Énergie dissipée ($H - J/m^3$) au cours des cycles de l'essai SDT pour un béton endommagé (A) et sain (B) (Crisp et coll., 1993).

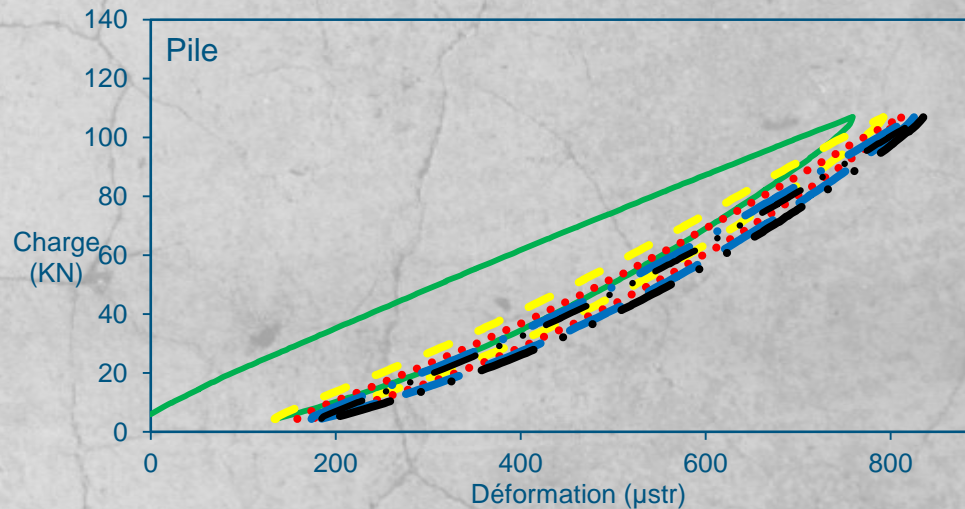


Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Essai cyclique de chargement-déchargement (SDT)



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Essai cyclique de chargement-déchargement (SDT)

Localisation	Énergie Dissipée (J/m ³)	Déformation à 5 cycles (μm/m)
Culée ouest	1641	688
Pile	2230	835
Dalle	1935	767

À titre informatif, un **béton standard** (35 MPa) possède une énergie dissipée au premier cycle de **550 J/m³** et une déformation plastique après 5 cycles de **40 μm/m**

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Examen pétrographique

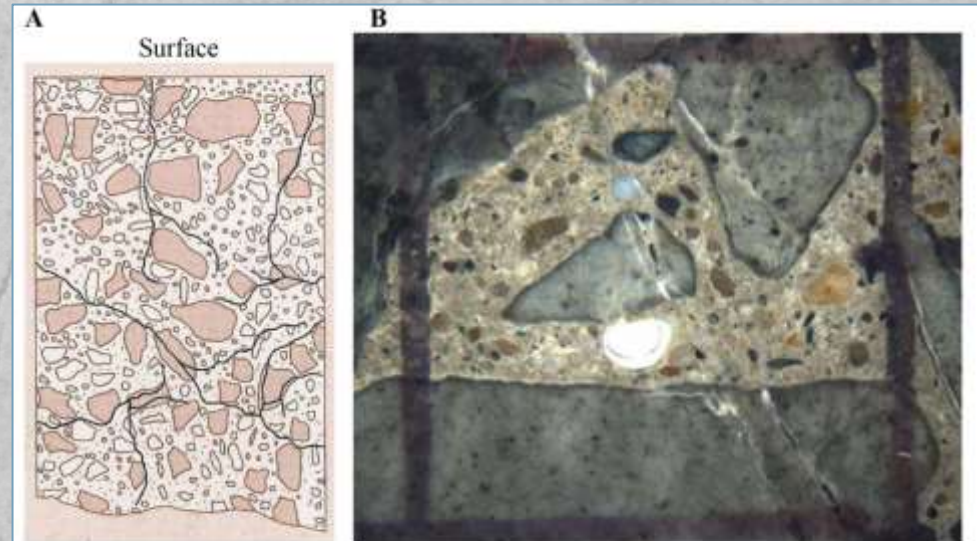


Figure 1 : Fissuration du béton associée à la RAS (granulat grossier réactif). A. Représentation schématique de la fissuration engendrée par un gros granulat réactif (BCA 1992). B. Fissuration dans un béton incorporant un gros granulat réactif d'origine volcanique.

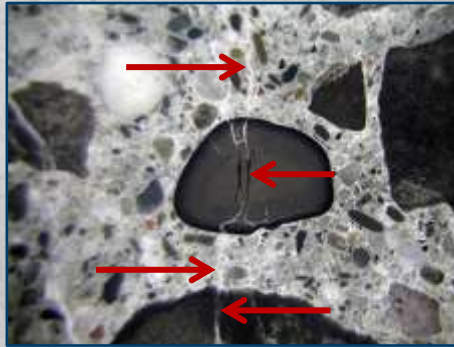
V. Villeneuve et al. (Février 2010). Description des indices pétrographiques pour analyse pétrographique semi-quantitative selon la méthode du Damage Rating Index.

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Examen pétrographique DRI



Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Investigation

Teneur en alcalis-solubles: Culée est : $\text{Na}_2\text{O}_{(\text{eq})}$ corrigée 3,98 kg/m³

Alcalis-solubles Na_2O (eq) (kg/m ³)	Risque de RAG
< 1,0	Très faible
1,0 à 1,5	Faible
1,5 à 2,0	Modéré
2,0 à 2,5	Élevé
> 2,5	Très élevé

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Synthèse

Caractéristiques du béton

Essais	Culée est	Culée ouest	Pile	Dalle	Exigences
f'c (MPa) moyen	38	42	42	51	35 ¹
Porosité		12,6	15,9		
Absorption		5,4	7,1		< 6,5 ²
Facteur d'espacement (μm)		1 902			< 230 ²
Teneur en air (%)		2,3			$\geq 3,0$ ²

¹ Selon la classe d'exposition C-1 de la norme CSA A23.1

² Selon les exigences de la norme ASTM C457

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Synthèse

Caractéristiques du béton

Essais	Culée est	Culée ouest	Pile	Dalle	Exigences
Module d'élasticité (MPa)		19,7	20,0	24,8	Entre 20 et 50 ¹
SDT – Énergie dissipée (J/m ³)		1 641	2 230	1 935	≈ 550 ²
SDT – Déformation (μm/m)		688	835	767	≈ 40 ²
Teneur en alcalis (kg/m ³)	3,98				< 1,00 ³

¹ Basée sur des études antérieures réalisées par notre laboratoire

² Pour un béton non endommagé, selon les travaux de recherche de Sanchez et al. (2014)

³ Selon les travaux de recherche de Bérubé et al. (2005)

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Conclusion

Compte tenu de l'âge de la structure :

- Propriétés mécaniques acceptables;
- La corrosion des armatures nécessite une nouvelle détermination des capacités portantes.

Exemple de caractérisation d'un ouvrage



Conclusion

Compte tenu de l'âge de la structure :

❖ Problématiques liées à la RAG

La fissuration permet la pénétration des agents agresseurs

Limiter l'apport d'eau :

Améliorer le drainage de la structure

Protection des surfaces exposées

Conclusion - Méthode

Trois étapes



Les Grands Défis

Méthode pratique d'investigation et de caractérisation

Évaluer adéquatement l'état actuel du béton d'un ouvrage

-  **Limiter les coûts de réparation**
-  **Assurer et prolonger le bon comportement en service de la structure**

Remerciements



Des questions?



Englobe

Merci de votre
attention



Englobe