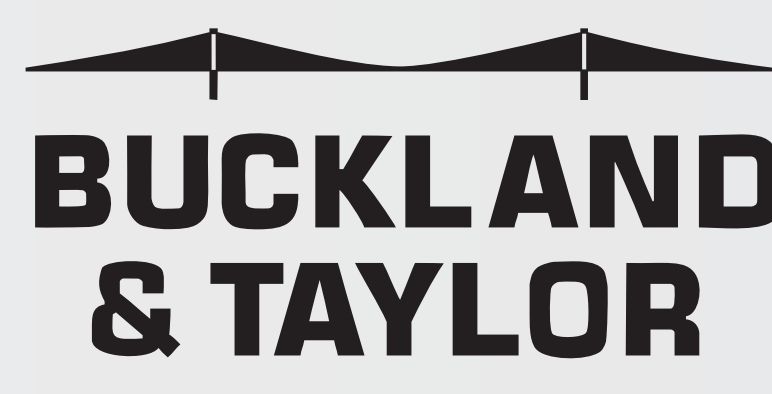


CONSTRUIRE DES PONTS CENTENAIRES : INTÉGRER LA DURABILITÉ À LA CONCEPTION STRUCTURALE

ONE BRIDGE TO SPAN 100 YEARS: INTEGRATING DURABILITY AND STRUCTURAL DESIGN



**BUCKLAND
& TAYLOR**



COWI

Présenté par: / Presented by:

Anne-Marie Langlois, M.Sc., Ing., P.Eng.,
Bridge Engineer / amlh@b-t.com

Carola Edvardsen, Dr.-Ing.,
Chief Specialist

101 - 788 Harbourside Drive
North Vancouver, British Columbia V7P 3R7
www.b-t.com

Tel: +1 604-996-1222

Problématique Context



Pour réduire les coûts du cycle de vie des structures en béton, celles-ci sont maintenant conçues pour des durées de vie de 100 ans ou plus; plus que les 75 années généralement considérées dans les normes de conception des structures. Les normes de conception des structures nord-américaines ne considèrent pas explicitement la durabilité et la durée de vie des structures en béton armé. Les prescriptions dans ces normes sont simplistes et ne peuvent pas quantifier la durée de vie d'une structure dans un environnement donné. L'expérience a démontré que des performances fiables à long terme de ces structures ne sont pas atteintes, surtout dans les environnements agressifs.

In an effort to reduce life-cycle costs, new major concrete structures are designed for service lives of 100 years or more; longer than the 75 years typically assumed in structural design codes. North American structural design codes do not explicitly consider the durability and service life of reinforced concrete structures. Prescriptive requirements in these codes result in oversimplified deemed to satisfy rules that cannot quantify the service life of a structure in a given environment. Reliable long-term performance of structures in aggressive environments is not achieved and serviceability failures occur earlier than the assumed design life.

Conception pour 100 ans de durée de vie Designing for 100 year service life

Pour réaliser en toute confiance la durée de vie requise, les ingénieurs doivent aller au-delà des codes de conception actuels et évaluer les mécanismes de dégradation et les mesures d'atténuation spécifiques à chaque structure et son environnement. Similaire aux normes modernes de conception, une approche rationnelle, basée sur la théorie de la fiabilité peut être utilisée.

Cette affiche présente la méthodologie pour la conception de la durabilité et son application sur deux ponts importants en Amérique du Nord où chacun doit atteindre une durée de vie de 100 ans pour les composantes irremplaçables: le Ohio River Bridge Downtown Crossing et le Tappan Zee Hudson River Crossing.



Description du projet

- Pont à haubans : 642 m (2106 ft.)
- 100 ans de durée de vie

Rôle de B&T:

- Conception de la structure principale
- Stratégie de protection contre la corrosion pour la structure principale (Corrosion Protection Plan)

Project description

- cable stayed structure: 642 m (2106 ft.)
- 100-year service life

Role of B&T:

- Structural design for the main span bridge
- Corrosion Protection Plan for the main span bridge

To confidently achieve the required service life, engineers must go beyond current structural design codes and assess deterioration mechanisms and mitigation measures specific to each structure and its environment. Similar to modern structural design codes, a rational, reliability-based approach can be used.

This poster presents the state-of-the-art durability design methodology and its application on two major North American bridges, each required to achieve a 100-year service life for non-replaceable components: the Tappan Zee Hudson River Crossing in New York and the Ohio River Bridge Downtown Crossing in Kentucky.



Description du projet

- longueur totale : 4881 m (16013 ft.)
- pont à haubans : 369 m (1200 ft.)
- 100 ans de durée de vie

Rôle de B&T:

- Conception de la structure principale
- Stratégie de protection contre la corrosion pour les structures d'approche et la structure principale (Corrosion Protection Plan)
- Planification des opérations d'entretien
- Conception du système de surveillance de l'état structural (structural health monitoring)
- Évaluation probabiliste de collisions par des navires

Project description

- total length of 4881 m (16 013 ft.)
- main span length of 369 m (1 200 ft.)
- 100-year service life requirement

Role of B&T:

- Structural design for the main span bridge
- Corrosion Protection Plan for the main span bridge and approach span bridges
- Operations and maintenance planning
- Structural health monitoring system design
- Ship impact assessment

FIB Bulletin 34: Code de conception pour la durée de vie Model Code for Service Life Design

3.1 Sélection de l'état limite 3.1 Select limit state

Fib Bulletin 34 : Code de conception pour la durée de vie
Le fib bulletin 34 a été développé par le projet de recherche européen DuraCrete, l'approche a depuis été intégrée dans le fib Bulletin 34 et la norme ISO 16204.

Fib BULLETIN 34 Model Code for Service Life Design
The fib bulletin 34 was originally developed within the European research project DuraCrete, the approach has since been integrated in the fib Model Code 2010, and the ISO Standard 16204.

L'approche intègre deux stratégies possibles de durabilité (A et B), qui sont choisies sur la base du niveau de fiabilité requis et en tenant compte des modèles disponibles.

STRATÉGIE A - approche probabiliste - Cette approche est basée sur la même philosophie de conception qui est à la base de codes de conception structurale modernes. La fiabilité de la structure, caractérisée par la résistance à l'initiation de la corrosion, est mesurée par une probabilité de défaillance de 10% à l'intérieur de la durée de vie considérée.

STRATÉGIE B - Évitement de la détérioration - Cette stratégie évite la dégradation causée par l'exposition à des environnements agressifs grâce à la sélection de matériaux non réactifs ou d'autres solutions pour éviter le mécanisme de dégradation.

The approach incorporates two potential durability strategies (A and B), which are selected based on the required level of reliability and with due attention to feasibility.

STRATEGY A - FULL PROBABILISTIC APPROACH - This approach is based on the same limits states design philosophy that is the basis for modern structural design codes. The reliability of the structure in preventing reinforcement depassivation is characterized by a 10% probability of depassivation with in the target service life.

STRATEGY B - AVOIDANCE APPROACH - This strategy avoids the degradation caused by exposure to aggressive environments through the selection of non-reactive materials or other solutions to prevent the driving degradation mechanism.

Strategie A - Méthode probabiliste Strategy A - Probabilistic methodology	Stratégie B - Évitement de la détérioration Strategy B - Avoidance of deterioration and Deemed to satisfy
Corrosion due aux ions chlore Chloride-induced corrosion	Réaction alkali-granulats Alkali-aggregate reaction
Corrosion due à la carbonatation Carbonation-induced corrosion	Détérioration du aux gel-dégel Freeze-thaw degradation
	Écaillage Salt weathering
	Formation retardée d'ettringite Delayed ettringite formation

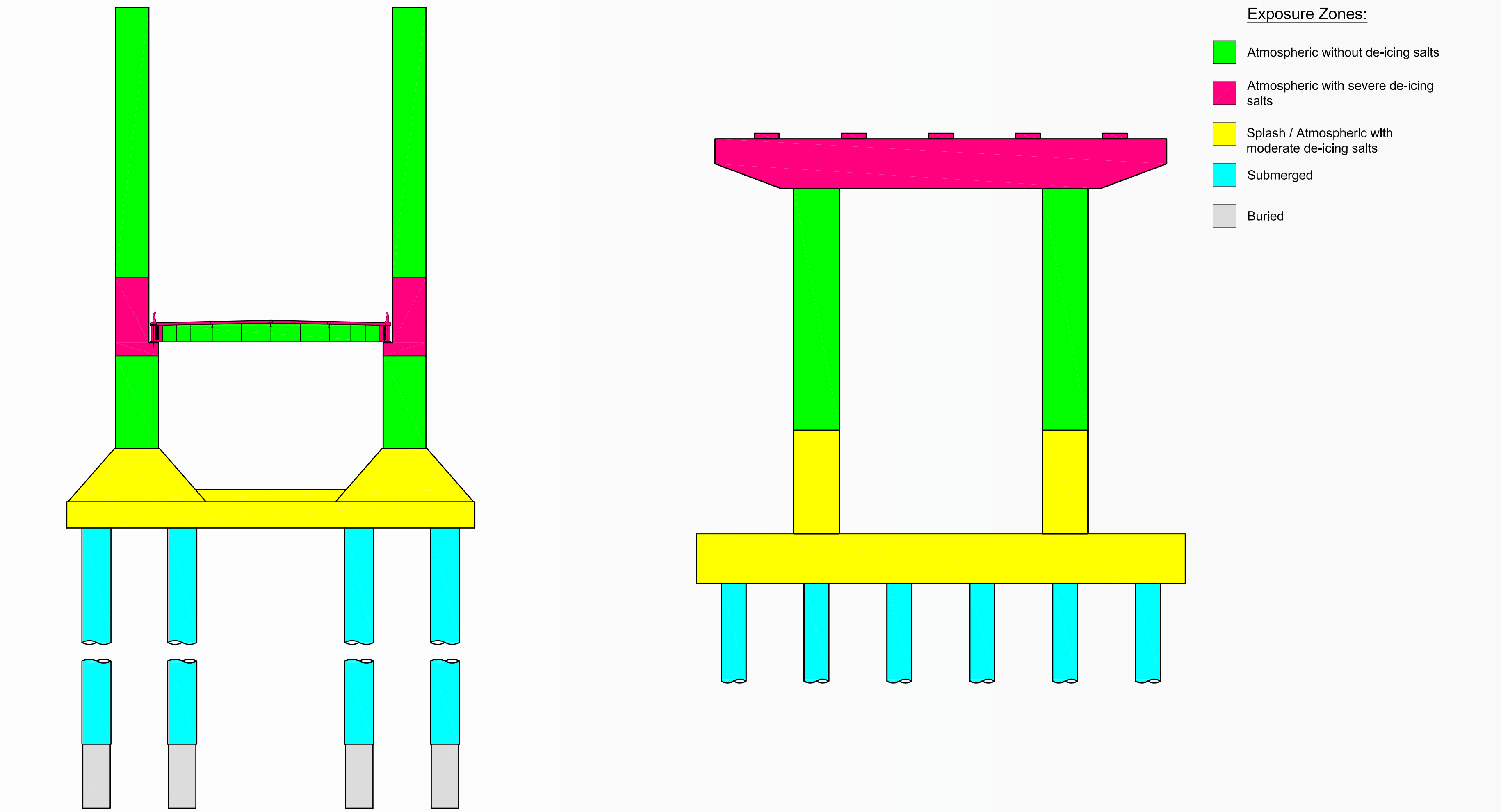
3.2 Définition des zones d'exposition et les mécanismes de dégradation / 3.2 Define exposure zones and degradation mechanisms

La sévérité de l'environnement varie tout au long de la structure. Par exemple, la concentration des ions chlore sur les surfaces de béton proches de la route sont beaucoup plus sévères que celles prévues dans les parties les plus hautes de la travée principale.

La division de la structure en différentes zones d'exposition constitue un moyen d'établir des exigences raisonnables et optimisées pour un élément ou une partie spécifique d'un élément.

The severity of the local environment varies throughout the structure. For example the expected concentration of chloride ions on concrete surfaces near the roadway are significantly more severe than those expected at the topmost portions of the main span towers.

Dividing the structure into various exposure zones, based on prevailing local conditions, provides a means to establish reasonable and optimized concrete requirements for a specific element or portion of an element.



3.3 Analyse et définition des paramètres 3.3 Analysis and determination of design parameters

Stratégie A: La pénétration des ions chlore est modélisée selon la seconde loi de Fick pour déterminer la concentration des ions chlore au niveau de l'armature. Une méthode de fiabilité du second ordre permet une détermination statistique de la qualité du béton, ainsi que de l'épaisseur de recouvrement.

Résultats:

- matériaux
- qualité du béton
- épaisseur de recouvrement de béton

Strategy A: Chloride ingress is modelled to determine the chloride concentration at the depth of the reinforcement based on Fick's second law of diffusion. A second-order reliability method provides a statistical-based determination of the required concrete quality and cover.

Results:

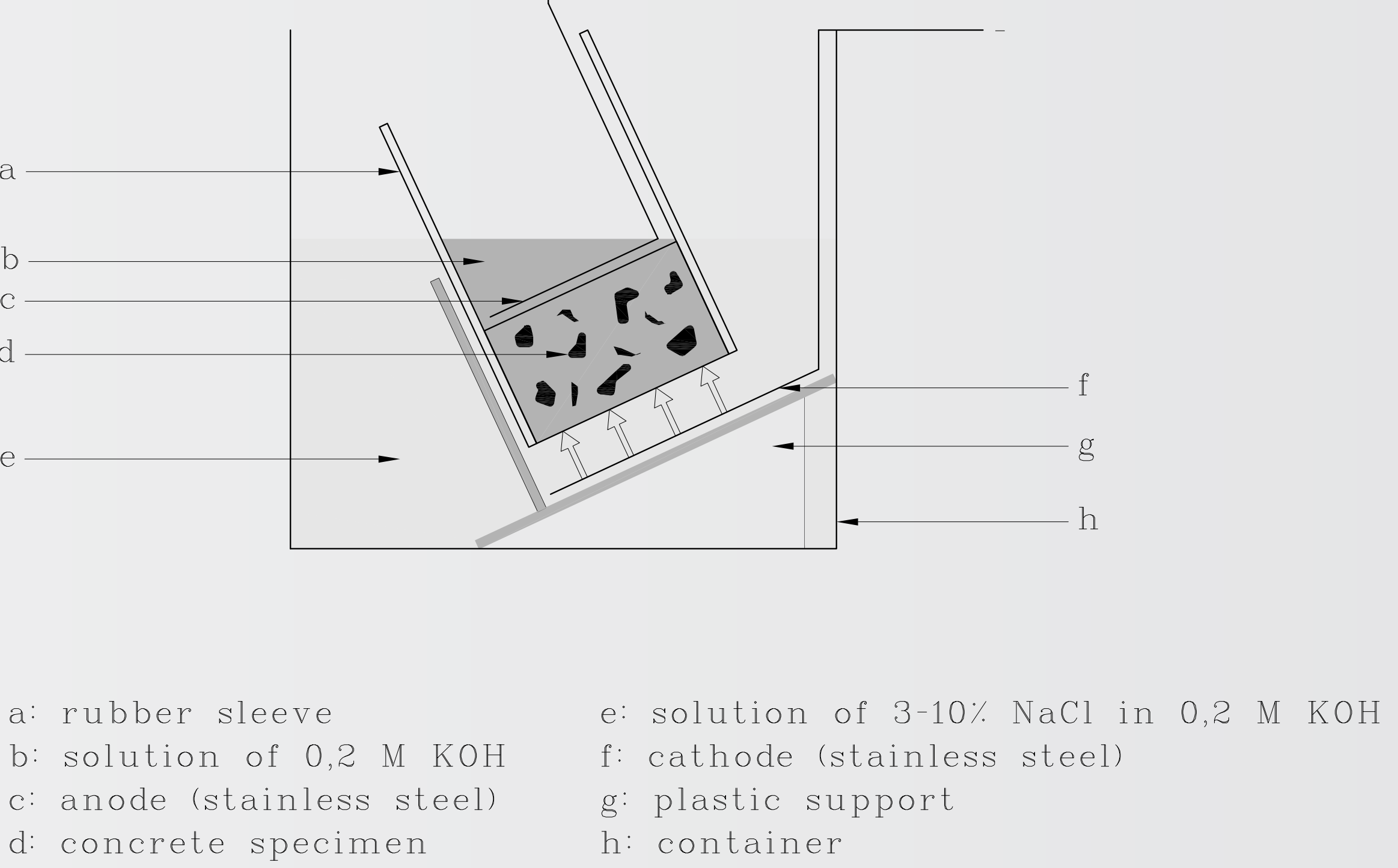
- Materials
- Concrete quality
- Concrete cover

3.4 Plans et devis 3.4 Project Specifications

Exposure Zone	Structural Element	Nominal cover [in]	Max. w/cm [-]	Max. mean Chloride Migration Coefficient $D_{Cl} \times 10^{-12}$ [m²/s]		
				OPC + 20-40% FA	OPC + 36-65% GGBS	OPC + 66-80% GGBS
De-icing salt spray	Towers, pier caps, abutments	3.0	0.40	14.1	3.4	4.9
	Deck			11.3	2.7	4.0
	Concrete barriers	2.75		12.4	3.4	4.6
Atmospheric	Towers, pier caps, pier columns	3.0	0.40	15.0	11.0	12.0
	Deck (Underside)	1.5		11.3	2.7	4.0
Splash	Towers, pier caps, pier columns	3.0	0.40		5.1	7.1
	Pile caps	4.0			9.9	12.0
Submerged	Concrete plug for piles	2.5	0.40	15.0	5.8	8.3
Embedded	Abutments, drilled shaft	3.0	0.40	15.0	8.5	12.0

Zone d'exposition	Élément structural	Épaisseur de recouvrement [in]	Max. w/cm [-]	Moyenne maximale du coefficient de migration des ions chlore $D_{Cl} \times 10^{-12}$ [m²/s]		
				OPC + 20-40% FA	OPC + 36-65% GGBS	OPC + 66-80% GGBS
Produits de déglacage	Piliers, chevêtres, culées	3.0	0.40	14.1	3.4	4.9
	Tablier			11.3	2.7	4.0
	Parapets			12.4	3.4	4.6
Atmosphère	Piliers, chevêtres, colonnes	3.0	0.40	15.0	11.0	12.0
	Tablier (dessous)	1.5		11.3	2.7	4.0
Embruns ou ruissellement des produits de déglacage	Piliers, chevêtres, colonnes	3.0	0.40		5.1	7.1
	Semelle	4.0			9.9	12.0
Immergé	Pieux	2.5	0.40	15.0	5.8	8.3
Enfouis	Culées	3.0	0.40	15.0	8.5	12.0

3.5 Construction: essais de qualification et production 3.5 Construction pre-testing and production testing



NTBuild 492 Test de migration rapide des chlorures
Le coefficient de migration de chlorures est mesuré en utilisant le test NTBuild 492. Ce test est effectué à 28 jours sur un échantillon découpé à partir d'un cylindre standard. L'échantillon est immergé dans une solution saline à laquelle un courant électrique est appliqué afin d'accélérer la pénétration des chlorures dans le béton pendant une période de 24 heures. Ensuite, l'échantillon est fendu en deux dans son diamètre et la profondeur de la pénétration des chlorures est mesurée en sept points le long de la surface de rupture. Ces données sont utilisées pour calculer la vitesse à laquelle les chlorures pénètrent dans le béton; ce taux est appelé le coefficient de migration des chlorures et est un paramètre d'entrée dans l'analyse de la durée de vie.

NTBuild 492 Rapid Chloride Migration Test
The chloride migration coefficient is measured using the NTBuild 492 test. This test is performed at 28 maturity days on a sample sliced from a standard cylinder. The sample is immersed in a saline solution to which a voltage is applied to accelerate the penetration of chlorides through the concrete for a period of generally 24 hours. At this time, the sample is split in half across its diameter and the depth of the chloride penetration is measured at seven points along the fracture surface. This data is used to calculate the rate at which chlorides penetrate the concrete; this rate is called the chloride migration coefficient and is a direct input value into the service life analysis.