



SOLUTIONS SIKA POUR LA RÉNOVATION DES PONTS EN BÉTON

JANVIER 2023

S. LADJIMI – SIKA TUNISIE

M. DONADIO – SIKA SERVICES

B. TRABELSI – SIKA TUNISIE

A. B. ABDELADHIM – SIKA TUNISIE

M. H. KAMOUN – SIKA TUNISIE

BUILDING TRUST



AGENDA

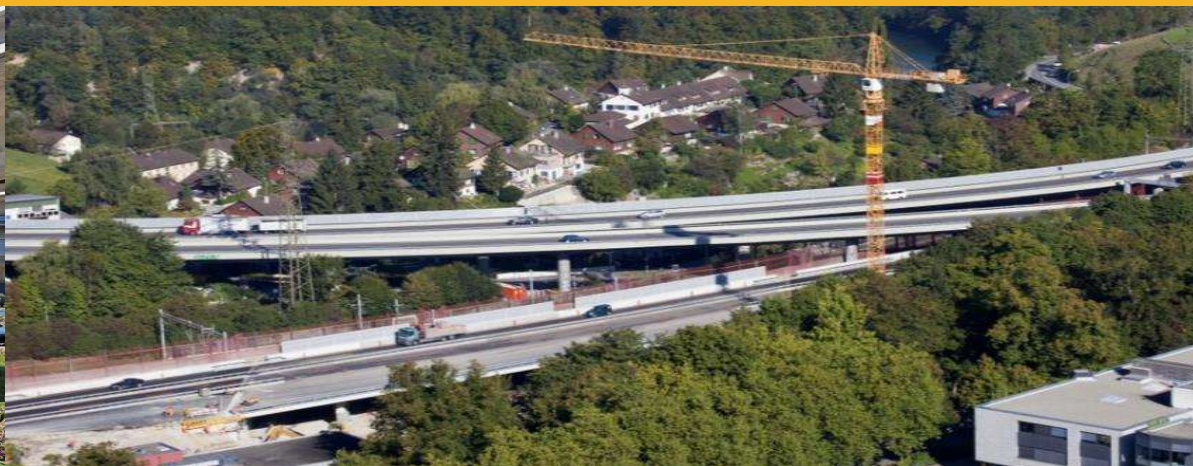
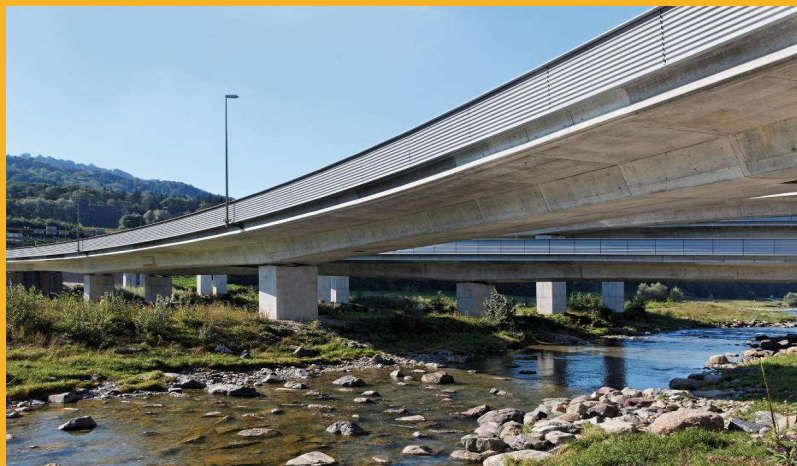
PART 1: INTRODUCTION

PART 2: DOMMAGES ET CONSÉQUENCES

PART 3: SOLUTIONS SIKA

PART 4: RÉFÉRENCES





SOLUTIONS SIKA POUR LA RÉNOVATION DES PONTS EN BÉTON

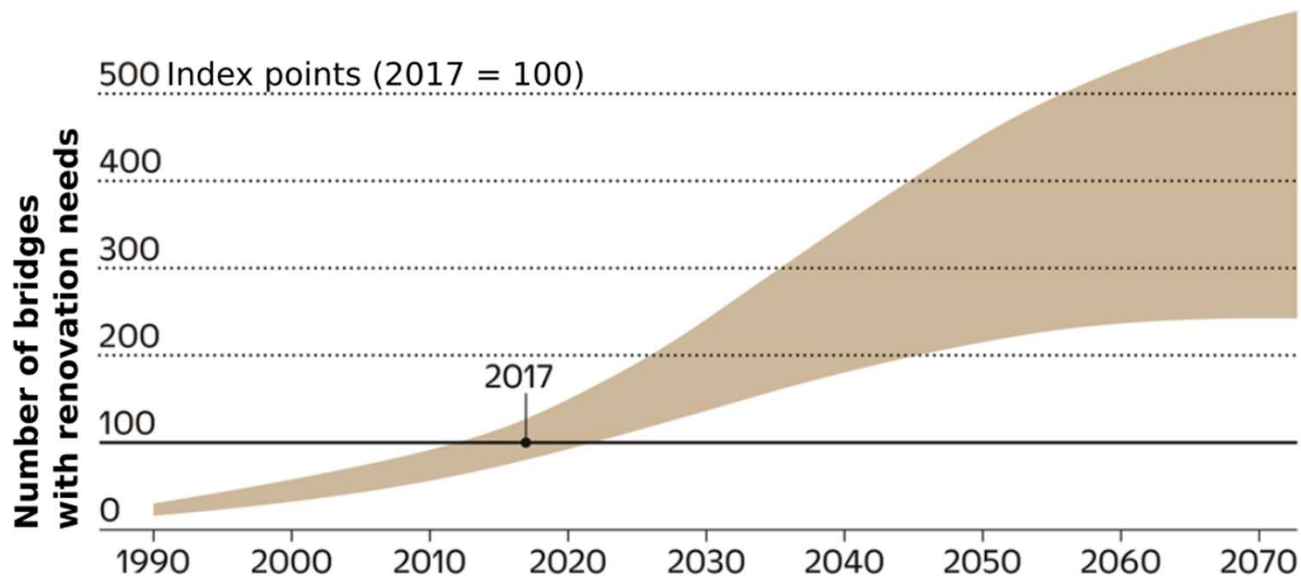
PART 1: INTRODUCTION

M. DONADIO

SUISSE

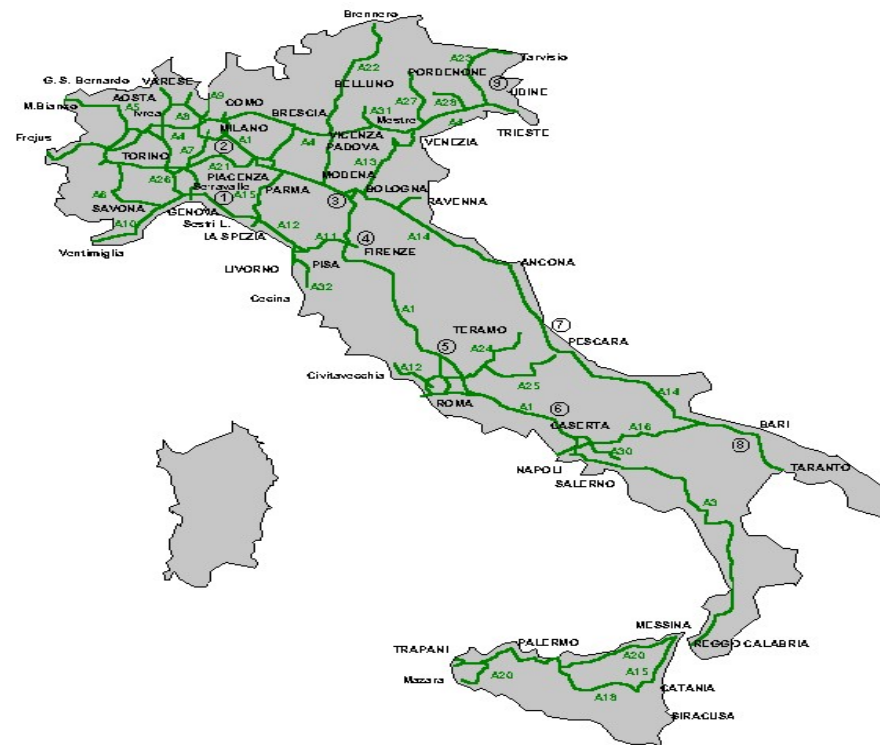
Estimation des besoins en renovation des ponts en Suisse

Renovation needs of bridges in Switzerland



Source: «Mater. Corros.», Bd. 63(12), S. 1147–1153

ITALIE – IMPACT HUMAIN



CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES



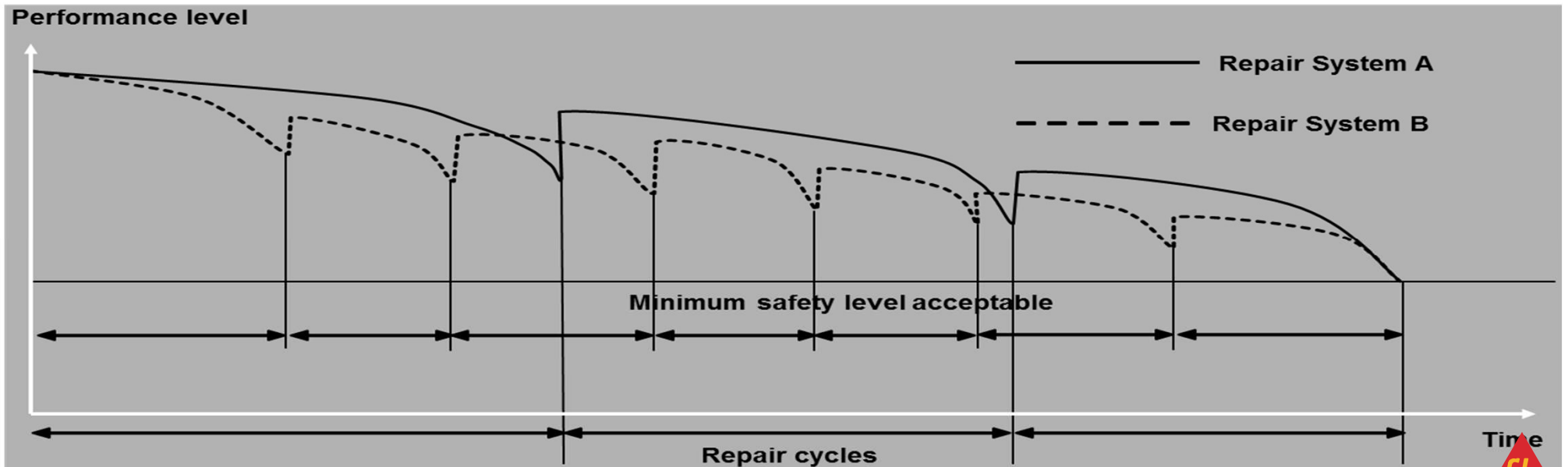
- DURABILITÉ
- DURÉE DE LA FERMETURE
- QUESTIONS ESTHÉTIQUES
- COMPATIBILITÉ DU SYSTÈME
- COÛT TOTAL DU CYCLE DE VIE
- EXPOSITIONS / CONDITIONS DU SITE
- TRAFIC
- ÉCOLOGIE



DURABILITÉ

Durée de vie nominale >100 ans - L'intervalle entre les cycles de rénovation doit être aussi grand que possible.

Le système de rénovation/protection doit donc offrir une durabilité adéquate.



DURÉE DE LA FERMETURE

Les ponts permettent le transfert des personnes et des marchandises



DURÉE DE LA FERMETURE

Les ponts permettent le transfert des personnes et des marchandises



Toute fermeture ou perturbation a un impact économique important



QUESTIONS ESTHÉTIQUES

Les ponts ne sont pas seulement des outils de communication pratiques.....
Ils deviennent souvent des points de repère importants qui apportent de la beauté aux paysages.



COMPATIBILITÉ DES SYSTÈMES UTILISÉS

Rénovation des ponts impliquent plus d'un produit.

Exemple du pont d'Aspi en Espagne:

- Protection cathodique
- Mortier de réparation
- Inhibiteur de corrosion
- Revêtement de protection



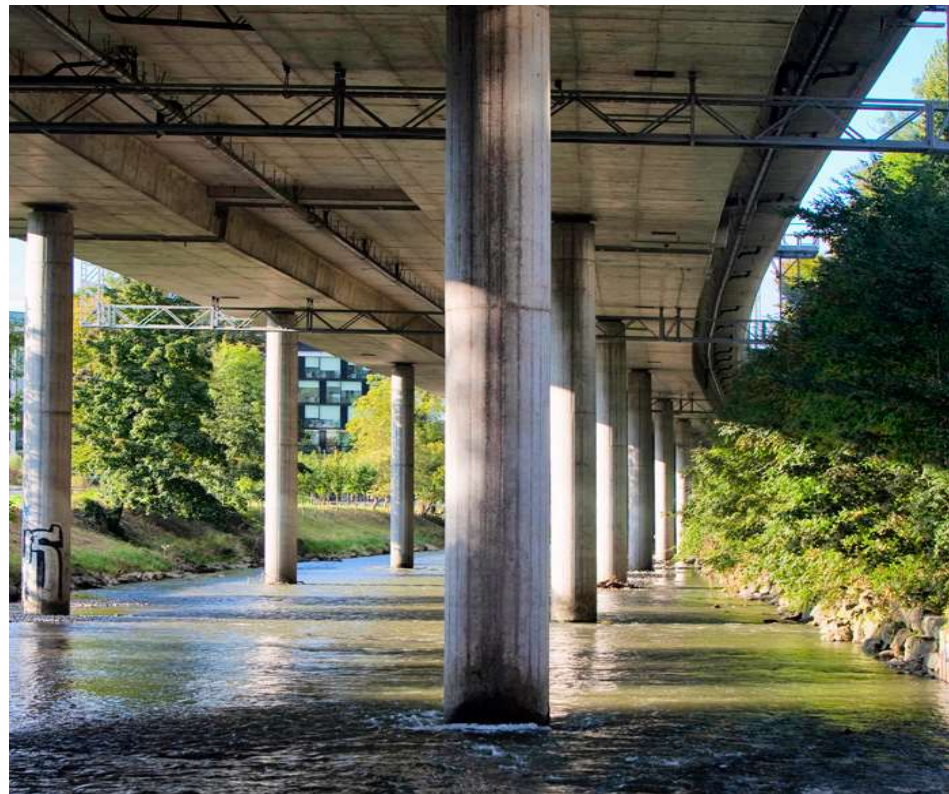
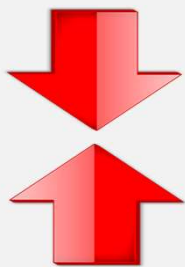
COÛT TOTAL DU CYCLE DE VIE

Coût total:

Coût de la rénovation + coût de la maintenance



Ou



EXPOSITIONS / CONDITIONS DU SITE

Situation du chantier, conditions environnementales, accès au site, etc.

Influences directes sur la sélection du système, les matériaux, la technique d'application, etc.



TRAFFIC

Les travaux de réparation sont souvent effectués dans une partie du pont alors que les autres voies sont ouvertes à la circulation...

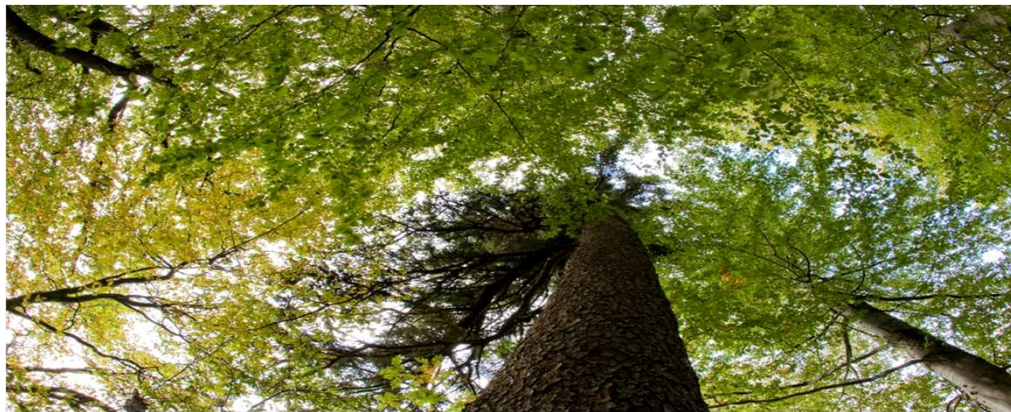
- Les réparations sont effectuées sous charge dynamique...
- Incidences élevées sur le choix des matériaux...



ECOLOGIE

Pour finir, mais pas le moins important...

Dans la mesure du possible, les matériaux utilisés pour la remise en état doivent être des produits sans solvant... Avec faible impact sur l'environnement





SOLUTIONS SIKA POUR LA RÉNOVATION DES PONTS EN BÉTON

PART 2: DOMMAGES ET CONSÉQUENCES

M. DONADIO

AGENDA

- EXPOSITION ET DOMMAGES DES PONTS EN BÉTON
- CORROSION DUE À LA CARBONATATION
- CORROSION DUE AUX IONS CHLORURE
- RÉACTION DE LA SILICE ALCALINE



CAUSES ET CONSÉQUENCES DE LA CORROSION

Carbonatation

Pénétration des chlorures

Faible enrobage

Quality des bétons

Pénétration de l'eau

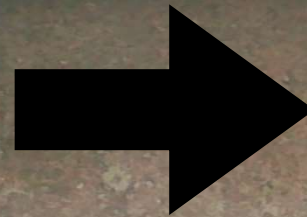
Eclats des bétons

Affaiblissement de la structure

Echec des réparations

Coût exponentiel

Réduction de la valeur de la structure

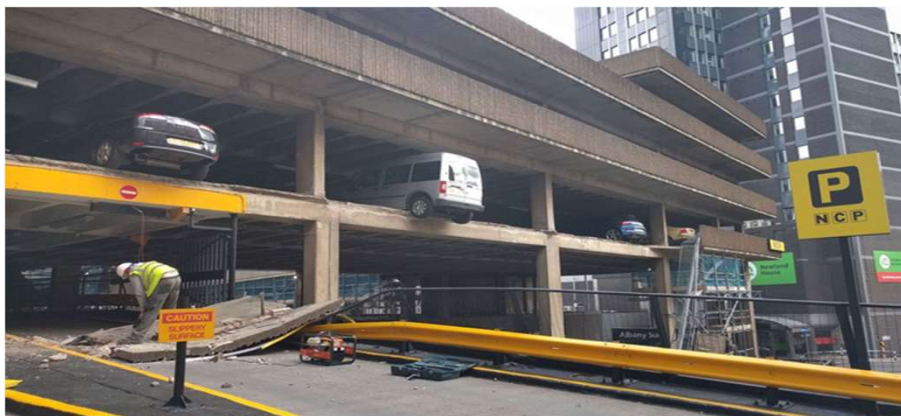


CONSÉQUENCES



Effondrement d'un pont à posttension dû à des câbles d'acier corrodés

CONSÉQUENCES – ROYAUME UNIS



Drivers injured by concrete falling from motorway bridge

Thursday, July 24th 2014 08:49

Drivers have been injured after concrete fell from a bridge over the M6.

At 5.20 a.m. this morning police were alerted to a report that pieces of concrete from a bridge running over the M6 near Sandbach had fallen onto the carriageway.



EXPOSITION DES PONTS EN BÉTON



DOMMAGES DES STRUCTURES EN BÉTON

Lixiviation/Efflorescence

Corrosion des armatures

Fissures structurelles

Éclats des bétons

Fissures non structurelles

Corrosion des aciers

Écaillage des surfaces

DOMMAGES DES STRUCTURES EN BÉTON



Corrosion des armatures du béton



Fissures avec lixiviation

DOMMAGES DES STRUCTURES EN BÉTON

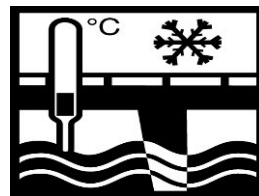
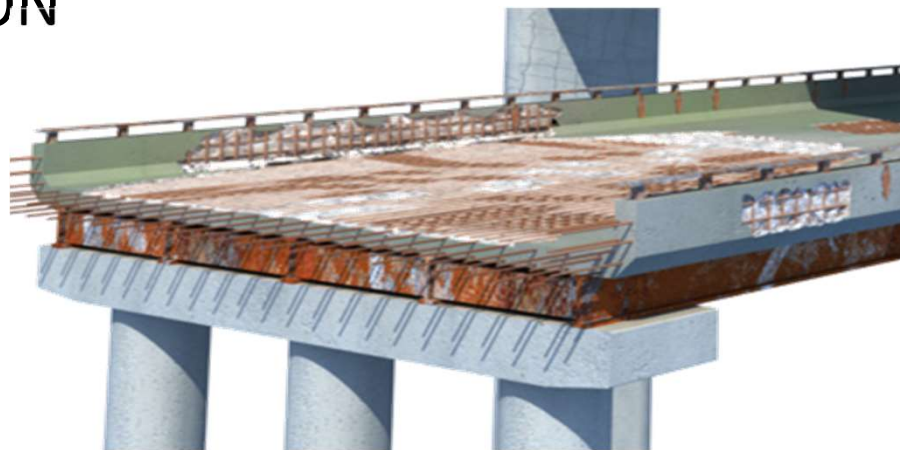


Faible enrobage et nids d'abeille

DOMMAGES DES STRUCTURES EN BÉTON

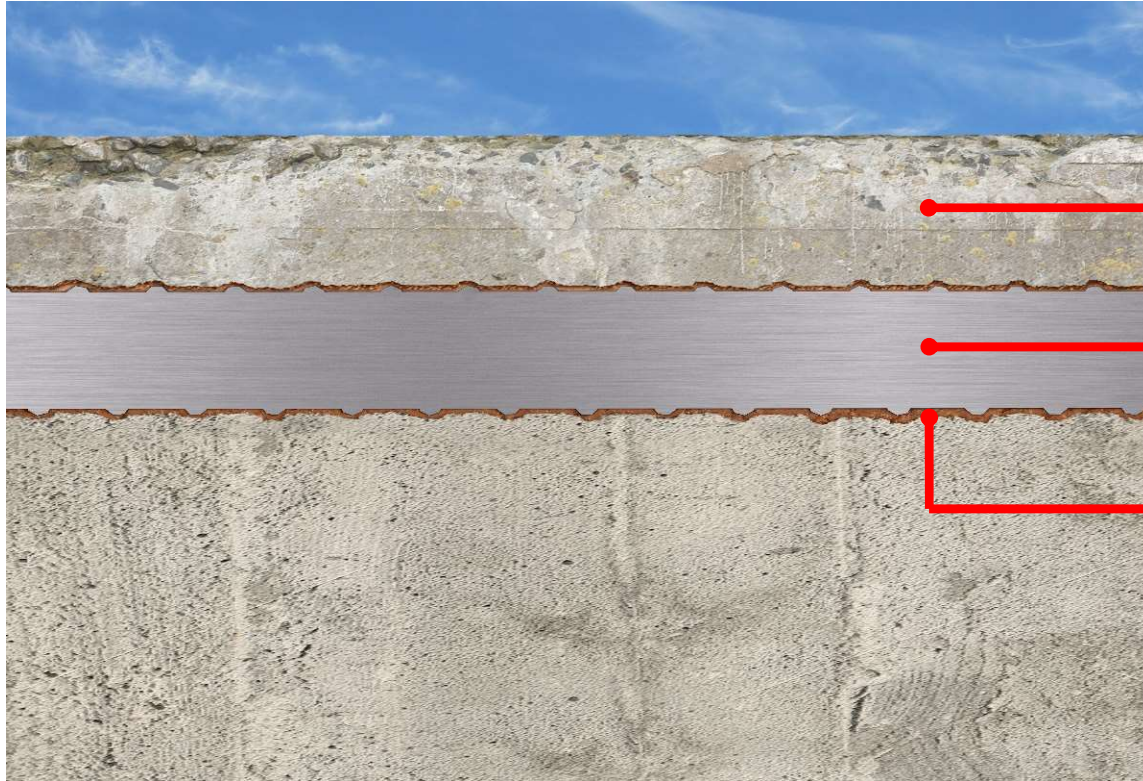


Effets des sels de déverglaçage et du gel



PROTECTION NATURELLE DES ARMATURES

Environnement alcalin autours des armatures, les protège de la corrosion



Béton pH 12.5 - 13.5

Armature en acier carbone

Film passif d'oxide de fer
d'épaisseur $\sim 10\text{\AA}$ (1.0 nm)

LE PROCESSUS DE CARBONATATION DES BÉTONS



Béton alcalin
pH 12 – 13.5

Hydroxide de Calcium
 Ca(OH)_2 : pH 12.6

LE PROCESSUS DE CARBONATATION DES BÉTONS



Béton alcalin
pH 12 – 13.5

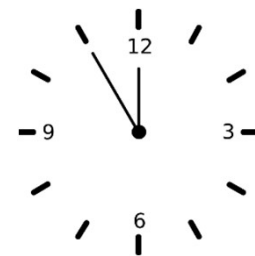
Hydroxide de Calcium
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$: pH 12.6



Réaction de carbonatation



Perte de la protection/de la passivité des barres d'armature



Processus lent, dépendant de la qualité du béton et de l'enrobage. Il peut s'écouler des décennies avant que le front de carbonatation n'atteigne les armatures.

LE PROCESSUS DE CARBONATATION DES BÉTONS

La corrosion active se produit pendant les périodes humides, par exemple en cas de pluie, d'éclaboussures, etc..

Les tailles des zones cathodiques sont similaires à celles des zones anodiques.

Processus de corrosion lent - typiquement une perte de métal d'environ dix microns/an.



Formation de microcellules de corrosion qui produisent une **corrosion uniforme**.

CELLULE DE CORROSION - ANODES ET CATHODES



La corrosion de l'acier dans le béton = métal dans un électrolyte - fonctionnant comme une batterie:

- Les électrons sont générés aux anodes
 - *La réaction est toujours une oxydation - la corrosion se produit UNIQUEMENT dans la zone anodique.*
- Les électrons sont consommés à la cathode
 - *La réaction est toujours une réaction de réduction - l'acier dans la zone cathodique ne se corrodera JAMAIS.*

DOMMAGES TYPIQUES DUS À LA CORROSION INDUITE PAR LA CARBONATATION



CORROSION INDUITE PAR LES CHLORURES



BUILDING TRUST



DOMMAGES TYPIQUES DUS À LA CORROSION INDUITE PAR LES CHLORURES



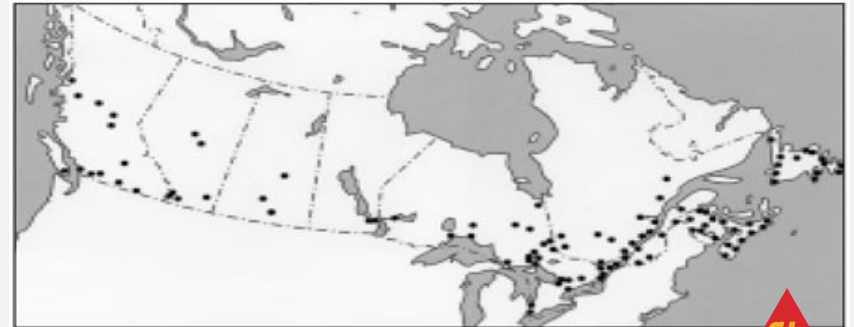
RÉACTION ALCALI-SILICE

Identifié en premier dans les années 1930 par Stanton comme cause de détérioration du béton.
Depuis cette découverte initiale, il y a eu de nombreux cas rapportés à travers le monde



Distribution de cas rapporté d'alkali-silica réaction aux Etats Unis.
Chaque étoile marque un cas rapporté
(source: Federal Highway Administration)

Distribution de cas rapportés d'alkali-silica réaction Canada.
Chaque point marque un cas rapporté ou une source de
granulats réactifs connue.
(source: nrc-cnrc-Construction Technology Update No. 52)



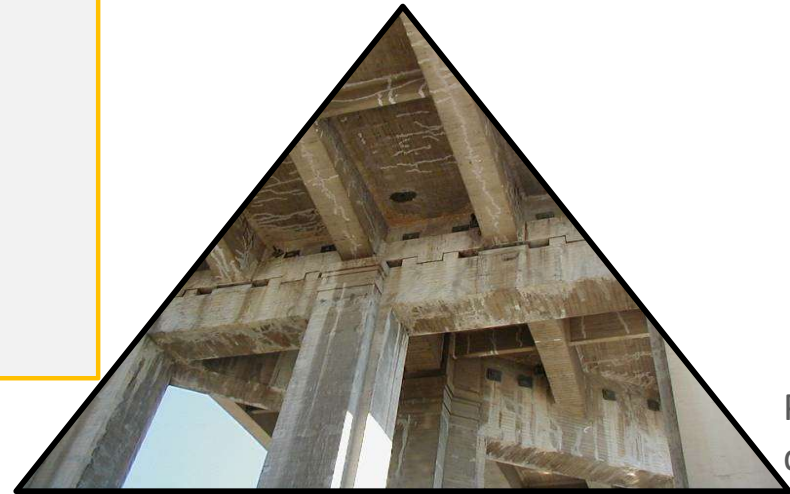
RÉACTION ALCALI-SILICE

3 composants du béton sont nécessaires:

1. Silice réactive (venant des granulats);
2. Des alcalins (du ciment Portland, mais d'autres composants), et
3. De l'humidité.

Alcalis

Granulats Réactifs



Présence
d'humidité

L'élimination de l'un ou l'autre des composants ci-dessus permettra de prévenir efficacement les dommages dus à la RAS.

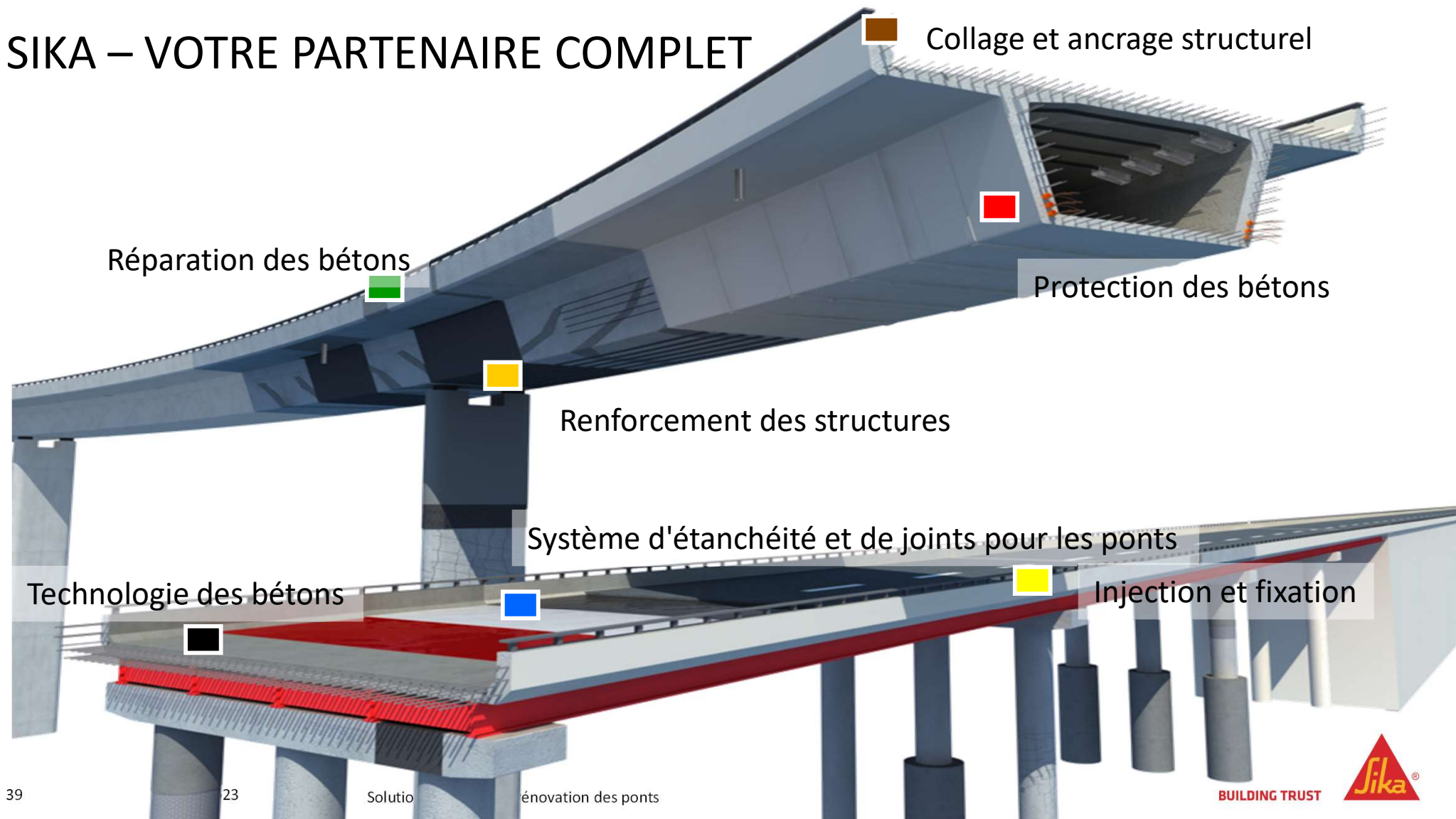


SOLUTIONS SIKA POUR LA RÉNOVATION DES PONTS EN BÉTON

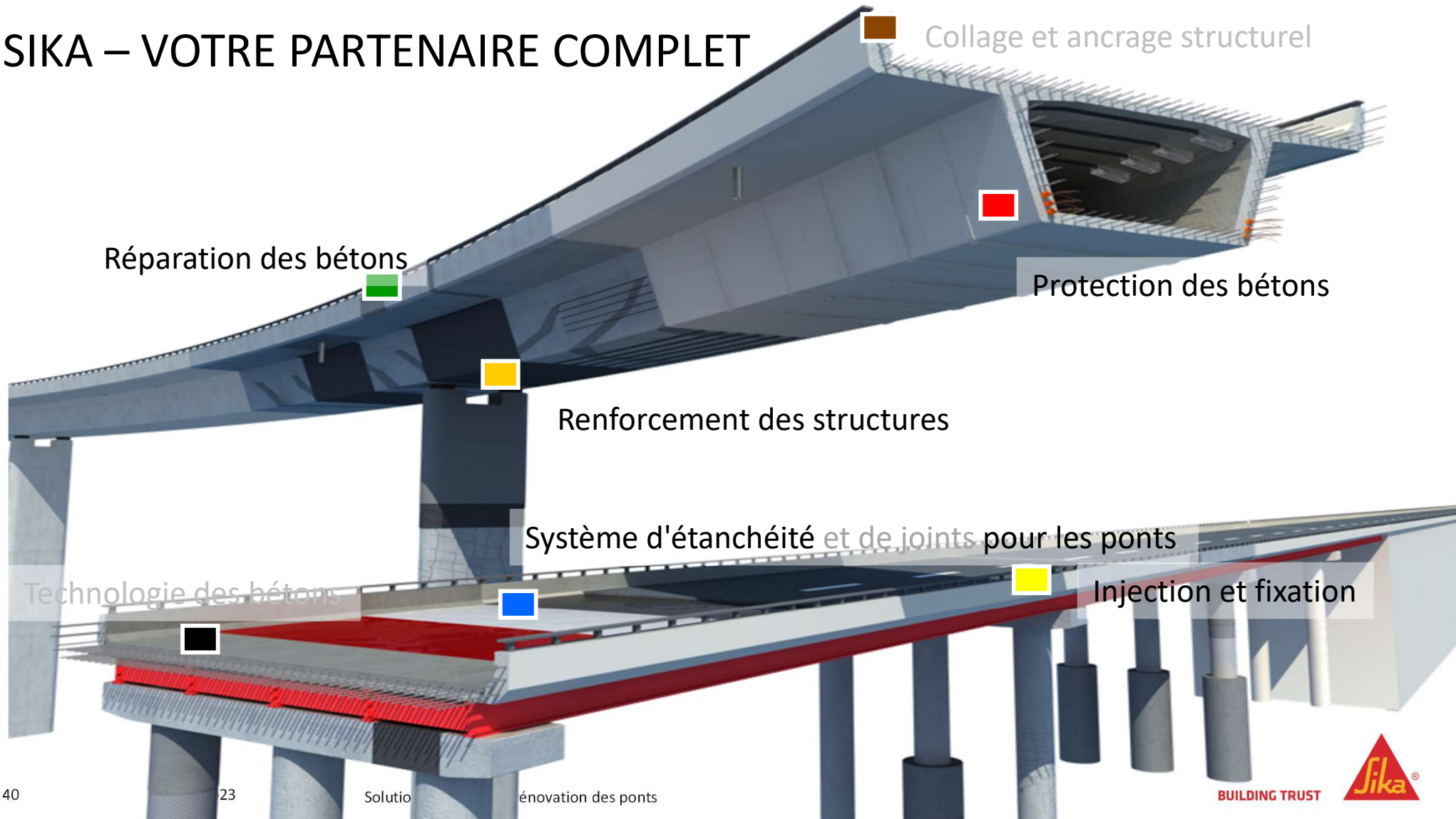
PART 3: LES SOLUTIONS SIKA – INTRODUCTION

M. DONADIO

SIKA – VOTRE PARTENAIRE COMPLET



SIKA – VOTRE PARTENAIRE COMPLET



Collage et ancrage structurel

Réparation des bétons

Protection des bétons

Renforcement des structures

Système d'étanchéité et de joints pour les ponts

Technologie des bétons

Injection et fixation



SOLUTIONS SIKA POUR LA RÉNOVATION DES PONTS EN BÉTON

PART 3a: LA REPARATION DES BÉTONS

MOHAMED H. KAMOUN

B. TRABELSI

RÉPARATION DES BÉTONS

Critères principaux pour une réparation pérenne:

- Compatibilité des systèmes utilisés
- Application sous charge dynamique
- Comportement à la fissuration faible



APPLICATION SOUS CHARGE DYNAMIQUE

L'oscillation du matériau de réparation pendant l'application se traduit par :

Accumulation d'eau dans l'interface mortier frais/béton



Faible adhérence

Détruire la cohésion du matériau de réparation



Le matériel de réparation tombera

Décomposition des aiguilles de ciment pendant le processus de durcissement

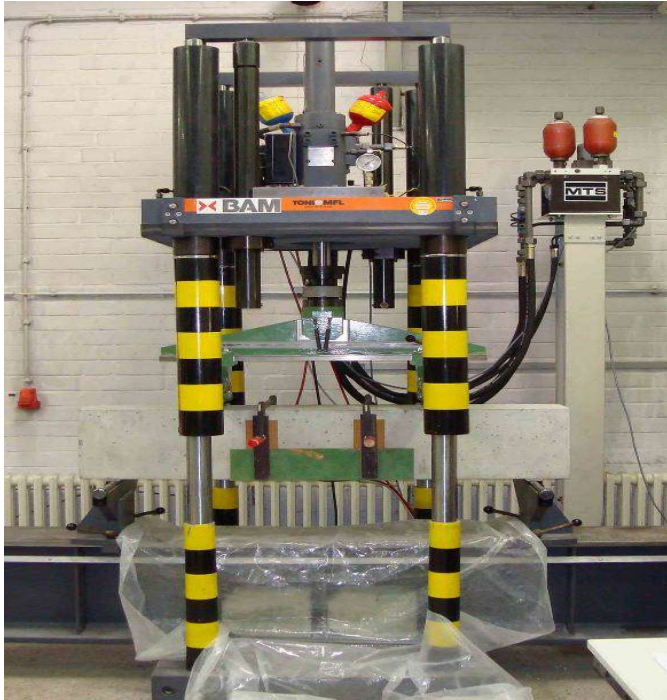


Faible résistance à la compression et à la traction



ESSAIS D'APPLICATION SOUS CHARGE DYNAMIQUE

(ACC. TO ZTV-SIB, TL BE-PCC, 1999)



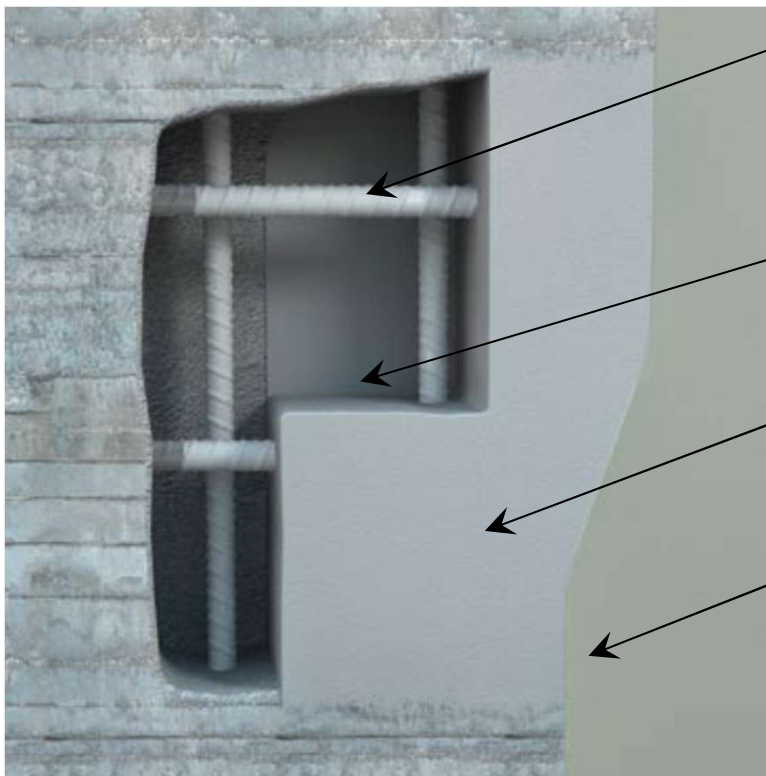
Test Equipment: BAM, Berlin

- Dimension de la zone à réparer: 400 mm x 200 mm x 20 mm
- Application du mortier à la main sous vibration
- Maintien de la vibration pendant 24 heures
- Stockage dans les conditions normalisées (23° C, 50% r.h.)

Exigences

- ✓ Pas de fissure visible > 0.10 mm
- ✓ Valeur d'adhérence à 28 jours
→ min. 1.5 N/mm² (MPa)

APPLICATION DU PRODUIT



Étape 1 : Protection contre la corrosion de l'armature

Étape 2 : Primaire d'adhérence

Étape 3 : Mortier de réparation

Étape 4 : Mortier de lissage / égalisation

Étape 5 : Système de protection

RÉPARATION DU BÉTON : LA PROCÉDURE D'INTERVENTION



Enlèvement du béton endommagé



Elimination de la rouille



Couche de passivation anticorrosion



Agent de liaison



Mortier de réparation



MORTIER DE SURFAÇAGE



Protection du béton (1ère couche)



(2ème couche)

MORTIERS DE RÉPARATION

Sika MonoTop®-412

Mortier de réparation structurale (R4) fin, clair et rapide

Ep.: 3 à 70 mm en une seule passe

- Réparation des bâtiments, génie civil, ouvrages d'arts (R4 selon la EN 1504-3)
- Finition esthétique: Lissage immédiat et prêt à peindre dès 16h.
- Application manuelle ou par projection
- Granulométrie fine < 0,8 mm



NOUVEAU

R4

Sika MonoTop®- 432

Mortier R4 (structurale) coulable plus rapide, plus fin, plus performant

Ep.: 3 à 60mm en une seule passe

- Prêt à peindre après 12h sans ragréage préalable
- Décoffrage possible après 2 heures à 20°C
- Résistances mécaniques élevées, y compris à court terme et à basses températures
- Tenue à l'eau de mer et aux eaux sulfatées



NOUVEAU

MORTIERS DE RÉPARATION

Sika MonoTop®-910 N

Protection anticorrosion des armatures
du béton

Ep.: 2 à 3 mm en une seule passe

Consommation.: 2,4kg de coulis/ m² &
mm d'épaisseur



Sikadur®-30 Colle

Colle époxydique thixotrope à
2 composants sans solvant

Renforcement de structures (Procédé
Sika® CarboDur). Collage de tous
éléments sur des supports même lisses.
Collage de plaques ou pièces
métalliques,... Re-surfaçage, reprofilage
ou ragréage et scellements

Consom.: Pour 1 m² et par mm d'épaisseur : 1,8
kg de mélange A/B



RÉPARATION ET PROTECTION DES BÉTONS

MORTIERS DE RÉPARATION

Ragréage des bétons

- ❑ éliminer les défauts du béton après décoffrage
- ❑ redonner un aspect régulier avant peinture

SikaTop-121

Mortier hydraulique

pour imperméabilisation & surfaçage (Finition sur faïence)

Sika ViscoCim 105

Ragréage en pâte à mélanger au ciment





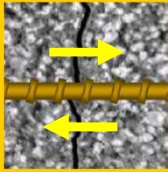
SOLUTION POUR L'INJECTION DES FISSURE ET VIDES

FISSURES DANS LE BÉTON

- Les fissures sont un élément de toutes les structures en béton armé
- Les fissures ne sont pas une défaillance du béton. Elles font partie de la fonction de l'armature

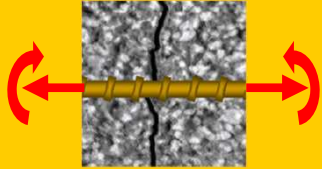


LES RAISONS DES FISSURES



Le béton - les mécanismes internes

Retrait, expansion thermique ...



Les forces externes

Prise du béton, poids, charges ...



Autres raisons:

- Mauvaise conception du mélange de béton
- Conditions météorologiques extrêmes
- Cure du béton manquant ou insuffisant
- Mauvais compactage du béton
- Mauvaise planification des joints [...]

LES TYPES DE FISSURES



Fissures de surface

→ Effets négatifs sur la durabilité



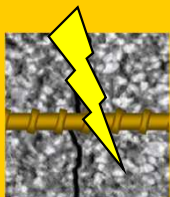
Fissures pénétrantes

→ Effet négatif sur l'étanchéité

→ Effet négatif sur la durabilité

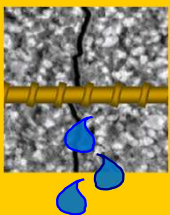
→ Effet négatif sur les caractéristiques structurelles

POURQUOI RÉPARER LES FISSURES?



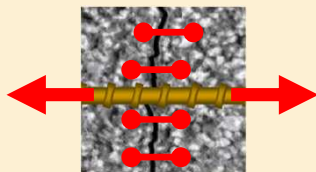
Durabilité de l'ouvrage

Fermer la fissure pour éviter la pénétration d'agent agressifs (ex. corrosion à cause des chlorures)



Étanchéité de l'ouvrage

Fermer une fissure pour rétablir la fonction d'étanchéité de la structure en béton.



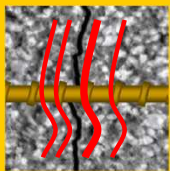
Capacité portante de la structure

Injecter les fissures pour rétablir la capacité portante de la structure

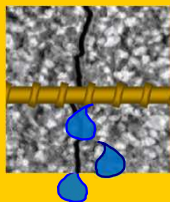
QUE CONNAITRE DE LA FISSURE



Son ouverture



Rigide ou dynamique



Niveau d'humidité

L'OUVERTURE DES FISSURES

- La largeur d'une fissure est un élément de base pour le choix correct du matériau d'injection
- Les fissures fines nécessitent normalement un matériau d'injection de faible viscosité
- Les matériaux d'injection à viscosité plus élevée peuvent être utiles dans le cas de fissures larges

MOUVEMENT DES FISSURE

- En cas de mouvement, un matériau d'injection souple comme un polyuréthane ou une résine acrylique est nécessaire.
- **Attention !** Tous les matériaux flexibles n'ont qu'une extensibilité très limitée, la fissure doit être injectée à sa largeur maximale pour limiter l'expansion du matériau.

NIVEAU D'HUMIDITÉ DANS LES FISSURES



Fissures sèches (temporairement)



Fissures humides



Fissures avec fuite d'eau SANS pression



Fissures avec fuite d'eau SOUS pression

LES FISSURES DANS LE BÉTON

	Niveau d'humidité		
Objectifs	Sec ou humide	Avec fuite d'eau	
		SANS pression	AVEC pression
Fermeture	Sika Injection-201 CE Sika Injection 458	Sika Injection-201 CE Sika Injection-310 (+Boost)	Sika Injection-101 + Sika Injection-201 CE Or Sika Injection-101 + Sika Injection-310
Étanchéité	Sika Injection 458	Possible – contact Sika	Not possible
Réparation structurelles	Sika Injection 458	Possible – contact Sika	Not possible
Réparation flexible	Sika Injection-201 CE	Sika Injection-201CE Sika Injection-310	Sika Injection-101 Sika Injection-201CE Sika Injection-310

Toutes les résines d'injection Sika peuvent être injectées avec une pompe mono-corp

APPLICATION

Equipement pour reparation des fissures



Pompes d'injection

- Pompe mono-corp
- Pompe bi-corp



Système d'injection

- à installer en angle de 45° dans le béton
- à installer en surface du béton

APPLICATION



APPLICATION



APPLICATION

Equipment for crack repair work



Injection pumps

- One-component pump
- Two-component pump



Packer systems

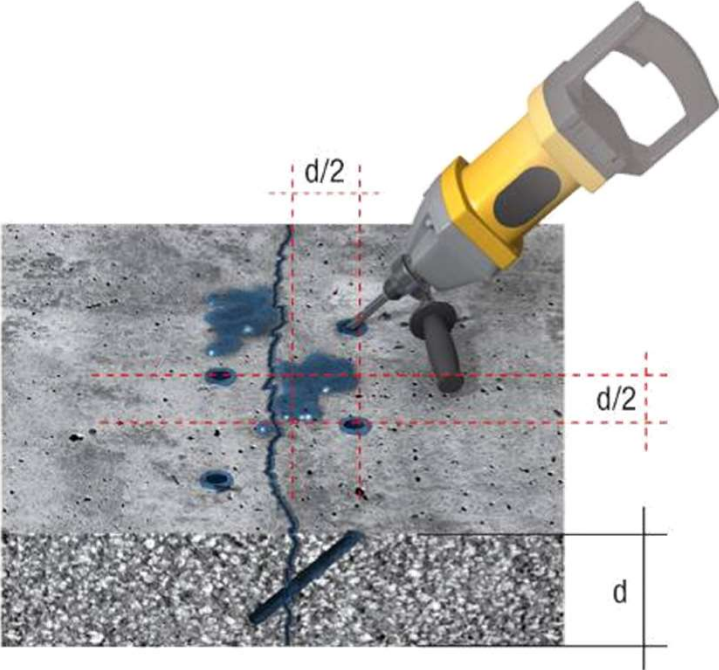
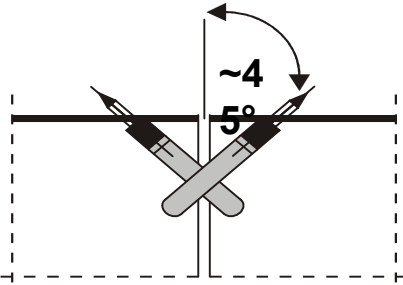
- Drill-hole / mechanical packer
- Surface packer

APPLICATION OF A DRILL-HOLE PACKER

Drill packer holes at a **45°** angle to the concrete

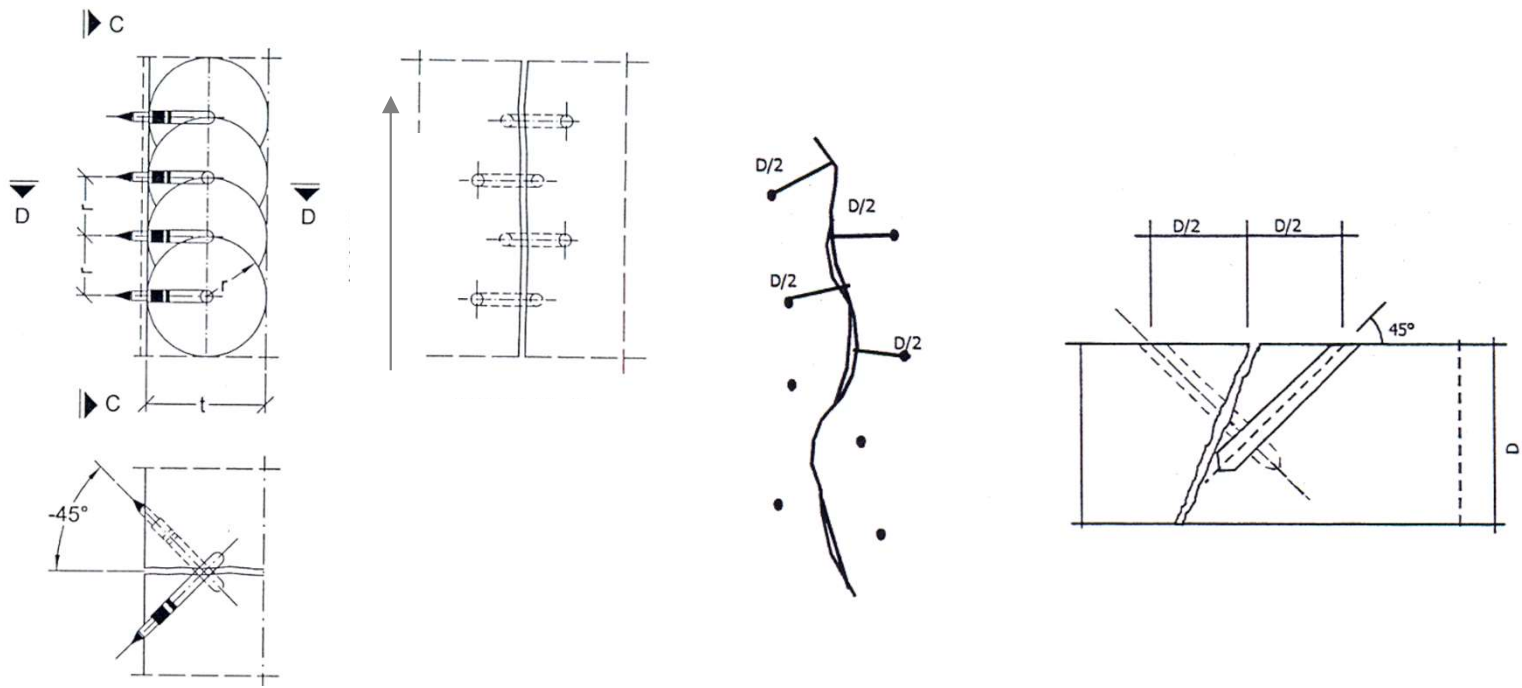
\varnothing of drill hole = \varnothing of packer + 1-2mm

Drill hole depth: $\sim d$



d: building component thickness
d/2: interval
- from packer to packer
- from packer to crack

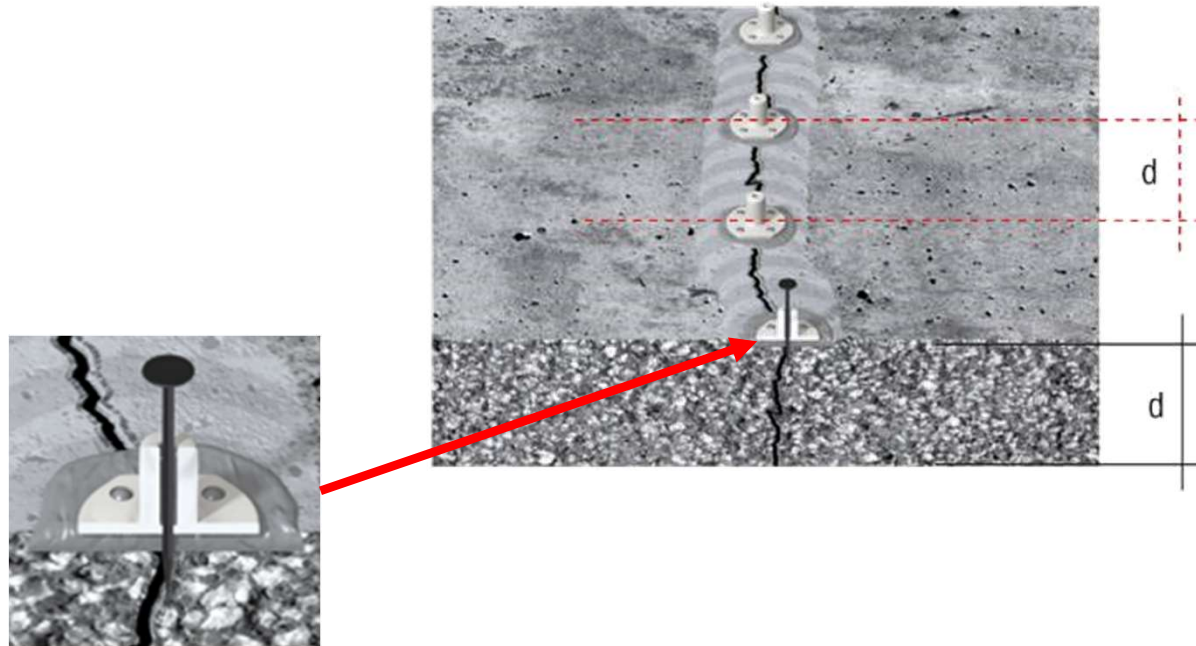
APPLICATION OF A DRILL-HOLE PACKER



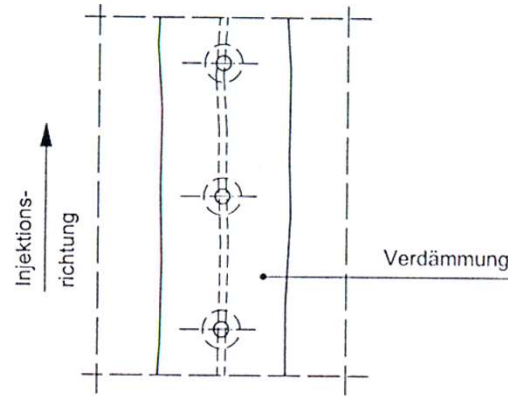
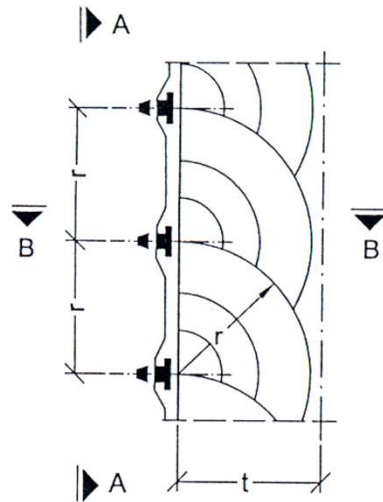
Source: ZTV-Ing., German regulation



APPLICATION DES INJECTEURS DE SURFACE

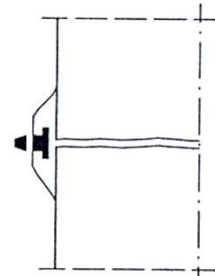


APPLICATION DES INJECTEURS EN SURFACE



Ansicht A - A

t: Wirkzone eines Packers
r: Abstand der Packer



Schnitt B - B

