



IFSTTAR

techniques et méthodes
des laboratoires des ponts et chaussées



**Pathologie,
diagnostic et réparation
des corniches en béton armé**

Les collections du LCPC

Le libre accès à l'information scientifique est essentiel pour favoriser la circulation du savoir et pour contribuer à l'innovation et au développement socio-économique. Pour que les résultats des recherches soient plus largement diffusés, lus et utilisés, l'Université Gustave Eiffel a fait le choix de numériser et de mettre à disposition en téléchargement gratuit, l'intégralité des ouvrages publiés dans les collections du LCPC de 1969 à 2014, du fait de son caractère patrimonial.

La collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées »

Issus de l'expertise du réseau scientifique et technique (RST), les ouvrages publiés dans la collection « techniques et méthodes des laboratoires des ponts et chaussées » ont été conçus et rédigés en vue des applications sur le terrain par les professionnels du BTP. La collection se décline en deux séries : guide technique et méthode d'essai.

- La série « guide technique » réunit des synthèses de connaissances, fruits de groupes de travail nationaux associant partenaires publics et privés. Ces guides n'ont pas de valeur normative mais servent de support au développement des techniques.
- La série « méthode d'essai » réunit des méthodes à caractère normatif ou de recommandations. Les méthodes font l'objet d'une qualification par le service qualité du LCPC.

La collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées »

La collection ERLPC « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées » se décline en 8 séries thématiques : construction routière, environnement et génie urbain, géotechnique et science de la terre, mécanique et mathématiques appliquées, ouvrage d'art, physique chimie, sécurité et exploitation routières, sciences de l'ingénieur. Des mémoires de thèses ou d'habilitation à la direction de recherche, des résultats d'études générales et d'expérimentations en laboratoire et *in situ* ont été notamment publiés dans cette collection.

La collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées »


De 1969 à 1990, les travaux de recherche les plus significatifs du LCPC ont été publiés dans la collection « rapport de recherche du laboratoire central des ponts et chaussées ». Cette collection historique a ensuite laissé la place à la collection « études et recherches des laboratoires des ponts et chaussées ».


La collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées »


Les ouvrages de la collection « actes des journées scientifiques du laboratoire central des ponts et chaussées » regroupent les communications présentées par les intervenants à l'occasion de manifestations scientifiques organisées ou co-organisées par le LCPC.

Les ouvrages des collections du LCPC sont diffusés sous la licence Creative Commons CC BY-NC-ND. Cette licence ne permet que la redistribution non commerciale de copies identiques à l'original. Dans ce cadre, les documents peuvent être copiés, distribués et communiqués par tous moyens et sous tous formats.



 Attribution — Vous devez créditer l'œuvre et intégrer un lien vers la licence. Vous devez indiquer ces informations par tous les moyens possibles mais vous ne pouvez pas suggérer que l'Université Gustave Eiffel vous soutient ou soutient la façon dont vous avez utilisé son œuvre.

 Pas d'utilisation commerciale — Vous n'êtes pas autorisé à faire un usage commercial de cette œuvre, tout ou partie du matériel la composant.

 Pas de modifications — Dans le cas où vous effectuez une adaptation, que vous transformez, ou créez à partir du matériel composant l'œuvre originale (par exemple, une traduction, etc.), vous n'êtes pas autorisé à distribuer ou mettre à disposition l'œuvre modifiée.

**PATHOLOGIE, DIAGNOSTIC ET
RÉPARATION DES CORNICHES EN
BÉTON ARMÉ**

Ce guide a été établi dans le cadre du comité de programme de recherche N de l'Ifsttar, Opération 11N065 « *Diagnostic et traitement des pathologies d'ouvrages* », par un groupe de travail constitué de :

- Thierry Chaussadent, Ifsttar, département Matériaux.
- Pierre Kerneur, CETE d'Île-de-France.
- Pierre Roenelle, CETE de Lyon, département laboratoire de Lyon.
- Julien Schneider, CETE Île-de-France.
- Jean-Claude Wendling, CETE de Lyon, département laboratoire d'Autun, animateur du groupe.

Ce guide a fait l'objet d'une relecture par :

- Christophe Aubagnac, CETE de Lyon, département laboratoire d'Autun, responsable de l'opération.
- Patrick Dantec CETE de Lyon, département laboratoire de Clermont Ferrand.
- Denis Malaterre, Sétra.
- Bruno Godart, Ifsttar.

Sommaire

Présentation.....	7
Préambule à l'attention du lecteur.....	8
CHAPITRE 1 – RAPPEL SUR LES FONCTIONS ET LA CONCEPTION DES CORNICHES EN BÉTON ARMÉ	9
1. Fonctions de la corniche	11
1.1 Fonctions principales.....	11
1.2 Fonctions secondaires	12
2. Conception des corniches en béton	12
2.1 Prescriptions générales.....	13
2.2 Spécificités des corniches coulées en place.....	13
2.3 Spécificités des corniches préfabriquées	14
2.3.1 Solution courante : liaison par contre-corniche	15
2.3.2 Dispositifs de fixation particuliers	16
2.3.2.1 <i>Liaison par des goujons</i>	16
2.3.2.2 <i>Liaison par des boulons</i>	17
2.3.2.3 <i>Liaison par des armatures verticales situées dans des réservations</i>	18
2.3.2.4 <i>Liaison d'une corniche parement par douilles VEMO et boulons</i>	20
2.3.2.5 <i>Liaison par contre corniche avec des armatures de faible diamètre et très espacées</i>	21
Bibliographie.....	22
CHAPITRE 2 – DÉSORDRES VISUELS – DESCRIPTION, CAUSES ET DIAGNOSTIC	23
1. Les désordres qui concernent la corniche	26
1.1 Les défauts dans la masse.....	26
1.1.1 Le béton gélif.....	26
1.1.2 Les réactions de gonflement interne des bétons.....	27
1.2 Les éclats	28
1.2.1 Les éclats sans armature apparente	28
1.2.2 Les éclats avec armature apparente	29
1.2.3 Les éclats au droit des ancrages du dispositif de retenue.....	30
1.3 Les fissures	31
1.3.1 Fissures verticales.....	31
1.3.2 Fissures transversales.....	32
1.3.3 Fissures longitudinales en face supérieure d'une corniche.....	32
1.3.4 Fissures multidirectionnelles	32
1.3.5 Fissures en réseau et faïençage	33
1.3.6 Fissures calcifiées (quelle que soit leur orientation).....	33
1.4 Les défauts de surface	34
1.4.1 Les traces d'écoulement et les salissures.....	34
1.4.2 Les variations de teinte et les taches noires.....	35

1.4.3 Les efflorescences.....	35
1.4.4 Les bullages ou soufflures.....	36
1.4.5 Les nids de cailloux et les fuites de laitance.....	36
1.4.6 L'écaillage.....	37
1.4.7 Les taches de rouille.....	37
1.4.8 Les armatures apparentes (affleurantes)	38
1.4.9 Les cratères « pop-outs ».....	38
1.5 Les défauts géométriques.....	39
1.6 Désordres sur les traitements ou les réparations.....	40
1.6.1 Les décollements de revêtements.....	40
1.6.2 Ragréages fissurés, non décollés	40
1.6.3 Ragréages décollés.....	41
2. Les désordres qui concernent le liaisonnement corniche – structure.....	41
2.1 Corniches préfabriquées	41
2.1.1 Le cas de liaison par contre corniche	41
2.1.1.1 <i>Corrosion des armatures de liaison</i>	41
2.1.1.2 <i>Reprise de bétonnage fissurée entre la corniche et la contre corniche avec risque de pénétration d'eau</i>	42
2.1.1.3 <i>Chute d'un élément</i>	43
2.1.2 Le cas de liaisons ponctuelles.....	43
2.1.2.1 <i>Coulure de rouille sur la face latérale du tablier</i>	43
2.1.2.2 <i>Cas particulier de chute d'un élément</i>	44
2.1.2.3 <i>Fracture longitudinale suivant le tracé du dispositif de liaison</i>	45
2.2 Corniches coulées en place	45
2.2.1 Absence de liaison constatée lors de la dépose d'une corniche	45
2.2.2 Présence d'eau et/ou de calcite colorée d'oxyde à la liaison inférieure entre le tablier et la corniche.....	46
3. Tableaux récapitulatifs	47
CHAPITRE 3 – MÉTHODES D'INVESTIGATION PARTICULIÈRES DE LA LIAISON ENTRE LA CORNICHE ET L'OUVRAGE	55
1. Dégradations de la liaison corniche / ouvrage	57
2. Choix des paramètres à évaluer et méthodes d'investigation.....	58
2.1 État de conservation de la liaison corniche / ouvrage.....	59
2.2 Caractéristiques mécaniques des liaisons corniche/ouvrage.....	62
Bibliographie.....	65
CHAPITRE 4 – RÉPARATIONS	67
1. Méthodes de traitement	69
2. Particularités des traitements	74
2.1 Travaux de mise en sécurité par mise en place de filet	74
2.2 Le nettoyage.....	75
2.3 Application de produits ou systèmes de protection de surface du béton	75
2.3.1 Application d'un produit assurant principalement une fonction décorative (lasure ou peinture).....	75
2.3.2 Application d'un produit assurant une ou plusieurs fonctions de protection (imprégnation, revêtement).....	76
2.4 Traitements électrochimiques.....	78
2.5 Traitement des joints entre éléments	79
2.6 Ragréages.....	79
2.7 Remplacement d'un ou de plusieurs éléments	79
2.8 Réancrage.....	81
2.9 Remplacement ou habillage par une corniche métallique.....	82

3. Conclusion	83
Bibliographie.....	83
CHAPITRE 5 – CORNICHES PARTICULIÈRES EN BÉTON.....	85
1. Corniches d’habillage spéciales	87
2. Les corniches caniveaux.....	90
3. Les corniches parapets.....	92
ANNEXES	95

Présentation

Depuis plusieurs années la préoccupation des maîtres d'ouvrage et gestionnaires d'infrastructures de transport vis à vis des tâches de gestion du patrimoine a pris une place prépondérante compte-tenu :

- du vieillissement du patrimoine, qui se traduit par une accélération de la dégradation des matériaux
- de l'exigence grandissante de sécurité d'usage des infrastructures.

Cette préoccupation concerne autant la structure porteuse des ouvrages que leurs équipements et notamment les corniches en béton, dont certaines pathologies peuvent mettre en cause la sécurité des usagers des voies portées et franchies par l'ouvrage.

Ce guide traite uniquement des corniches en béton armé, qu'elles soient coulées en place ou préfabriquées. Il ne traite pas des corniches en béton renforcé par fibres de verre, avec lesquelles quelques déboires ont néanmoins été rencontrés.

Le présent document complète le guide technique « corniches » élaboré en 1994 par le Sétra en abordant les problèmes de pathologie et les méthodes de diagnostic.

Il s'adresse à l'ensemble des maîtres d'ouvrage, gestionnaires, maîtres d'œuvre, bureaux d'études, laboratoires et entreprises, intervenant dans le domaine du diagnostic et de la réparation des ouvrages d'art.

Le présent guide technique comporte cinq chapitres :

- Le premier chapitre rappelle les fonctions et la conception des corniches en béton armé
- Le second chapitre rassemble les principaux types de pathologie en décrivant leurs caractéristiques, leurs causes et les méthodes d'investigation appropriées. Ce chapitre se termine par des tableaux synoptiques qui synthétisent l'ensemble des informations.
- Le troisième chapitre vise à définir des méthodes d'investigations particulières pour caractériser la liaison des corniches avec l'ouvrage. Il présente certaines méthodes innovantes.
- Le quatrième chapitre aborde différents travaux de sécurisation, d'entretien spécialisé et de réparation des corniches en béton.
- Le cinquième chapitre évoque le cas de corniches particulières telles que : corniches d'habillage spécial, corniches caniveaux et corniches parapets.

Ce guide est complété par une annexe présentant des exemples de chantiers de réparation de corniches en béton armé.

Préambule à l'attention du lecteur

Les lecteurs de ce guide technique pourront s'appuyer et trouver des informations complémentaires dans les documents référencés ci-dessous. De plus une bibliographie spécifique se trouve à la fin de chaque chapitre.

« *Corniches* », collection Guide technique GC, publication Sétra, 1994, 96 p.

ATILH (Association Technique de l'Industrie des Liants Hydrauliques), « *Le béton exposé aux agressions hivernales* », documentation technique n° 1, janvier 1989.

Norme AFNOR P 18-424, *Essai de gel sur béton durci. Gel dans l'eau - Dégel dans l'eau.*

Norme AFNOR P 18-425, *Essai de gel sur béton durci. Gel dans l'air - Dégel dans l'eau.*

Norme AFNOR XP P 18-420, *Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline.*

« *Recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel* », collection Guide technique LCPC, décembre 2003.

« *Caractérisation du béton durci : essais liés à la corrosion des armatures* », projet de méthode d'essai LPC n° 40, 1994, 16 p.

Godart B., Kittel G., Fasseu P., « *Manuel d'identification des réactions de dégradation interne du béton dans les ouvrages d'art* », publication LCPC, 1999, 42 p.

« *Caractéristiques microstructurales et propriétés relatives à la durabilité des bétons, méthodes de mesure et d'essai de laboratoire des LPC* », collection méthode d'essai n° 58, 2002, 87 p.

« *Réactivité d'un béton vis-à-vis d'une réaction sulfatique interne. Essai de performance* », collection méthode d'essai n° 66, 2007, 24 p.

Farcas F., Platret G., « *Méthodes physico-chimiques pour la caractérisation de matériaux du génie civil et le suivi de leur vieillissement* », collection Études et Recherches des LPC, série Sciences pour le génie civil - SI 14, 2007, 142 p.

GranDuBé : « *Grandeurs associées à la durabilité des bétons* », sous la direction de G. Arliguie et H. Hornain, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 2007, 438 p.

« *Choix et applications des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton* », collection Guide technique LCPC-Sétra, 1996, 68 p.

Raharinaivo A., Arliguie G., Chaussadent T. et al. « *La corrosion et la protection des aciers dans le béton* », Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, 1998, 168 p.

« *Protection des bétons par application de produits à la surface du parement* », Guide technique LCPC-Sétra, 2002, 99 p.

Raharinaivo A., « *Les méthodes électrochimiques appliquées au diagnostic et à la réhabilitation du béton armé concerné par la corrosion* », collection Études et Recherches des LPC, Série Ouvrages d'Art OA51, 2005, 152 p.

CONSEC'07 Volumes 1 et 2, 5^e conférence internationale sur les structures en béton sous conditions extrêmes d'environnement et de chargement, collection Actes des journées scientifiques du LCPC, sous la direction de François Toutlemonde, Tours (France), 4-6 juin 2007.

CHAPITRE 1

RAPPEL SUR LES FONCTIONS ET LA CONCEPTION DES CORNICHES EN BÉTON ARMÉ

Les corniches sont un équipement à part entière des ouvrages d'art, ayant une fonction esthétique et architecturale très importante. On s'intéressera ici aux pathologies graves observées sur les corniches en béton armé, notamment celles liées à leurs fixations, et aux méthodes possibles pour diagnostiquer une insuffisance d'ancrage.

Dans cette première partie, on traitera des fonctions que peut avoir une corniche et des deux types de conception possibles pour une corniche béton, à savoir coulée en place ou préfabriquée.

Cette première partie traite de généralités. Pour plus de précisions, on pourra se reporter au guide technique du Sétra (Sétra 1994 / (1)).

1. Fonctions de la corniche

1.1 Fonctions principales

La fonction première de la corniche est avant tout esthétique. Dans ce cadre, elle contribue à l'esthétique générale de l'ouvrage et lui donne une valeur architecturale, notamment si l'ouvrage est placé dans un site remarquable. Par ailleurs, une corniche peut masquer les éventuelles irrégularités du profil en long. Enfin, elle remplit le rôle de larmier, en empêchant les coulures d'eau vers la sous-face de l'ouvrage.

Les corniches ont tout d'abord un rôle architectural. C'était en effet souvent, par le passé, un des seuls éléments d'un pont (avec certains types de garde-corps) à laisser libre cours à l'imagination de l'architecte. C'est pourquoi on trouve des corniches de formes très diverses. En effet, pour les ouvrages en rase campagne ou relativement isolés, on privilégiera une corniche sobre. En revanche, une étude architecturale plus élaborée peut être réalisée si l'ouvrage est en ville ou marque un site particulier (cf. l'exemple de la figure 1).



Figure 1. Rôle esthétique et architectural d'une corniche

Une corniche permet aussi de masquer les irrégularités de profil en long qui peuvent se produire, notamment pour un ouvrage en béton. Ces imperfections sont principalement dues à la réalisation (par exemple, défaut de maîtrise de la contre-flèche de fabrication, défaut de coffrage, défaut d'étalement).

Grâce à son exécution différée et plus soignée, la corniche permet de donner à l'ouvrage un profil régulier, notamment s'il s'agit d'une corniche préfabriquée ou coulée en place après le décintrement de l'ouvrage.

Il ne faudrait toutefois pas que les possibilités de rattrapage offertes au niveau de la corniche conduisent à admettre des défauts d'exécution du tablier. Le plus grand soin doit être apporté à toutes les parties d'ouvrages car les rattrapages sont souvent compliqués et délicats.

Enfin, le larmier est la fonction historique des corniches (rôle des plinthes pour les ponts en maçonnerie). En effet, les coulures des eaux de ruissellement sur la sous-face des tabliers peuvent avoir des conséquences préjudiciables :

- du point de vue esthétique en dégradant l'aspect,
- du point de vue structurel en nuisant à la pérennité de l'ouvrage, et ce quel que soit le matériau employé.

C'est ainsi que la corniche empêche les coulures qui nuisent à la durabilité du béton, favorisent la corrosion de l'acier ou dégradent le mortier de jointoiment d'un ouvrage en maçonnerie.

Ces coulures sont d'autant plus préjudiciables que l'eau peut être chargée en sels de déverglaçage ou permettre le développement de végétation parasite.

1.2 Fonctions secondaires

Une corniche a également souvent d'autres fonctions, telles que :

- ancrages d'équipements, tels que garde-corps, écrans acoustiques ou visuels, ou plus rarement candélabres.
- support du relevé d'étanchéité (pour certains types de procédés de chapes). La plupart des étanchéités des ouvrages doivent être relevées dans des engravures afin d'éviter les points singuliers de pénétration d'eau. Cette engravure est donc souvent placée au niveau de la corniche (ou de la contre-corniche).
- butée du trottoir.
- bord du caniveau ou fil d'eau (en l'absence de trottoir).
- conduite et évacuation des eaux de ruissellement (corniches-caniveaux).
- protections diverses intégrées (écran acoustique ou visuel, garde-corps).

Les fonctions d'une corniche peuvent donc être très diverses, et sont surtout cumulables, ce qui confère finalement à la corniche un rôle très important dans l'ouvrage.

2. Conception des corniches en béton

Il existe deux familles de corniches en béton : les corniches coulées en place, pendant ou après le coulage du tablier, et les corniches préfabriquées. Si certaines prescriptions générales sont semblables, ces deux modes de construction se distinguent notamment par leur mode de liaison à la structure, qui est parfois cause de pathologies importantes.

On s'intéressera donc tout particulièrement aux modes de liaison qui, s'ils ne sont pas la cause la plus fréquente de dégradations, conduisent aux pathologies les plus graves, entraînant parfois même la chute d'éléments préfabriqués.

2.1 Prescriptions générales

Les règles de conception, communes aux ouvrages d'art, sont à respecter, notamment en ce qui concerne l'enrobage des armatures, le calcul des fixations, la hauteur libre minimale de l'ouvrage, ou encore les caractéristiques des ancrages.

L'enrobage des armatures doit respecter les règles en vigueur afin d'assurer la protection de celles-ci et d'éviter un désordre fréquemment observé : les éclats de béton et les armatures oxydées.

Les fixations de la corniche sont dimensionnées aux efforts suivants :

- poids propre de la corniche
- poids des équipements supportés
- effets du vent (pour les corniches de grande surface)
- choc accidentel de véhicule
- sollicitations sur le garde-corps (ou sur certains dispositifs de glissières)
-

Dans le cas d'une corniche associée à des équipements annexes de type écran ou BN4, leurs ancrages ne doivent pas se faire directement dans la corniche mais dans des plots directement liaisonnés au tablier.

Enfin, le positionnement de la corniche doit tenir compte de la hauteur libre minimale sous l'ouvrage pour préserver les corniches de chocs de véhicules hors gabarit. En conséquence, il est recommandé d'arrêter le niveau inférieur de la corniche 10 cm au-dessus de l'intrados du tablier.

2.2 Spécificités des corniches coulées en place

Les corniches peuvent être coulées en même temps que le tablier ou après décintrement. La principale limite de ce type de mise en œuvre réside dans le choix des formes possibles.

La réalisation de la corniche, après décintrement, nécessite un certain soin si l'on désire masquer les irrégularités du tablier. La mise en œuvre des corniches doit donc être soignée pour qu'elle joue effectivement son rôle esthétique.

La liaison avec la structure est en général assurée par des aciers de couture mis en attente (épingles, étriers...). Le schéma présenté dans la figure 2 indique les dispositions constructives classiques et recommandées.

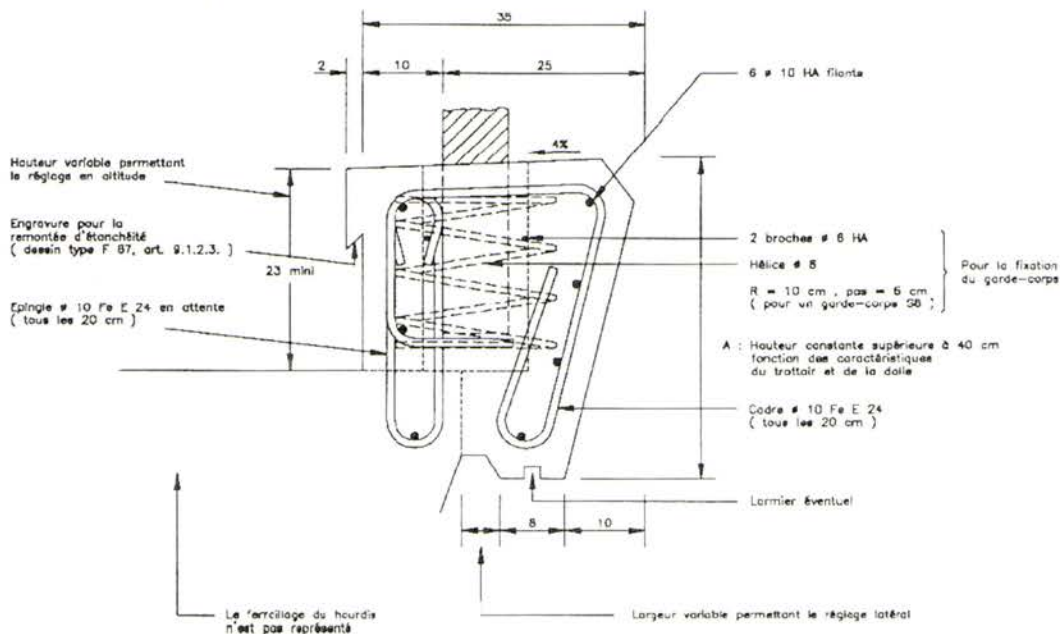


Figure 2. Fixation par aciers de couture d'une corniche coulée en place (dessin extrait de l'annexe 2 du guide GC « Corniches » (1) du Sétra).

Cette disposition est celle recommandée par les règles de l'art, toutefois on peut rencontrer des cas singuliers. La figure 3 présente un exemple mis à jour lors de travaux de réparation d'une corniche coulée en place, sans aucune armature en attente, donc non liaisonnée au tablier.

Cette absence de liaison n'est possible que si la corniche est autostable (peut être comparée à la plinthe d'un ouvrage en maçonnerie), mais présente dans tous les cas des risques de chute en cas de choc.



Figure 3. Après dépose de la corniche, constatation de l'absence de liaison

2.3 Spécificités des corniches préfabriquées

Cette famille de corniches autorise des possibilités de formes beaucoup plus variées que pour les corniches coulées en place (possibilités de coulage dans différentes positions).

En revanche, certains points méritent une attention particulière si l'on veut que la corniche joue son rôle correctement : le traitement des joints entre éléments, le calage ou encore le mode de liaison au tablier (traité dans la partie suivante).

Fréquemment les joints entre éléments ne sont pas traités ou sont dégradés (figure 4). La corniche ne joue plus alors son rôle continu de larmier, une de ses fonctions principales.



Figure 4. Joints entre éléments de corniche non traités

Le profil régulier de la corniche est assuré par un mortier de calage soigneusement nivelé. L'opération de réglage de ce mortier nécessite par conséquent le plus grand soin.

Les modes de liaison au tablier d'une corniche en béton armé préfabriquée peuvent être très divers. Bien souvent, la conception a pour but de faciliter la mise en œuvre sans tenir compte des critères de résistance et de durabilité. La conception la plus satisfaisante reste la liaison par une contre-corniche dans laquelle viennent se marier les armatures en attente de la structure avec celles de la corniche (solution décrite au paragraphe 2.3.1 ci-après).

Souvent, dans le cas de fixations défectueuses ou douteuses, la question de l'auto-stabilité se pose pour apprécier l'incidence sur la sécurité des usagers de la voie franchie. Si la corniche n'est pas autostable, la fixation au tablier doit résister aux efforts horizontaux et verticaux et au moment (couple induit). Par ailleurs, une corniche non autostable doit être soutenue durant la réalisation de la contre-corniche.

2.3.1 Solution courante : liaison par contre-corniche

Cette solution est la seule qui figurait dans le dossier GC 77 du Sétra (2). Le dossier GC 67 ne proposait que des profils de corniches coulés en place.

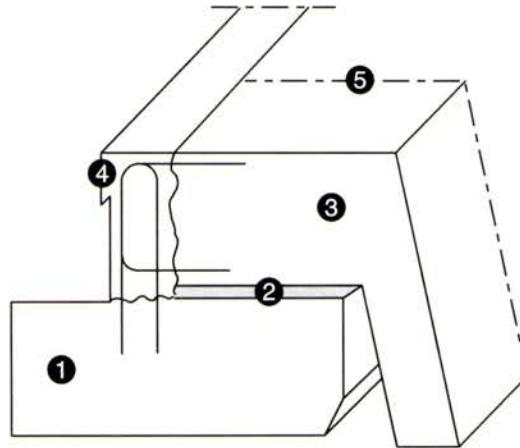


Figure 5. Mise en œuvre d'une corniche préfabriquée

Dans un premier temps (figures 5 et 6), le tablier est coulé avec des armatures de liaison en attente (1). Puis, après la mise en place du mortier de réglage pour assurer la régularité du profil (2), les éléments préfabriqués sont positionnés et les armatures de liaison sont mariées avec les armatures en attente (3). Enfin, la contre-corniche est coulée (4) et les joints entre éléments sont traités (5).

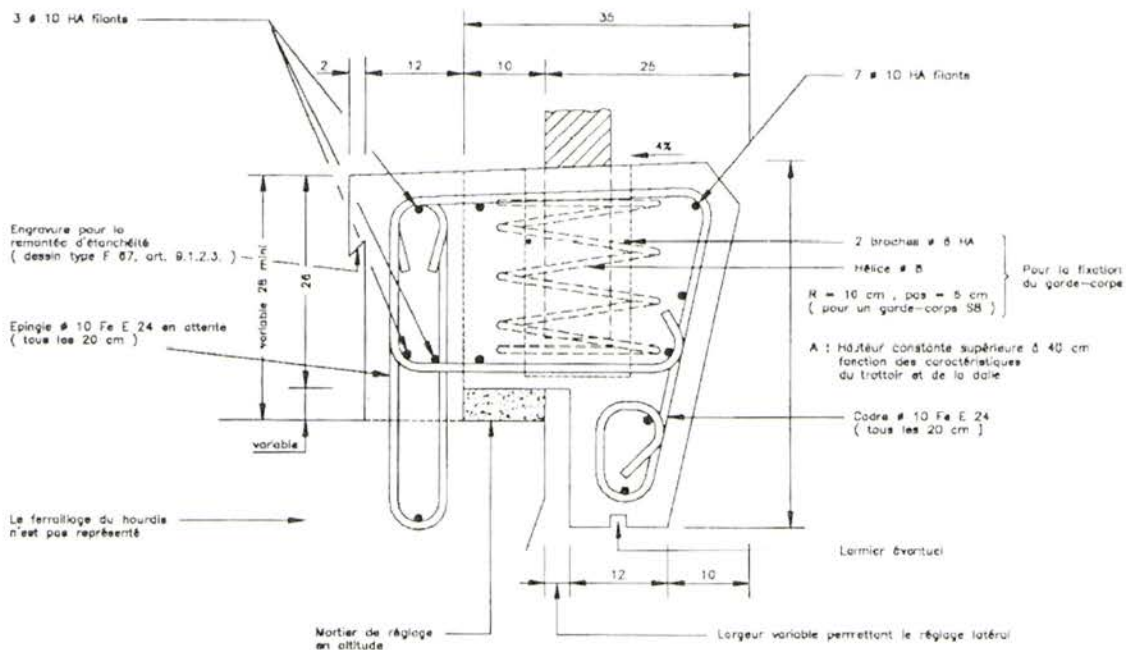


Figure 6. Fixation par contre-corniche d'une corniche préfabriquée (avec ferrailage de scellement d'un montant de garde-corps). Dessin extrait de l'annexe 2 du guide technique GC : « Corniches » (1) du Sétra

La contre-corniche assure, par l'intermédiaire d'une engravure, la fonction de relevé d'étanchéité.

2.3.2 Dispositifs de fixation particuliers

Nous présentons quelques cas de fixations de corniches préfabriquées rencontrés à l'examen de dossiers d'ouvrage lors de la préparation des inspections ou suite à des ruptures.

2.3.2.1 Liaison par des goujons

Les corniches sont fixées à l'aide de goujons. Par exemple pour le cas présenté figure 7, chaque élément est fixé à l'aide de deux goujons de diamètre 25 mm et de 30 cm de longueur.

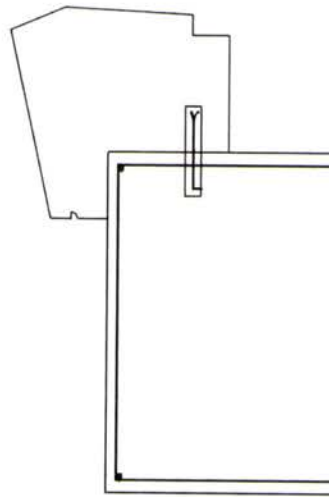


Figure 7. Fixation d'une corniche par des goujons

Ce dispositif ne peut être identifié que par l'examen des plans d'exécution compte-tenu qu'aucun signe particulier n'est visible lors de l'inspection.



Figure 8. Corniche fissurée avec coulures de calcite résultant de l'absence du relevé d'étanchéité

Ce type de liaison présente un grand risque de corrosion des goujons surtout en cas d'absence de relevé d'étanchéité (comme représenté sur la figure 8).

2.3.2.2 Liaison par des boulons

Les corniches sont fixées à l'aide de boulons. Sur l'un des ouvrages inspectés, comportant une telle disposition, (figure 9) chaque élément de corniche de 2,30 m de longueur est liaisonné au tablier par l'intermédiaire de 3 boulons de diamètre 24 mm.

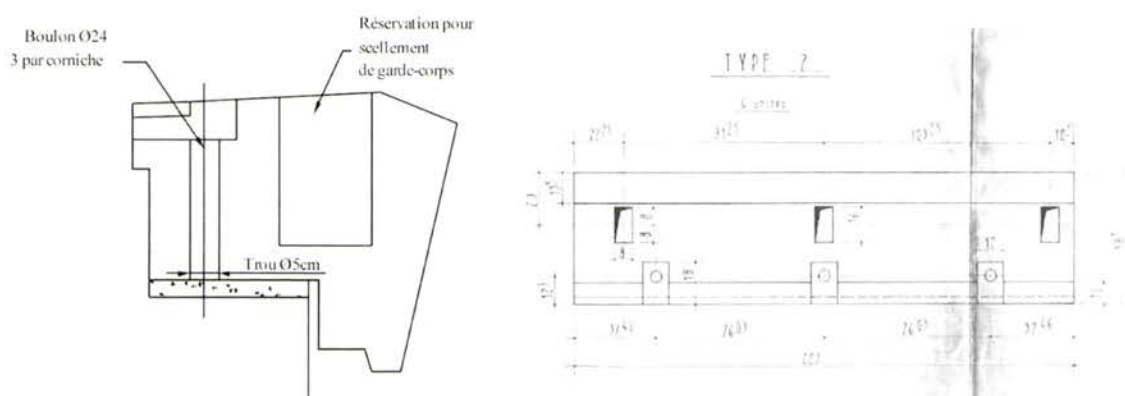


Figure 9. Élément de corniche lié par trois boulons

Lors de l'inspection on ne peut voir que le cachetage de protection de la tête des boulons. L'enlèvement du cachetage permet de visualiser la tête du boulon.

Ce type de liaison présente, en cas de sollicitations, un risque de fissuration de la face supérieure de la corniche suivant le tracé des boulons (figure 10).



Figure 10. Fissure initiée suivant le tracé des liaisons

Ce type de liaison peut aussi conduire à la chute d'un élément comme présenté sur la figure 11.



Figure 11. Chute d'un élément de corniche

Sur cet ouvrage, l'ancrage de l'élément de corniche est assuré par trois tiges filetées à l'intérieur de réservations (figure 12). Le mortier de calage est de qualité relativement médiocre, ce qui peut expliquer la corrosion rapide de la fixation.



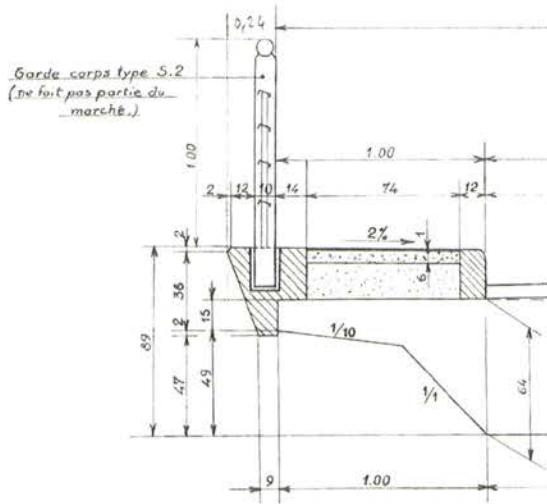
Figure 12. Réserve et trou où étaient placés la tige filetée et son écrou.

2.3.2.3 Liaison par des armatures verticales situées dans des réservations

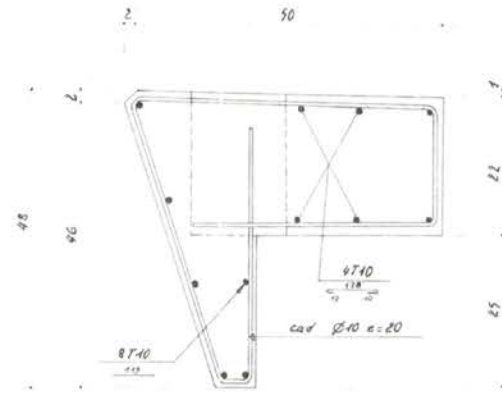
Certaines liaisons sont réalisées à l'aide d'aciers verticaux comme le montre cet exemple d'accrochage de la corniche par l'intermédiaire d'aciers verticaux de 10 mm de diamètre situés au droit des joints entre élément de corniche (figure 13).

Visuellement, la liaison de la corniche à la structure apparaît comme un cachetage circulaire au droit de chaque joint entre éléments de corniche.

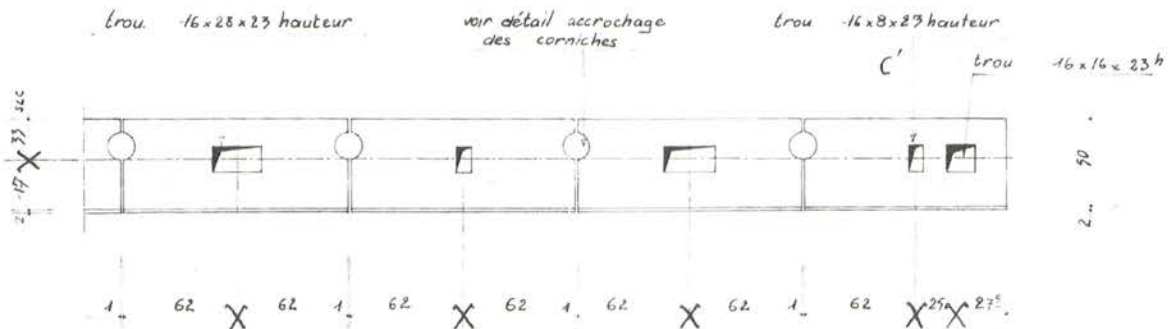
Il a été constaté sur un ouvrage que ce type d'ancrage était sectionné par la corrosion. La corniche, heureusement autostable, n'était plus maintenue que par le garde corps. La constatation du désordre a entraîné la fermeture de l'autoroute qui était franchie par le passage supérieur équipé de cette corniche.



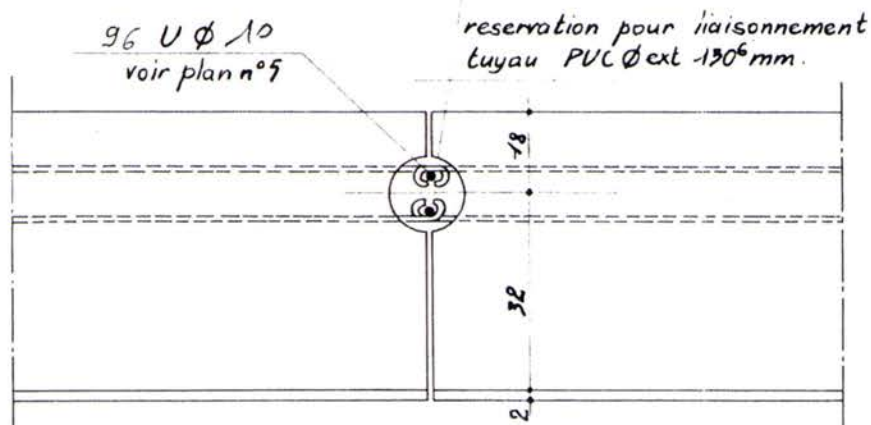
Coupe transversale du trottoir



Coupe transversale de la corniche avec ferrailage



Vue de dessus des corniches avec implantation des différentes réservations



Détail des dispositifs de liaisonnement de la corniche

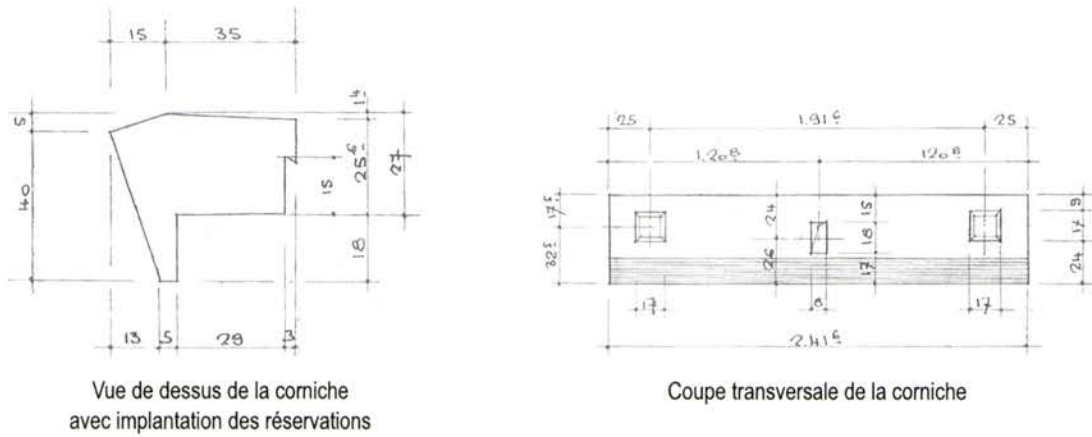
Figure 13. Système de liaison par armatures verticales

Cette rupture, qui résulte de la corrosion des armatures de liaison par les eaux pouvant être chargées en sels de déverglaçage, trouve plusieurs origines : nombre de liaisons trop faible, diamètre des armatures de liaison trop faible, implantation des liaisons au droit des joints entre éléments de corniche, absence de relevé d'étanchéité.

► Variante de ce type de liaison (figure 14)

Dans ce cas la liaison semble plus robuste :

- les scellements se situent en section courante de la corniche
- le diamètre des armatures est supérieur (12 mm au lieu de 10 mm) et chaque liaison est renforcée par un « poireau » (goujon) de 20 mm de diamètre
- la corniche comporte une engravure pour le relevé de l'étanchéité



Détail du liaisonnement corniche / structure

Figure 14. Exemple de liaisonnement par armatures verticales

2.3.2.4 Liaison d'une corniche parement par douilles VEMO et boulons

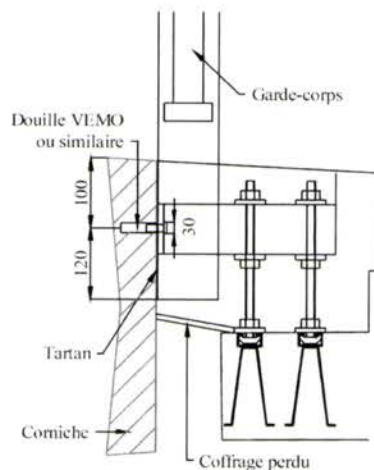


Figure 15. Liaison par douilles VEMO

Chaque corniche est liaisonnée par l'intermédiaire de deux douilles VEMO incluses dans la corniche et par deux boulons de 10 mm de diamètre qui prennent appui sur les montants du garde corps (figure 15).

Constatactions lors d'une inspection

Un élément de corniche s'est détaché (figure 16). Cet élément présente une rupture au niveau du système de fixation. La pénétration de la partie filetée du boulon dans la corniche était d'environ 1 cm.

Il a été constaté une oxydation importante de la douille et de l'extrémité du boulon, la rupture s'étant produite au niveau du filetage de la douille VEMO. De plus sur les plans d'exécution il était prévu un joint d'isolation (tartan) au niveau des fixations. Sur l'élément incriminé il n'a été trouvé que du carton.

Le diagnostic

Les causes probables de la rupture sont dues aux infiltrations d'eau entre l'élément préfabriqué et la longrine qui ont provoqué la corrosion des douilles VEMO et des boulons.

La chute s'est produite côté sud et après une période ensoleillée très chaude. Le gradient thermique entre l'élément préfabriqué et la longrine devait être très important, ce qui a entraîné une dilatation différentielle plus importante de l'élément préfabriqué que de la longrine d'où une contrainte élevée sur les fixations corrodées.



Figure 16. Chute d'un élément de corniche par rupture de la liaison

2.3.2.5 Liaison par contre corniche avec des armatures de faible diamètre et très espacées

La liaison est réalisée par des armatures de 6 mm de diamètre espacées de 25 cm (figure 17).

Constatactions lors d'une inspection

Les constatations relevées sur les corniches lors de l'inspection signalaient « petites sections d'aciers mal enrobés et partiellement apparents à la base de la face inférieure ».

Lors de travaux de démolition des joints de chaussée, les vibrations des marteaux piqueurs ont engendré le décollement de plusieurs éléments de corniche et la chute d'un élément (figure 18). Ces désordres résultaient de la rupture par corrosion des armatures de 6 mm de diamètre à la jonction corniche-contre corniche.

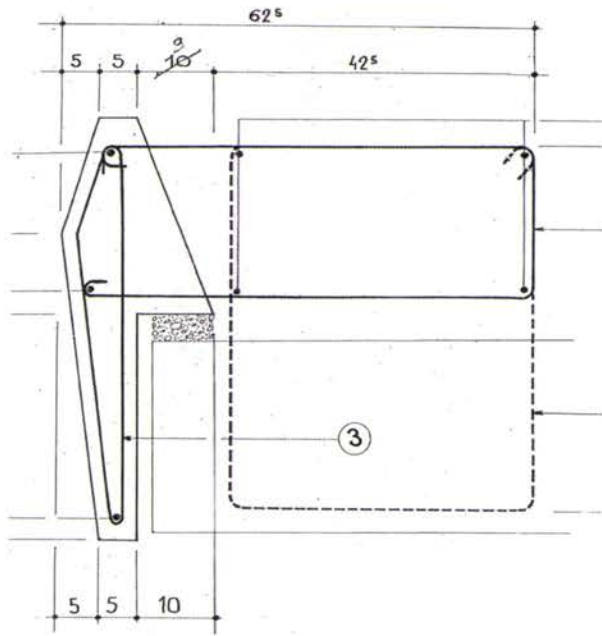


Figure 17. Exemple de liaison par contre-corniche



Figure 18 : Chute d'un élément de corniche par rupture de la liaison.

Bibliographie

- (1) Collection Guide Technique GC, fascicule « *Corniches* », Sétra, décembre 1994.
- (2) Dossier pilote GC. 77, « *Équipements latéraux des tabliers* », Sétra, octobre 1977.

CHAPITRE 2

DÉSORDRES VISUELS – DESCRIPTION, CAUSES ET DIAGNOSTIC

Lors des inspections détaillées des ouvrages d'art et plus particulièrement de leurs équipements, les corniches en béton armé qui équipent les ponts ou les murs présentent assez souvent des désordres.

Ces désordres peuvent être bénins (simples désordres esthétiques comme certaines traces d'écoulement par exemple) ou très graves pouvant mettre en cause la sécurité des usagers (chute d'une corniche, heureusement très rare, ou chutes d'éclats de béton sur les voies inférieures sans doute beaucoup plus fréquentes au vu du nombre de corniches qui présentent ce défaut).

L'établissement des causes de ces désordres découverts lors de constatations visuelles nécessite souvent la réalisation d'un diagnostic par différentes méthodes d'investigations qui font l'objet du chapitre 4.

Certains de ces désordres ne sont constatés que sur des corniches coulées en place, d'autres n'affectent que les corniches préfabriquées, la plupart sont communs aux deux types de corniches.

Les désordres sont présentés en fonction de la constatation observée.

On trouvera :

- les désordres qui affectent la corniche
- les défauts dans la masse
- les éclats
- les fissures
- les défauts de surface
- les défauts géométriques
- les désordres sur les traitements de surface ou les réparations
- les désordres qui affectent le dispositif de liaisonnement de la corniche à la structure
 - corniches préfabriquées
 - par contre corniche
 - par liaisons ponctuelles
 - corniches coulées en place

Nous abordons ici uniquement les éléments de diagnostic nécessaires sans tenir compte des besoins supplémentaires pour la définition des réparations.

Ce chapitre se termine par deux tableaux récapitulant les différents désordres respectivement pour les corniches coulées en place (tableau 1) et pour les corniches préfabriquées (tableau 2) avec les investigations possibles et des commentaires.

1. Les désordres qui concernent la corniche

1.1 Les défauts dans la masse

1.1.1 Le béton gélif

La figure 19 présente trois illustrations de béton gélif.



Figure 19. Corniches atteintes par le gel interne

Les causes probables

Les causes sont explicitées dans le guide technique relatif aux recommandations pour la durabilité des bétons durcis soumis au gel - LCPC Décembre 2003.

Le réseau de capillaires des bétons, même âgés, contient toujours de l'eau non liée. Lorsque la température du béton descend sensiblement au-dessous de 0°C (-3 à -4°C) une partie de cette eau gèle. En effet, seule l'eau contenue dans les capillaires de plus grande taille se transforme en glace, celle contenue dans les capillaires les plus fins reste à l'état liquide. La transformation de l'eau en glace s'accompagne d'une augmentation de volume de 9 % qui engendre des pressions hydrauliques sur l'eau des capillaires restée à l'état liquide.

La glace étant formée à partir de l'eau pure, son apparition engendre des différences de concentrations en sels dissous entre l'eau située à proximité des lentilles de glace et l'eau des capillaires les plus petits. Ces concentrations vont avoir tendance à s'équilibrer par effet d'osmose créant ainsi des pressions dites pressions osmotiques.

Lorsque les pressions hydrauliques ou les pressions osmotiques, ou plus généralement les deux cumulées deviennent supérieures à la résistance à la traction du béton, celui-ci se fissure.

Les cycles gel-dégel répétés peuvent provoquer deux formes de dégradations :

- une micro fissuration, voire une fissuration dans la masse du béton, les détériorations se présentant le plus souvent sous forme d'un feuilletage parallèle aux faces exposées. C'est le gel pur ou gel interne ;
- une dégradation de surface sous l'effet conjugué des cycles de gel-dégel et des sels de déverglaçage. La diffusion des sels dans le milieu interstitiel de la peau du béton développe des pressions osmotiques élevées produisant un phénomène d'écaillage du béton.

Dans le cas du béton armé, ce processus peut dénuder rapidement les armatures. Les chocs thermiques engendrés dans la couche superficielle du béton par l'application, à titre curatif, de sels de déverglaçage sur un film de glace, peuvent amplifier ces phénomènes.

En fonction de leur exposition et de leur environnement, les bétons peuvent présenter une seule forme de dégradation ou les deux simultanément.

Le diagnostic du gel interne

L'observation visuelle doit pouvoir différencier un réseau de fissures maillées suivant le ferrailage d'un réseau d'orientation aléatoire (type gonflement interne) ou d'un réseau de fissures parallèles dues à un délitage du béton (retrait, gélivité).

Dans une région froide, les désordres observés sont plus généralement causés par le gel que par une réaction de gonflement interne.

Dans le cas de dégradations avancées résultant du gel interne le diagnostic est immédiat.

Si les dégradations ne sont pas très avancées (avant la déstructuration du matériau), et si la corniche est postérieure aux années 1985/90 correspondant au début de l'emploi des entraîneurs d'air, des prélèvements par carottages suivis d'analyses (mesure L^{barre}) peuvent être réalisés si les dimensions de la corniche le permettent. Il est en effet nécessaire d'avoir des carottes de 10 cm de diamètre minimum, exemptes d'armatures. Ces essais visent à déterminer la susceptibilité du béton à résister au gel interne.

Si la corniche est antérieure, aucun essai simple ne peut qualifier la résistance du béton au phénomène. Il sera par contre utile, en fonction de l'enjeu, de déterminer sa vitesse d'évolution en réalisant un essai de vieillissement accéléré sur prélèvement.

Le diagnostic de l'écaillage

Le diagnostic relatif à l'écaillage est traité au paragraphe 1.4 ci-après.

1.1.2 Les réactions de gonflement interne des bétons

La figure 20 montre l'aspect d'une corniche atteinte de réactions de gonflement interne.



Figure 20. Fissuration caractéristique d'une réaction de gonflement interne

Les désordres apparents considérés comme les plus caractéristiques d'une telle dégradation sont les suivants :

- fissuration : elle peut prendre la forme d'un faïençage avec des mailles de 10 à 50 mm de côté et une profondeur de fissuration de quelques centimètres, parfois soulignée par l'humidité, ou se présenter en mailles de dimensions plus grandes avec des profondeurs de fissures pouvant atteindre 10 cm
- déformations anormales : gonflement global de tout ou partie de la pièce, déformation résiduelle
- phénomènes annexes : petits cratères, coloration ocre du parement, exsudats.

Ces symptômes ne suffisent pas à établir un diagnostic. Seule une étude à l'échelle du matériau permet d'apporter une conclusion.

Les causes

Pour l'alcali-réaction, la silice amorphe présente dans certains granulats est susceptible de réagir avec les alcalins et la chaux pour former en présence d'eau des produits d'alcali-réaction gonflants. Ces derniers provoquent des efforts mécaniques importants au cœur du béton et une expansion de la structure.

Pour la réaction sulfatique interne, les sulfates forment, avec les aluminates présents en plus ou moins grande quantité dans le béton et en présence d'eau, un composé expansif dénommé ettringite (ou sel de Candlot).

Le diagnostic de l'alcali-réaction

Il s'agit d'un phénomène non rencontré à ce jour sur les corniches préfabriquées. Il a par contre déjà été observé (bien que peu répandu) sur des corniches coulées en place dont le béton était en continuité avec celui du tablier.

Des prélèvements par carottages suivis d'examens par microscopie électronique à balayage pourront être effectués.

Le diagnostic d'une réaction sulfatique

Ce désordre qui pourrait concerner les corniches préfabriquées étuvées et éventuellement les corniches coulées en place, n'a pas encore été identifié en France.

En cas de suspicion, des prélèvements par carottages suivis d'examens par microscopie électronique à balayage pourraient être effectués pour confirmer la pathologie.

Rappel général : on se reportera au guide LCPC pour l'aide à la gestion des ouvrages atteints de réactions de gonflement interne.

1.2 Les éclats

1.2.1 Les éclats sans armature apparente

La figure 21 illustre différentes formes d'éclats.



Figure 21. Éclats de béton sans armature apparente

Les causes probables

- à la construction de l'ouvrage, il peut s'agir d'un défaut de décoffrage ou d'un choc lors du stockage, de la manutention ou de la pose
- pendant la vie de l'ouvrage, les éclats peuvent résulter :
- d'un choc accidentel sur la corniche ou sur le garde-corps scellé dans cette corniche
- d'un excès de compression : phase ultime du défaut constaté dans le paragraphe C.

Le diagnostic

Il s'agit la plupart du temps d'un problème esthétique sans conséquence pour la corniche en dehors de la perte d'épaisseur d'enrobage des armatures.

L'observation visuelle reste suffisante, il est cependant conseillé de vérifier les hauteurs libres sous l'ouvrage.

1.2.2 Les éclats avec armature apparente

La figure 22 présente des corniches avec éclats et armatures apparentes.



Figure 22. Présence d'éclats avec armatures apparentes en parement de corniche

Les causes probables

- chocs accidentels plus conséquents (véhicule hors gabarit par exemple surtout lorsque la face inférieure de la corniche se trouve plus bas que l'intrados du tablier)
- corrosion des armatures qui conduit à la formation de produits d'oxydation expansifs
- inserts de manutention mal protégés : le mortier se soulève puis disparaît, laissant l'insert visible au fond de l'éclat.

Les deux derniers désordres résultent le plus souvent d'un défaut d'enrobage. En effet, l'enrobage de béton autour des armatures a pour rôle principal d'assurer la protection des armatures et une transmission des forces par adhérence entre le béton et l'acier. L'enrobage de béton protège les aciers de deux façons : par une protection physique, le béton constituant une barrière vis-à-vis des agents agressifs et par une protection chimique grâce au pH élevé de la solution interstitielle du béton lequel maintient stable la couche protectrice d'oxyde passif formée sur les aciers. L'enrobage n'assure plus cette protection lorsque le béton est carbonaté et/ou lorsque la teneur en chlorure dépasse certains seuils au niveau des armatures.

Le diagnostic

Si ces éclats sont dus à un choc accidentel, il s'agit d'un préjudice esthétique qui peut avoir des conséquences importantes, au mieux pour la pérennité des armatures et au pire pour la stabilité de la corniche.

Si ces éclats sont dus à la corrosion des armatures, un diagnostic du béton d'enrobage (profondeur de carbonatation, profondeur de pénétration des chlorures, mesures de potentiel d'armatures) peut être réalisé sur les parties de la corniche ne présentant pas encore de désordre pour évaluer le degré d'avancement de la corrosion.

Les éclats au droit d'inserts de manutention ne nécessitent aucun diagnostic particulier.

1.2.3 Les éclats au droit des ancrages du dispositif de retenue

La figure 23 montre différents types de dégradations liées à l'ancrage des dispositifs de retenue.



Figure 23. Dégradations sur les différentes faces de la corniche

Les causes probables

- en face supérieure : l'éclatement du mortier de scellement des montants de garde-corps est dû principalement aux phénomènes de gel de l'eau pénétrant dans un mortier de mauvaise qualité ou à celle pénétrant en périphérie de la réservation du montant ;
- en face latérale : l'éclatement d'un tronc de cône de béton au droit d'un montant de garde-corps est dû au gel de l'eau emmagasinée depuis l'origine ou pendant la vie de l'ouvrage dans la réservation du montant, mal remplie par le mortier de scellement ou insuffisamment dimensionnée ;
- en face supérieure et latérale : il peut s'agir d'une phase ultime des dégradations précédentes dues au gel, qui provoque la fracturation de toute la partie de béton située en avant du montant de garde corps ou être la conséquence d'un choc sur le garde-corps.

Le diagnostic

L'aspect des dégradations est suffisant pour établir la cause principale. Une investigation destructive au droit du mortier de scellement peut permettre de confirmer cette première hypothèse.

1.3 Les fissures

Les causes de fissuration sont nombreuses. Il peut notamment s'agir du premier signe d'une pathologie qui engendrera des désordres plus conséquents. On peut les classer suivant leur direction.

1.3.1 Fissures verticales

- Fissures verticales sur le parement d'une corniche qui peuvent se prolonger en face supérieure (fissure transversale).



Figure 24. Exemple de fissure verticale

Les causes probables

Pour les corniches coulées en place, ces fissures peuvent résulter du retrait différentiel entre deux bétons d'âges différents en raison d'une reprise de bétonnage entre le tablier et la corniche.

Pour les corniches préfabriquées comme pour les corniches coulées en place, ces fissures peuvent résulter du retrait de dessiccation du béton (défaut de cure au jeune âge par exemple). Dans ce cas elles se situent préférentiellement au droit des armatures les plus proches de la surface. Ces fissures se distinguent par leur aspect général proche d'une rupture par arrachement du liant dès les premières heures après la mise en œuvre du matériau alors que les précédentes sont des fractures de la matière apparaissant un peu plus tard.

Ces fissures peuvent aussi constituer le premier signe de corrosion des armatures verticales (cadres). Leur aspect est identique à celui des fissures de retrait mais peut ne concerner qu'une partie du linéaire de l'armature.

Le diagnostic

Si l'on ne peut déterminer visuellement et de manière certaine que l'origine des fissures est un phénomène lié à la mise en œuvre d'origine (retrait différentiel, reprise de bétonnage, dessiccation...), il convient de rechercher si la corrosion des armatures peut en être la cause en réalisant une cartographie des potentiels d'armatures. À l'occasion de ces mesures, la localisation et la mise à nu d'une armature, nécessaires à ces essais, permettront d'estimer la profondeur de carbonatation et la présence de chlorures par des essais simples in-situ. Ces essais non normalisés consistent à pulvériser de la phénolphthaléine sur la surface du béton fraîchement découverte pour détecter la carbonatation et à effectuer une attaque à l'acide suivie d'une réaction au nitrate d'argent sur les produits de forage pour révéler la présence des chlorures.

1.3.2 Fissures transversales

- Fissures transversales sur le parement supérieur d'une corniche.

Les causes probables

- le retrait de dessiccation du béton (fissures préférentiellement situées au droit des armatures les plus proches de la surface) ;
- la corrosion des armatures (cadres) ;
- la flexion longitudinale du tablier en zone de moment négatif sur pile pour les corniches coulées en place, a fortiori si elles ont été coulées en même temps que le tablier.

Le diagnostic

Il est identique au précédent diagnostic qui concerne les fissures verticales.

Pour les fissures dues à la flexion générale, leur localisation uniquement au droit des zones de moment négatif suffit à les identifier.

1.3.3 Fissures longitudinales en face supérieure d'une corniche



Figure 25. Exemple de fissure longitudinale

Les Causes

La corrosion des armatures longitudinales ou horizontales est plus rare que celle des armatures transversales ou verticales.

Il peut également s'agir des conséquences d'une mise en butée entre l'extrémité du tablier et un élément de la culée, ou entre deux éléments de tablier au droit d'un joint intermédiaire.

Pour les corniches ancrées par des tiges verticales, il a déjà été observé une fissure suivant l'alignement des tiges (voir figure 10 du Chapitre 1).

Le diagnostic

L'observation visuelle et la comparaison avec les inspections précédentes sont suffisantes dans les deux premiers cas.

Dans le cas d'une fissure située dans l'alignement de tiges de scellement, se reporter au paragraphe 2.2 ci-après.

1.3.4 Fissures multidirectionnelles

Elles sont souvent en étoile comme illustrées dans la figure 26.



Figure 26. Fissures multidirectionnelles

Les causes

Il s'agit souvent d'un premier signe de compression excessive pouvant être engendré par deux pièces en contact avec absence ou insuffisance de jeu, (désordre également rencontré sur des corniches coulées en place au droit d'une pile d'un ouvrage hyperstatique).

Le diagnostic

L'observation visuelle reste suffisante.

1.3.5 Fissures en réseau et faïençage

Les Causes

- retrait de dessiccation ;
- réaction de gonflement interne du béton (alcali-réaction et réaction sulfatique) ; les fissures peuvent être le siège d'exsudats ;
- premiers signes de dégradation d'un béton gélif.

Le diagnostic

Voir le paragraphe 1.1 ci-avant.

1.3.6 Fissures calcifiées (quelle que soit leur orientation)

- Les fissures calcifiées, quelle que soit leur orientation



Figure 27. Exemple de fissures calcifiées

Les causes

Les dépôts de calcite résultent de l'entraînement de la chaux par les circulations d'eau et sont révélateurs d'un défaut d'étanchéité : soit corniche fissurée, soit déficience du relevé d'étanchéité, soit infiltration par une reprise de bétonnage ou par les scellements des équipements.

Le diagnostic

Lorsque la calcite est colorée d'oxyde, on suspecte immédiatement une corrosion des armatures situées sur le parcours de la fissure ou de la reprise de bétonnage. Le diagnostic est décrit au paragraphe 4.1 ci-après.

Lorsque la calcite est blanche, on essaiera de déterminer visuellement si la réaction est toujours active.

1.4 Les défauts de surface

1.4.1 Les traces d'écoulement et les salissures



Figure 28. Différents aspects du parement liés aux écoulements et aux salissures

Les causes

Les écoulements peuvent résulter de la forme de la corniche (le dossier GC 77 parlait de corniches avec parement à fruit positif, qui ont pour intérêt de procurer à la corniche un meilleur éclairage et d'améliorer son auto-nettoyage) mais également du sens d'écoulement des eaux de ruissellement (dévers de la partie supérieure de la corniche, voire du trottoir, incliné vers l'extérieur de l'ouvrage).

L'entraînement des poussières et des dépôts divers par ces écoulements engendre les salissures.

Ces écoulements favorisent également l'apparition de micro-organismes (mousse, lichens...) qui dégradent l'aspect des parements.

Le diagnostic

Comme il s'agit avant tout d'un problème esthétique sans conséquence importante à court terme pour la corniche, l'observation visuelle reste donc suffisante.

À plus long terme, ces écoulements peuvent entraîner des altérations du béton en surface ainsi que la corrosion des armatures sous-jacentes.

1.4.2 Les variations de teinte et les taches noires



Figure 29. Parement d'une corniche avec variation de la teinte

Les causes

Les causes des variations de teinte sont nombreuses. Elles peuvent soit provenir d'impuretés dans la masse du béton ou sur les coffrages, soit être provoquées par l'absorption d'eau par les coffrages, soit être imputables au mode de mise en œuvre. Les taches noires résultent de la vibration des bétons :

- revibration pendant sa première phase de durcissement ;
- ségrégation au sein de la fraction la plus fine des composants du béton notamment parmi les grains de ciment lors de la vibration.

Il s'agit de causes liées à la fabrication et en conséquence ces désordres sont visibles dès l'origine.

Le diagnostic

Comme il s'agit avant tout d'un problème esthétique sans conséquence importante pour la corniche, l'observation visuelle reste suffisante.

1.4.3 Les efflorescences

Il s'agit de taches blanchâtres en surface du béton provenant de dépôts de microcristaux de carbonate de calcium.

Les causes

Elles apparaissent sur les parements en béton dès leur décoffrage ou à très court terme et sont des dépôts irréguliers blanchâtres. Elles trouvent leur origine dans l'hydroxyde de calcium qui est libéré lors des réactions d'hydratation des constituants du ciment lorsque le béton est poreux en surface et qui réagit au contact du gaz carbonique de l'air pour former un composé blanc peu soluble, le carbonate de calcium.

Le diagnostic

Il s'agit d'un problème esthétique sans conséquence pour la corniche. L'observation visuelle reste suffisante

1.4.4 Les bullages ou soufflures



Figure 30. Aspect d'une corniche présentant du bullage

Les causes

Elles peuvent être regroupées en trois catégories :

- la formulation du béton (manque de fines, manque d'ouvrabilité, utilisation d'un adjuvant entraîneur d'air...)
- l'inadaptation des coffrages (position inadéquate du moule d'une corniche préfabriquée lors du coulage)
- la mise en œuvre négligée (défaut de vibration)

À signaler également les difficultés lors du serrage du béton pour faire remonter les bulles le long des coffrages pour certains bétons avec entraîneur d'air (béton traité G + S).

Il s'agit de causes liées à la fabrication et en conséquence ces désordres sont visibles dès l'origine.

Le diagnostic

S'agissant d'un problème lié à la construction, uniquement esthétique lorsqu'il est superficiel (< 5 mm de profondeur), il est donc sans conséquence pour la corniche. L'observation visuelle reste suffisante.

Lorsque le défaut a une profondeur > 5 mm, le bullage diminue sensiblement la protection des armatures. Le diagnostic visuel peut être complété par une vérification de l'enrobage des armatures et éventuellement, en cas de faible enrobage, par une mesure de la perméabilité de surface lorsque la géométrie de la corniche le permet.

1.4.5 Les nids de cailloux et les fuites de laitance



Figure 31. Deux exemples d'hétérogénéité de type « nids de cailloux »

Les causes

La cause essentielle des fuites de laitance est le manque d'étanchéité des coffrages.

Les formations de nids de cailloux proviennent essentiellement de la ségrégation du béton ; il s'agit donc d'un problème lié à la construction. La faible épaisseur de certaines corniches avec une densité d'armatures conséquente (prolongement des armatures de liaison avec la structure) peut favoriser cette ségrégation.

Le diagnostic

Il s'agit d'un problème lié à la construction, sans conséquence grave pour la corniche lorsqu'il est localisé.

Si la profondeur du nid de cailloux est importante (> 5 mm), la protection des armatures est diminuée. Le diagnostic consiste à déterminer cette profondeur par un sondage destructif local et à estimer l'enrobage des armatures.

1.4.6 L'écaillage

Figure 32. Exemple d'écaillage sur corniche et sur éprouvette de laboratoire

Les causes

Les causes sont explicitées dans le paragraphe 1.1 ci-avant, « Défaut dans la masse : le béton gélif ».

Le diagnostic

L'observation visuelle est suffisante pour reconnaître le phénomène d'écaillage. Si on le juge nécessaire, la vitesse d'évolution du désordre peut être appréciée par un essai d'écaillage sur prélèvement. Il est vraisemblable que la taille du ou des échantillons qu'il sera possible de prélever ne permettra pas de respecter les termes de la norme XP P18420 (carotte de diamètre 150 mm) mais on essaiera de s'en rapprocher au mieux ; les résultats des mesures seront considérés comme un indicateur. Cet essai peut être couplé avec un essai de compatibilité du produit de protection envisagé.

1.4.7 Les taches de rouille**Les causes**

Elles peuvent résulter de coffrages métalliques mal nettoyés, de ligatures en fond de coffrage ou être le premier signe visible de la corrosion des armatures.

Le diagnostic

Dans le cas de coffrages mal nettoyés ou de ligatures en fond de coffrage, le préjudice n'est qu'esthétique et la simple observation ne nécessite aucun complément d'investigation.



Figure 33. Taches de rouille en surface du parement

En cas de premiers signes de corrosion des armatures, et en fonction de l'étendue du phénomène, il est préconisé un diagnostic du béton d'enrobage. À l'occasion de ces mesures, la localisation et la mise à nu d'une armature, nécessaires à la réalisation des mesures de potentiel d'électrode, peut permettre d'estimer la profondeur de carbonatation et la présence de chlorures par des essais simples in situ (voir paragraphe 1.3 ci-avant concernant les fissures verticales).

1.4.8 Les armatures apparentes (affleurantes)



Figure 34. Exemples d'armatures visibles en peau

Les causes

Un défaut d'enrobage lié à l'insuffisance de calage des armatures.

Le diagnostic

Des mesures de profondeurs d'enrobage doivent être effectuées sur l'ensemble du parement, afin de déterminer si l'enrobage des armatures est insuffisant d'une manière générale ou si les armatures observées en surface sont des points singuliers.

1.4.9 Les cratères « pop-outs »

Les causes probables

- ces cratères peuvent constituer un signe d'alcali-réaction : les granulats réactifs proches du parement le font éclater en expulsant une pastille conique d'un diamètre de l'ordre de 1 à 2 centimètres ;
- des granulats gélifs peuvent causer le même phénomène.

Le diagnostic

Des prélèvements par carottages suivis d'analyses par microscopie électronique à balayage détermineront s'il y a présence d'un phénomène de réaction alcali-granulats.

1.5 Les défauts géométriques

Les défauts géométriques de la figure 35 peuvent se présenter en plan ou en profil en long.



En plan



En profil en long

Figure 35. Exemples de défauts géométriques

Les causes probables

Il peut s'agir de simples défauts de pose ou le résultat d'interventions ultérieures (vérinage) mais ils peuvent également être révélateurs de désordres beaucoup plus graves :

- défaillance de la liaison avec la structure (défaut d'alignement) ;
- désordre de la structure :
 - tassement, flèche... (défaut de profil en long) ;
 - déversement d'un mur en retour (défaut d'alignement).

Le diagnostic

Avant tout diagnostic, il convient de s'assurer immédiatement de la stabilité de la corniche. Si ce défaut ne date pas de la construction, s'il n'est pas dû à un choc ou s'il ne s'agit pas des conséquences d'un désordre de la structure, il peut alors s'agir d'un problème de liaison de la corniche à la structure.

En fonction du type de liaison, les investigations à mener sont indiquées dans le paragraphe 2 ci-après.

1.6 Désordres sur les traitements ou les réparations

1.6.1 Les décollements de revêtements

Il peut s'agir de revêtements mis en œuvre à l'origine pour assurer une protection supplémentaire vis-à-vis des agressions extérieures ou mis en œuvre à l'occasion d'une opération d'entretien spécialisé. La figure 36 présente des revêtements décollés.



Figure 36. Décollement du revêtement sur des corniches

Les causes

Les décollements peuvent être dus à une mauvaise application ou à une application sur un support n'ayant pas reçu la préparation de surface adéquate, à un vieillissement normal ou accéléré du produit, voire à une atteinte du support par un phénomène de gonflement interne du béton ou par la corrosion des armatures sous-jacentes.

Le diagnostic

Une recherche de la nature du produit, de ses caractéristiques, du protocole et de sa date d'application accompagnée d'une observation visuelle, sont suffisantes. L'observation du support dans les zones déjà décollées ou décollées pour les besoins du diagnostic (couleur, déformation, fissuration, éclat...) peut ramener à un cas traité par ailleurs, le revêtement subissant les conséquences d'une pathologie, sans en être directement la cause.

1.6.2 Ragréages fissurés, non décollés



Figure 37. Fissuration des ragréages

Les causes

Ces désordres peuvent résulter de l'absence de cure et/ou du retrait.

Le diagnostic

Il s'agit d'un problème lié à la mise en œuvre, sans conséquence immédiate grave pour la corniche mais qui doit être suivi dans le temps. Il faut rechercher la nature du produit, ses caractéristiques théoriques et son protocole de mise en œuvre afin d'apprécier les risques d'évolution.

1.6.3 Ragréages décollés



Figure 38. Décollement des ragréages

Les causes

Ce décollement peut résulter d'une mauvaise adhérence au support ou de l'évolution possible des dégradations antérieures.

Le diagnostic

L'observation visuelle et le sondage au marteau permettront d'apprécier les risques de chute. La recherche de la nature du produit, de ses caractéristiques et du protocole de mise en œuvre permettra de compléter ce diagnostic.

2. Les désordres qui concernent le liaisonnement corniche – structure

2.1 Corniches préfabriquées

2.1.1 Le cas de liaison par contre corniche

2.1.1.1 Corrosion des armatures de liaison

La corrosion peut être :

- visible en partie supérieure : armatures apparentes ou éclats sur armatures (figure 39) ;



Figure 39. Corrosion de l'armature de liaison en partie supérieure

- visible en partie inférieure : écoulement couleur rouille visible sur la face latérale du tablier (figure 40).



Figure 40. Écoulement couleur rouille et stalactites sous les corniches

Le diagnostic

Si quelques armatures sont apparentes (manque d'enrobage), des mesures de profondeurs d'enrobage doivent être effectuées sur l'ensemble du parement afin de déterminer si l'enrobage des armatures est insuffisant d'une manière générale ou si les armatures observées en surface sont des points singuliers.

En fonction de l'étendue du phénomène, il est préconisé une cartographie des potentiels d'armatures. À l'occasion de ces mesures, la localisation et la mise à nu d'une armature, nécessaires à ces essais, peut permettre d'estimer la profondeur de carbonatation et la présence de chlorures par des essais simples in-situ (voir C du chapitre 2.1 : fissures verticales).

2.1.1.2 Reprise de bétonnage fissurée entre la corniche et la contre corniche avec risque de pénétration d'eau

Ce défaut peut être visible :

- en partie supérieure (figure 41) ;
- en partie inférieure (figure 42).



Figure 41. Reprise de bétonnage fissurée

Le diagnostic

En l'absence de méthode non destructive fiable, il faut observer l'état des armatures par une reconnaissance destructive locale au droit de la reprise de bétonnage (si les caractéristiques géométriques de la corniche le permettent). Cela sera d'autant plus justifié en cas de présence de coulures de couleur rouille.



Figure 42. Bavette de calcite sur la face latérale du tablier révélant une reprise de bétonnage fissurée

2.1.1.3 Chute d'un élément

Les enquêtes menées par le réseau des Laboratoires des Ponts et Chaussées auprès de différents gestionnaires d'ouvrages ont révélé un seul cas de chute d'éléments de corniche liaisonnés à la structure par l'intermédiaire d'une contre corniche, ce cas est présenté dans le chapitre 1 du présent guide.

2.1.2 Le cas de liaisons ponctuelles

2.1.2.1 Coulure de rouille sur la face latérale du tablier

Ce désordre peut être dû à une corrosion des aciers servant de liaison.

Le diagnostic

Le diagnostic comportera l'identification du type de liaison :

- la recherche du mode de construction dans le dossier d'ouvrage ;
- l'observation visuelle pour trouver des indices révélant le mode de construction, éventuellement par emploi d'un endoscope dans les zones d'accès réduit (bordure du tablier, zone de calage...).

Selon les trois types de liaison les plus rencontrés, il convient de réaliser :

- dans le cas de vis et douilles VEMO : une observation endoscopique et si celle -ci n'est pas possible une exploration destructive locale sera envisagé (si les caractéristiques géométriques de la corniche le permettent) ;
- dans le cas de goujons verticaux débouchant dans des réservations accessibles en face supérieure (figure 43) : des tests ultra-sons visant à estimer la longueur de tige saine réalisés après dégagement des cachetages en face supérieure de la corniche ;



Figure 43. Fixation de corniches par goujons verticaux

➤ goujons verticaux non accessibles depuis la face supérieure : il n'y a pas de solution non destructive ni même partiellement destructive.

2.1.2.2 Cas particulier de chute d'un élément

Ce type d'accident (figure 44) permet d'identifier immédiatement la nature et le nombre d'éléments constituant la liaison. Il peut ainsi révéler une insuffisance initiale d'éléments de liaison (figure 45). Le diagnostic décrit précédemment s'applique alors aux éléments restés en place, indépendamment de la présence de rouille.



Figure 44. Chute d'un élément de corniche

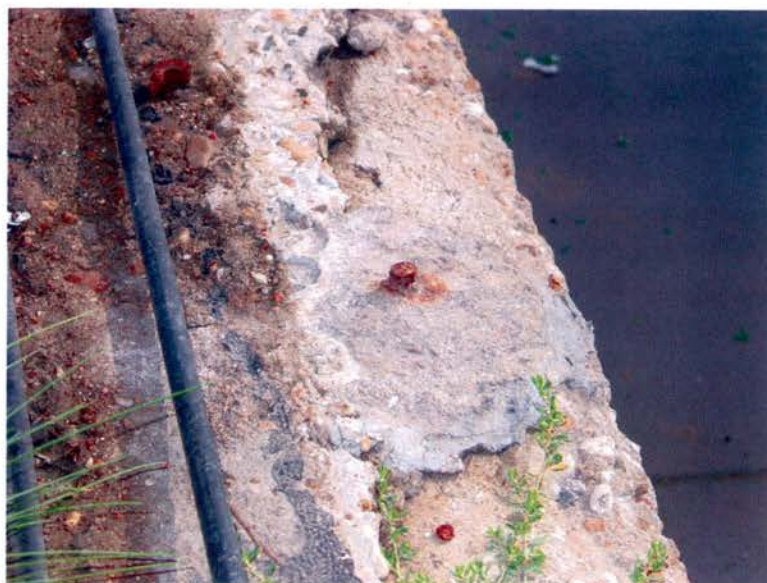


Figure 45. Goujons sectionnés visibles après la chute de la corniche

2.1.2.3 Fracture longitudinale suivant le tracé du dispositif de liaison



Figure 46. Fracture au niveau du liaisonnement

Le diagnostic

Après observation fine des corniches concernées ainsi que de leur environnement, une exploration destructive ponctuelle est à réaliser. Ces deux investigations doivent permettre de déterminer notamment s'il s'agit d'une conséquence de l'oxydation des pièces métalliques sous-jacentes.

2.2 Corniches coulées en place

2.2.1 Absence de liaison constatée lors de la dépose d'une corniche



Figure 47. Corniche non liaisonnée au tablier

Le diagnostic

En l'absence de constat pathologique, cet état ne peut être décelé qu'en consultant les plans d'exécution. Déjà observé une fois au moins, il est vraisemblablement marginal.

2.2.2 Présence d'eau et/ou de calcite colorée d'oxyde à la liaison inférieure entre le tablier et la corniche



Figure 48. Coulures à l'interface corniche - tablier

Les causes

Défaut ou absence d'étanchéité en présence d'une reprise défectueuse ou fissurée.

Le diagnostic

Si le défaut est étendu ou généralisé, rechercher dans le dossier d'ouvrage, puis in-situ, la géométrie de l'étanchéité, de la reprise de bétonnage et leurs interférences réciproques (relevé d'étanchéité...). Il n'existe pas actuellement de moyen non destructif ou semi-destructif simple pour identifier la qualité des armatures au niveau de la liaison tablier-corniche.

3. Tableaux récapitulatifs

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₁ Épaufrure ou éclat en section courante	Choc de véhicule ou engin hors gabarit	x		Chute d'éclats de béton	Chute d'éclats de béton	Vérifier les limitations de gabarit	1.2
	Gel		I ₉		Destruction de la corniche		1.2
D ₂ Armatures apparentes avec ou sans épaufrures	Enrobage insuffisant d'armatures de peau		I ₃ [*] I ₄ [*] I ₅ [*] I ₆ [*]	Oxydation	Chute d'éclats de béton	Attention à la corrosion des armatures de liaison cf. D ₉	1.2
	Corrosion due à la carbonatation et/ou présence de chlorures		I ₁ I ₂ I ₃ I ₄ I ₅ I ₆	Oxydation	Chute d'éclats de béton		1.2 / 1.4
D ₃ Éclatement (ou fissuration) au niveau des ancrages des équipements latéraux	Choc sur un équipement porté par la corniche	x	I ₁₃	Chute d'éclats de béton	Destruction de la corniche	Apprécier l'efficacité de l'équipement	1.2
	Pénétration d'eau dans la réservation + poussée due au gel			Chute d'éclats de béton		Les éclats se produisent principalement en face supérieure mais peuvent parfois apparaître en face verticale	1.2
	Absence de frettage		I ₁ I ₁₁		Chute du dispositif de retenue	Vérifier efficacité du dispositif de retenue	1.2
D ₄ Fissures	Retrait différentiel		I ₁₀	Corrosion des armatures par infiltration d'eau		Fissuration verticale ou transversale au droit d'une reprise	1.3
	Retrait de dessiccation		I ₁₀	Corrosion des armatures par infiltration d'eau		Souvent au droit des armatures les plus proches de la peau, apparaissant très rapidement à la construction	1.3

I₆ : Mesures de teneur en chlorures
 I₇ : Diagnostic RAG
 I₈ : Diagnostic RSI
 I₉ : Diagnostic gel et/ou écaillage
 I₁₀ : ID précédente

I₁ : Examen du dossier d'ouvrage
 I₂ : Relevé précis + quantification
 I₃ : Mesure de profondeur d'enrobage
 I₄ : Mesure de profondeur de carbonatation
 I₅ : Mesures de potentiel d'enrouillement

I₁₁ : Sondage destructif
 I₁₂ : Démontage d'élément
 I₁₃ : Examen spécifique de la structure
 I₁₄ : Mesure de porosité
 I₁₅ : Instrumentation particulière (Endoscopie, U.S., thermographie infrarouge)

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
	Excès de compression (mauvaise prise en compte ou blocage de la dilatation)		I ₁₀ , I ₁₃	Corrosion des armatures par infiltration d'eau	Chute d'éclats de béton	Fissuration longitudinale s'initiant au droit d'un joint de dilatation, au niveau de la jonction entre deux structures. Peut se traduire par une fissuration multidirectionnelle proche du point de contact. Estimer la valeur des déplacements relatifs.	1.3
	Dégradation interne du béton : gel		I ₉		Destruction de la corniche	Fissuration multidirectionnelle de la corniche. Diagnostic à réaliser sur béton ancien pour déterminer la vitesse d'évolution si peu avancée lors du constat. Sur béton postérieur à 1985/90 détermination du L _{borne} .	1.1
	Dégradation interne du béton : Réaction Alcali-granulats		I ₇ , I ₈		Destruction de la corniche	Surveiller le tablier si béton identique	1.1
	Dégradation interne du béton : Réaction sulfatique		I ₇ , I ₈		Destruction de la corniche	Non identifiée à ce jour en France. Surveiller le tablier si béton identique	1.1
	Oxydation d'armatures sous-jacentes		I ₃ [*] , I ₄ [*] , I ₅ [*] , I ₆ [*]	Chute d'éclats de béton		Fissuration locale suivant l'axe des armatures : longitudinale, transversale, verticale	1.3
	Fissuration du tablier en zone de moment négatif (sur appuis intermédiaires)		I ₁₀ , I ₁₃	Corrosion des armatures par infiltration d'eau		Fissuration verticale + transversale en face supérieure	1.3
D ₅	Traces d'écoulements et salissures			Formation de mousses	Altération de la surface du béton	Souvent purement esthétique.	1.4
D ₆	Variations de teinte, taches noires		I ₁₀			Souvent purement esthétique.	1.4
D ₇	Efflorescences	Phénomène apparaissant lors du décoffrage ou à très court terme lors des réactions d'hydratation du ciment en présence de gaz carbonique	I ₁₀ (I ₁₄)			Souvent purement esthétique.	1.4
D ₈	Concrétions calcaires	Circulation d'eau par les fissures		Oxydation des armatures		Rechercher l'activité et la présence d'oxyde.	1.3

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₉	Défaut du relevé d'étanchéité		I ₁	Oxydation des armatures		En l'absence de fissure, présence au niveau de la reprise de bétonnage longitudinale. Attention à l'oxydation par dissolution des armatures traversant la reprise. Cf. D ₉	1.3
D ₉	Traces ou coulures d'oxyde		I _{3, 4, 5, 6}		Chute d'éclats de béton	Ne pas confondre les armatures avec des restes de ligatures en fond de coffrage, ou des taches dues aux coffrages métalliques	1.
	Corrosion des équipements latéraux					Défaut esthétique	1.4
	Défaut d'étanchéité et corrosion des armatures de liaison avec le tablier		I _{1, 10, 11} **	Dégradation du béton du tablier			1.4
D ₁₀	Phénomène lié à la formulation et/ou à la mise en œuvre du béton		I ₃			Purement esthétique si < 5mm de profondeur. Investigations si profondeur > 5mm	1.4
D ₁₁	Ségrégation du béton à la mise en œuvre Manque d'étanchéité des coffrages		I _{3, 11}			Purement esthétique si < 5mm de profondeur. Investigations visant à déterminer la profondeur.	1.4
D ₁₂	Gel + sels de déverglaçage		I _{6, 9}	Chute d'éclats de béton	Destruction de la corniche	Attention, peut se présenter simultanément avec le gel interne. Lors d'un essai de résistance à l'écaillage, on peut en profiter pour s'intéresser au comportement d'un produit de protection. Peut être grave : préconiser ID d'urgence	1.4
D ₁₃	Désordre structurel du tablier porteur		I _{1, 2, 10, 13}				1.
	Déformation en phase construction		I ₁₀				1.5
D ₁₄	Défaut de mise en œuvre, mauvaise préparation du support, produit non adapté, vieillissement		I ₁			Il peut s'agir d'une évolution des dégradations antérieures (voir dossier des réparations)	1.6

D'une manière générale, toute observation doit être comparée à celles effectuées lors de l'ID précédente afin d'en apprécier l'évolution.

* : À effectuer dans les zones non atteintes visuellement.

** : Pour visualiser l'état des armatures de liaison si le défaut est étendu et en présence d'oxyde en sous face

Tableau 1. Défauts des corniches coulées en place

- I_1 : Examen du dossier d'ouvrage
 I_2 : Relevé précis + quantification
 I_3 : Mesure de profondeur d'enrobage
 I_4 : Mesure de profondeur de carbonatation
 I_5 : Mesures de potentiel d'entraînement
 I_6 : Mesures de teneur en chlorures
 I_7 : Diagnostic RAG
 I_8 : Diagnostic RSI
 I_9 : Diagnostic gel et/ou écaillage
 I_{10} : ID précédente
 I_{11} : Sondage destructif
 I_{12} : Démontage d'élément
 I_{13} : Examen spécifique de la structure
 I_{14} : Mesure de porosité
 I_{15} : Instrumentation particulière (Endoscopie, U.S., thermographie infrarouge)

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D_1 Épaufrure ou éclat en section courante	Défaut de manutention		I_{10}				1.2
	Choc de véhicule ou engin hors gabarit	x		Chute d'éclats de béton	Déstabilisation de la corniche	Vérifier les limitations de gabarit. Vérifier la tenue des éléments choqués et restés en place.	1.2
	Gel		I_9		Destruction de la corniche	Cf. D_3 : évolution de la fissuration multi directionnelle.	1.2
D_2 Armatures apparentes avec ou sans épaufrures	Enrobage insuffisant des armatures de peau		$I_3^* I_4^* I_5^* I_6^*$	Chute d'éclats de béton			1.2
	Corrosion due à la carbonatation et/ou à la présence de chlorures		$I_3 I_4 I_5 I_6$	Chute d'éclats de béton			1.2
	Enrobage insuffisant des armatures de liaison au tablier (contre corniche)		$I_1 I_3 I_4 + I_5^* I_6^*$		Chute d'élément de corniche		1.2
	Cachetages de la boulonnerie de fixation défailants					Attention à moyen terme à la corrosion de la boulonnerie.	1.2
	Inserts de manutention mal protégés						1.2
D_3 Éclatement (ou fissuration) au niveau des ancrages des équipements latéraux	Choc sur un équipement porté par la corniche	x	I_{13}	Chute d'éclats de béton	Destruction de la corniche	Apprécier l'efficacité de l'équipement	1.2
	Pénétration d'eau dans la réservation + poussée due au gel			Chute d'éclats de béton		Les éclats se produisent principalement en face supérieure mais peuvent parfois apparaître en face verticale	1.2
	Absence de fretage		I_{11}		Chute du dispositif de retenue	Vérifier efficacité du dispositif de retenue	1.2

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₄	Retrait différentiel		I ₁₀	Corrosion des armatures par infiltration d'eau		Fissuration de la contre corniche au droit d'une reprise de bétonnage.	1.3
	Retrait de dessiccation		I ₁₀	Corrosion des armatures par infiltration d'eau		Souvent au droit des armatures les plus proches de la peau, apparaissant très rapidement à la construction	1.3
	Excès de compression (mauvaise prise en compte ou blocage de la dilatation)		I ₁₀ , I ₁₃	Corrosion des armatures par infiltration d'eau	Chute d'éclats de béton	Fissuration longitudinale ou biaise s'initiant au droit d'un joint en extrémité de travée. Peut se traduire par une fissuration multidirectionnelle proche du point de contact. Estimer la valeur des déplacements relatifs.	1.3
	Dégradation interne du béton : gel		I ₉		Destruction de la corniche	Fissuration multidirectionnelle de la corniche. Diagnostic à réaliser sur béton ancien pour déterminer la vitesse d'évolution si peu avancée lors du constat. Sur béton postérieur à 1985/90 détermination du L-barre.	1.1
	Dégradation interne du béton : Réaction Alcali-granulats		I ₇ , I ₆		Destruction de la corniche	Non observée à ce jour sur des corniches préfabriquées.	1.1
	Dégradation interne du béton : Réaction sulfatique		I ₇ , I ₈		Destruction de la corniche	Non identifiée à ce jour en France.	1.1
	Corrosion d'armatures sous-jacentes		I ₃ *, I ₄ *, I ₅ *, I ₆ *	Chute d'éclats de béton		Fissuration locale suivant l'axe des armatures : longitudinale, transversale, verticale	1.3
	Corrosion de la boulonnerie de fixation	x	I ₁ puis endoscopie si possible ou US sur tiges si accessibles et/ou I ₁₁ , I ₁₂		Chute d'élément de corniche	Fissuration ou fracturation longitudinale dans l'axe des fixations Les choix de diagnostic dépendent du type de fixation et de leur accessibilité.	1.3 et 2.1.2
	Corrosion des armatures de liaison avec la contre corniche ou ferrailage insuffisant	x	I ₃ , I ₅ + (I ₄ , I ₆)		Chute d'élément de corniche	Fissure visible en face supérieure à la liaison avec la contre corniche	

	Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₅	Traces d'écoulements et salissures	Sur la corniche : forme de la corniche, dévers défavorable			Formation de mousses	Altération de la surface du béton	Souvent purement esthétique.	1.4
		Sur la structure du tablier : absence ou défaillance des joints entre éléments			Dégradation du béton du tablier		Défaut très fréquent justifiant la présence d'un larmier en bordure d'intrados pour limiter les agressions du tablier.	1.4
D ₆	Variations de teinte, taches noires	Problème de fabrication et de mise en œuvre du béton		I ₁₀			Souvent purement esthétique.	1.4
D ₇	Efflorescences	Phénomène apparaissant lors du décoffrage ou à très court terme lors des réactions d'hydratation du ciment en présence de gaz carbonique		I ₁₀ (I ₁₄)			Souvent purement esthétique.	1.4
D ₈	Concrétions calcaires	Circulation d'eau par les fissures			Oxydation des armatures		Rechercher l'activité et la présence d'oxyde.	1.3
		Contournement de l'étanchéité			Oxydation des armatures	Chute d'élément de corniche	En l'absence de fissure, présence en bordure de tablier et sur la face interne de la corniche. Attention à l'oxydation par dissolution des armatures de liaison. Cf. D ₉	1.3
D ₉	Traces ou coulures d'oxyde	Premier signe de la corrosion des armatures		I ₃ I ₄ I ₅ I ₆		Chute d'éclats de béton	Ne pas confondre les armatures avec des restes de ligatures en fond de coffrage, ou des taches dues aux coffrages métalliques	1.4
		Corrosion des équipements latéraux					Défaut esthétique	1.4
		Corrosion des armatures de liaison par défaut d'étanchéité à la reprise avec la contre corniche		I ₁ I ₁₁ **	Oxydation des armatures de liaison	Chute d'élément de corniche	Cf. D ₈	2.1
		Corrosion des dispositifs de fixation (autres que contre corniche) : boulonnerie		I ₁ puis endoscopie si possible ou US sur tiges si accessibles et/ou I ₁₁ I ₁₂		Chute d'élément de corniche	Les choix de diagnostic dépendent du type de fixation et de leur accessibilité. Une incompatibilité électrochimique des éléments de la boulonnerie peut être la cause de la corrosion.	2.1

Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₁₀	Bouillage - soufflures Phénomène lié à la formulation et/ou à la mise en œuvre du béton		I ₃			Purement esthétique si < 5mm de profondeur. Investigations si profondeur > 5mm	1.4
D ₁₁	Nids de cailloux Fuites de laitance Ségrégation du béton à la mise en œuvre Manque d'étanchéité des coffrages		I ₃ I ₁₁			Purement esthétique si < 5mm de profondeur. Investigation visant à déterminer la profondeur.	1.4
D ₁₂	Écaillage Gel + sels de déverglaçage		I ₆ I ₉	Chute d'éclats de béton	Destruction de la corniche	Attention, peut se présenter simultanément avec le gel interne. Lors d'un essai de résistance à l'écaillage, on peut en profiter pour s'intéresser au comportement d'un produit de protection.	1.4
D ₁₃₋₁	Défaut général de profil en long Désordre structurel du tablier porteur		I ₁ I ₂ I ₁₀ I ₁₃			Peut être grave : préconiser ID d'urgence	1.5
	Défaut de pose		I ₁₀₋₂		Néant	Défaut local	1.5
	Dégradation du matériau de réglage	x	I ₁ +I ₂ +I ₁₁ ou I ₁₂		Chute d'élément de corniche	Défaut local, examiner le dispositif de fixation	1.5
D ₁₃₋₂	Défaut d'alignement en plan Défaut de pose		I ₁		Néant		1.5
	Rupture partielle ou totale des éléments d'ancrage	x	I ₁₅₋₁₂		Chute d'élément de corniche		1.5
	Choc de véhicule hors gabarit	x			Chute d'élément de corniche	Apprécier les risques de chute	1.5
	Choc sur un équipement supporté par la corniche	x			Chute d'élément de corniche	Apprécier les risques de chute + apprécier l'efficacité de l'équipement si nécessaire.	1.5
D ₁₄	Réparations et revêtements dégradés Défaut de mise en œuvre, mauvaise préparation du support, produit non adapté, vieillissement		I ₁		Chute d'élément de corniche	Il peut s'agir d'une évolution des dégradations antérieures (voir dossier des réparations)	1.6

	Désordre visible	Origine(s) possible(s)	Aspect sécurité immédiat	Investigations à prévoir	Évolution probable	Évolution ultime possible	Commentaire	Voir paragraphe
D ₁₅	Absence d'élément	Désordre structurel du tablier porteur	x	I ₁₀ , I ₁₁ , I ₁₂ , I ₁₃			Peut être grave : préconiser ID d'urgence. L'observation de l'élément tombé et de sa zone d'ancrage doit permettre de déterminer les causes principales de la chute et de prendre les mesures nécessaires pour la sauvegarde des autres éléments en place.	2.1
		Chute d'élément hors problème structurel du tablier	x	I ₁₅		Chute d'autres éléments	Inspection urgente du lot d'ouvrages concernés. I ₁₃ = endoscopie et/ou Ultrasons sur tiges de fixation.	2.1
		Dépose d'élément pour travaux ou par mesure de sécurité						2.1
D ₁₆	Mauvais état de la boulonnerie (tiges, écrous + contre-écrous) : absence d'éléments, défaut de serrage	Lacune de montage	x		Chute d'élément de corniche		Voir chapitre 3	
		Défaut de serrage, vibrations	x		Chute d'élément de corniche		Voir chapitre 3	
D ₁₇	Mauvais état de la boulonnerie (tiges, écrous + contre-écrous) : oxydation	Incompatibilité électrochimique des assemblages	x	I ₁₀ , I ₁₁ , I ₁₂	Chute d'élément de corniche		Voir chapitre 3	
D ₁₈	Mauvais état de la boulonnerie (tiges, écrous + contre-écrous) : déformation	Choc, excès de sollicitation	x	I ₁₂	Chute d'élément de corniche		Voir chapitre 3	
D ₁₉	Mauvais état des systèmes d'ancrage (rails, chevilles...) déformations, oxydation, fissures, déchaussement	Incompatibilité électrochimique des assemblages	x	I ₁₀ , I ₁₁ , I ₁₂	Chute d'élément de corniche		Voir chapitre 3	
		Défaut de pose		I ₁₀			Voir chapitre 3	

D'une manière générale, toute observation doit être comparée à celles effectuées lors de l'IDP précédente afin d'en apprécier l'évolution.
* : A effectuer dans les zones non atteintes visuellement.

** : Pour visualiser l'état des armatures de liaison si le défaut est étendu et en présence d'oxyde en sous face.

Tableau 2. Défauts des corniches préfabriquées

CHAPITRE 3

MÉTHODES D'INVESTIGATION PARTICULIÈRES DE LA LIAISON ENTRE LA CORNICHE ET L'OUVRAGE

Les chapitres précédents ont montré que le diagnostic des dégradations de la corniche proprement dite est possible même s'il est quelquefois difficile et nécessite souvent des investigations poussées. Un bon diagnostic conduit alors à proposer des solutions de réparation adaptées.

En ce qui concerne la liaison entre la corniche et l'ouvrage, le diagnostic peut être simple lorsque la dégradation est très avancée voire irréversible jusqu'à éventuellement la chute de la corniche due à une rupture des liaisons. Un point majeur du diagnostic porte donc sur la mise en évidence de problème au niveau de la liaison en l'absence de dégradations visibles mais qui peuvent être déjà très avancées.

Ce chapitre est consacré à une analyse critique des méthodes existantes ou en cours de développement permettant de faire un diagnostic de l'état de la liaison entre la corniche et l'ouvrage avec en particulier la prise en compte des effets de la corrosion des aciers de liaison ainsi que l'estimation des propriétés mécaniques résiduelles de ces liaisons. Après une présentation des différentes conditions de dégradation des liaisons en fonction du type de corniche, plusieurs méthodes d'investigation seront présentées avec pour chacune son objectif et ses limites d'utilisation.

1. Dégradations de la liaison corniche / ouvrage

La dégradation de la liaison entre la corniche et l'ouvrage peut conduire en phase ultime à la chute de la corniche. Cette chute peut aussi éventuellement être due à un choc sur la corniche sans qu'aucune dégradation préalable de la liaison ne préexiste. La prévention de ces accidents qui restent très rares est difficile à définir comme il a été vu dans les chapitres précédents. Du point de vue des investigations à réaliser, les deux aspects principaux portent, d'une part, sur la réelle présence d'une liaison et, d'autre, part sur la pérennité de cette liaison.

Les schémas présentés sur la figure 49 montrent les caractéristiques des liaisons des principaux types de corniches ainsi que les types de dégradation développés dans les chapitres précédents.

L'absence de liaison à la construction peut être considérée comme d'occurrence très marginale, par contre la diminution des sections d'acier de liaison est un cas que l'on rencontre souvent et c'est cet aspect qui est développé dans la suite de ce chapitre.

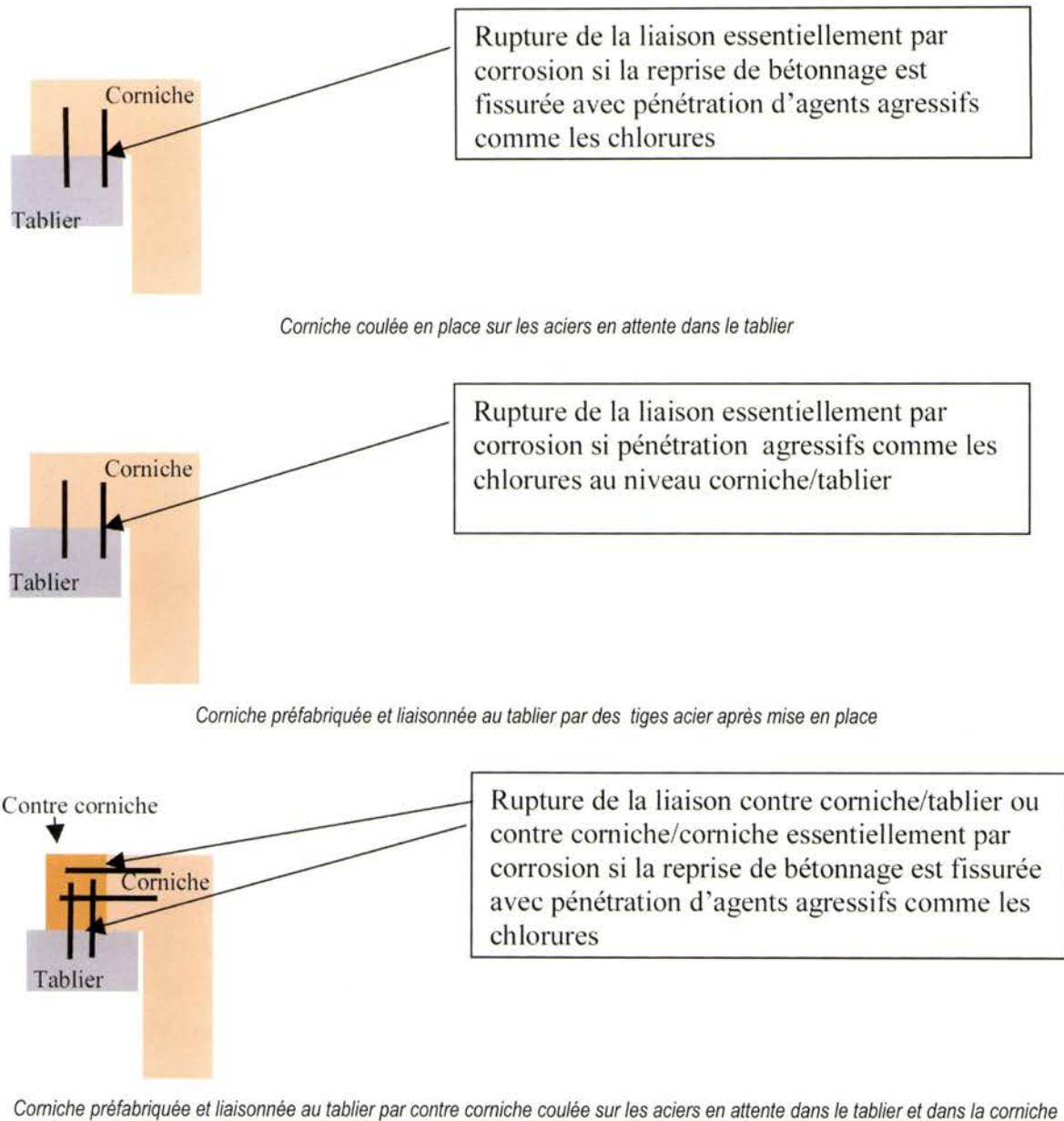


Figure 49. Dégradations de la liaison corniche/tablier en fonction du type de corniche

2. Choix des paramètres à évaluer et méthodes d'investigation

Le bilan des dégradations des liaisons entre la corniche et l'ouvrage a conduit à considérer que les paramètres utiles à un diagnostic étaient, d'une part, l'état de conservation des liaisons métalliques et, d'autre part, les caractéristiques mécaniques résiduelles de ces liaisons. Ces deux paramètres nécessitent de définir des méthodologies d'investigation pertinentes. Les méthodes d'évaluation de l'état de la liaison présentées dans la suite de ce chapitre ne s'appliquent pas nécessairement à tous les types de corniches récapitulés sur la figure 49, et il convient donc avant leur mise en œuvre de vérifier leur pertinence en fonction d'une part de l'objectif recherché et d'autre part des caractéristiques particulières de l'ouvrage à étudier.

2.1 État de conservation de la liaison corniche / ouvrage

Pour ce qui concerne l'état de conservation des liaisons, trois techniques peuvent être citées :

- L'endoscopie

L'auscultation par caméra endoscopique de parties d'ouvrages d'art non visitables est une technique éprouvée. Cette technique est par exemple préconisée pour ausculter les conduits de précontrainte (voir par exemple la référence (1)).

Cette technique peut être appliquée au cas des corniches avec l'observation des liaisons au niveau corniche/tablier et/ou plus rarement corniche/contre corniche. Elle nécessite toutefois que l'espace entre ces éléments soit suffisant pour introduire l'endoscope (cf. figure 50). Les appareils (caméra + câble) généralement disponibles en génie civil ont des diamètres de l'ordre de 5 à 10 mm. On peut toutefois compter sur des miniaturisations de ce type d'appareil dans un futur proche à des coûts accessibles pour élargir les possibilités d'utilisation de cette technique.

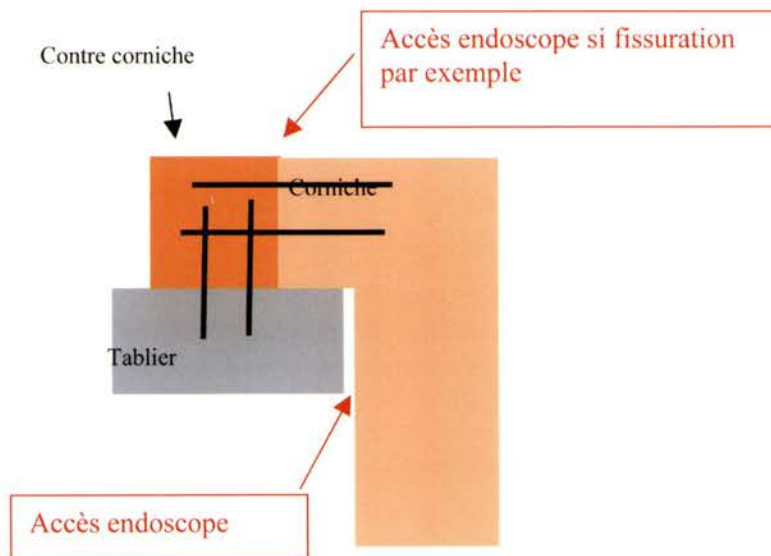


Figure 50. Zones d'accès à des observations par endoscope

- Les ultra-sons

Il s'agit d'une technique qui peut renseigner sur la présence de défaut au niveau de l'acier. Cette technique (figure 51) a notamment été développée par le LRPC de Nancy pour analyser les dégradations des tiges d'ancrages en acier (2).



Figure 51. Mesure ultra sonore pour la détection de défauts sur les liaisons métalliques corniche /tablier

L'utilisation de cette technique nécessite un accès à l'acier de liaison corniche / tablier, ce qui est par exemple le cas pour certaines corniches préfabriquées liaisonnées au tablier après leur positionnement (cf. figure 52).



Figure 52. Tige filetée de maintien par boulon de la corniche sur le tablier, après enlèvement du mortier de cachetage et vérification de la carbonatation du béton par pulvérisation d'un indicateur coloré (phénolphtaléine).

La méthode par ultrasons a été testée sur six ancrages de ce type sur un ouvrage d'art (3). Elle a notamment permis de montrer que deux d'entre eux présentaient des anomalies caractéristiques de pertes de section. Ces premiers essais prometteurs nécessitent toutefois des études complémentaires avec différents types de matériels et de paramètres (fréquence, inclinaison...) pour pouvoir proposer une méthodologie couramment applicable.

- Les mesures électrochimiques

C'est un des moyens les plus utilisés pour vérifier la pérennité des aciers dans les matériaux cimentaires. Les mesures électrochimiques consistent à enregistrer le potentiel d'un acier après avoir relié un voltmètre, d'une part, à l'armature à étudier et, d'autre part à une électrode de référence appliquée à la surface du béton. Ces mesures font l'objet de recommandations quant à leur utilisation (4).

Ce type de mesures peut être utilisé pour tous les types de corniches, il suffit de pouvoir dégager localement l'acier pour assurer la connexion électrique (cf. figure 53).

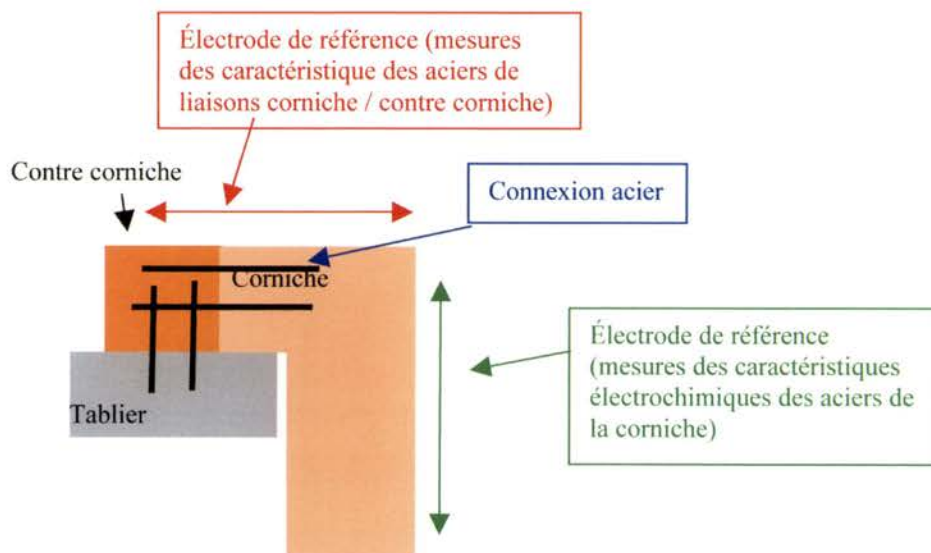


Figure 53. Zones possibles de mesure des caractéristiques électrochimiques des aciers sur une corniche

L'analyse des résultats des mesures de potentiel se fait par étude de gradients qui permettent de déterminer les zones de potentiel plus électronégatif qui sont caractéristiques d'une éventuelle corrosion. Des cartographies de potentiels pour les aciers au sein d'une corniche et pour les aciers de liaison corniche / contre corniche sont données respectivement dans les figures 54 et 55).

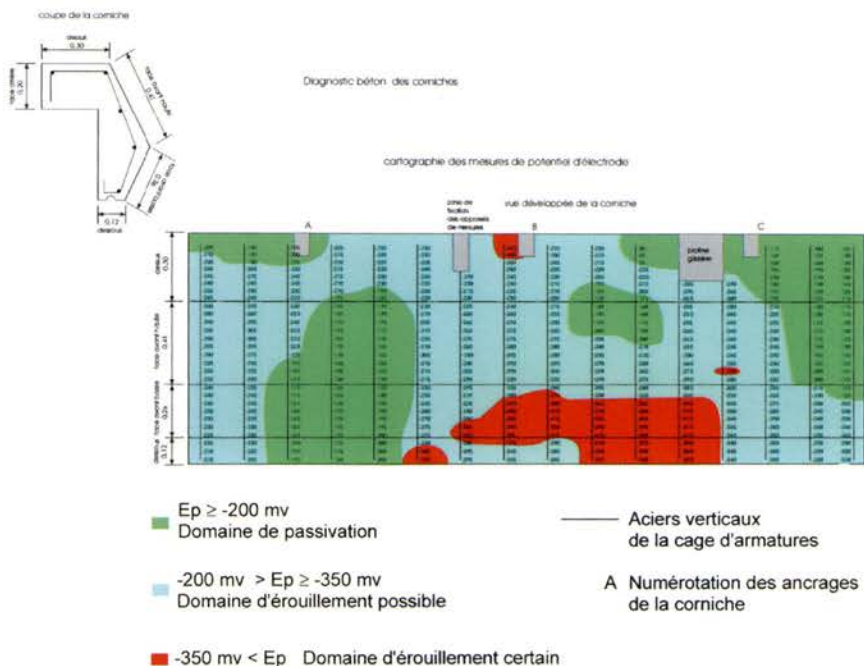


Figure 54. Exemple de cartographie de potentiel réalisée sur les aciers d'une corniche (5). On observe des potentiels plus faibles (probabilité de corrosion importante) au niveau des aciers en partie basse, ce qui est concordant avec les écoulements d'eau sur la corniche.

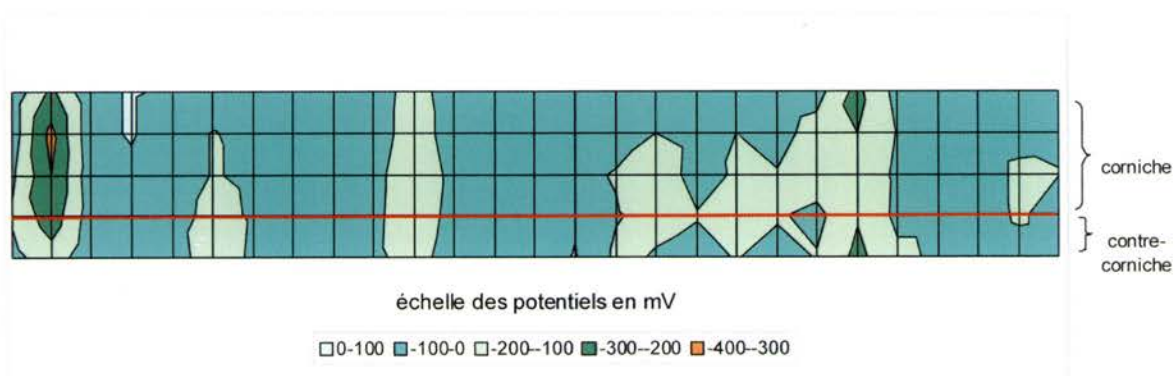


Figure 55. Exemple de cartographie de potentiel réalisée sur les aciers de liaison corniche / contre corniche (6). On note une bonne homogénéité des potentiels pour chaque acier de liaison noyé dans la corniche et la contre corniche.

Des mesures complémentaires de densité de courant de corrosion des aciers et de résistivité du béton peuvent être également envisagées.

Il est à noter que les mesures de densité de courant de corrosion font encore l'objet d'études permettant de mieux appréhender le diagnostic de l'ouvrage étudié (par exemple dans le projet ANR APPLLET 2006).

2.2 Caractéristiques mécaniques des liaisons corniche/ouvrage

Si les techniques présentées précédemment permettent de mettre en évidence des zones caractéristiques de la présence de défauts (corrosion, rupture...), elles ne donnent toutefois pas l'état de la liaison d'un point de vue résistance mécanique résiduelle et il peut être nécessaire d'évaluer cette propriété.

Comme il n'existe pas actuellement de méthodologies propres pour tester le comportement mécanique de la liaison corniche/ouvrage, les procédés décrits dans cette partie s'appuient sur des recommandations ou des essais applicables notamment pour analyser le comportement d'ouvrages d'art ou d'équipements de ces ouvrages. Les deux aspects traités concernent les sollicitations statique et dynamique.

Sollicitation statique

Des systèmes de test des dispositifs de retenue sur ouvrages existent comme par exemple les essais de chargement statique sur les supports d'éclairage routier (7) ou les supports BN4 (8). On peut également se référer au test de détermination de la résistance des sols pour l'implantation des glissières de sécurité (9). Il faut noter que l'ensemble de ces tests sont difficilement applicables à la sollicitation des seules corniches. Il s'agit généralement de méthodes globales pouvant apporter une information sur l'intégrité de la liaison d'un équipement à sa structure portante, sans préciser la nature de l'éventuelle dégradation.

L'utilisation de vérins appliqués entre la structure et la corniche lorsqu'un espace est disponible permettrait également de solliciter les liaisons. Le risque lié à cet essai est toutefois de ne pas solliciter directement les liaisons mais d'entraîner une rupture de la corniche elle-même.

Sollicitation dynamique

Il est possible de s'inspirer des essais dynamiques pratiqués sur ouvrages ou simples assemblages pour en déterminer l'intégrité. La sollicitation peut être un choc provoqué ou l'excitation sous l'action de la circulation.

Il s'agit d'une méthode globale pouvant apporter une information sur l'intégrité de la liaison, sans préciser la nature de l'éventuelle dégradation.

Dans le cadre de la rédaction de ce guide, une étude de faisabilité d'auscultation dynamique a été réalisée sur des éléments de corniche qui doivent être prochainement démontés à l'occasion de la remise à niveau d'un ouvrage. L'instrumentation utilisée est présentée sur la figure 56. Quelques essais par ultra-sons sur tiges d'ancrage ont également complété cette étude.

Des exemples de signaux enregistrés en sollicitation dynamique sont présentés sur la figure 57.

L'étude réalisée (10) a montré qu'un élément de corniche sur les neufs éléments testés ne répond pas de manière analogue aux autres (figure 58). On observe en effet que pour l'élément de corniche 5 le contenu fréquentiel est diffus et peu énergétique comparé aux autres éléments pour lesquelles une fréquence caractéristique est observée (dans le cas étudié, trois familles de fréquences sont mises en évidence). L'auscultation par ultra-sons a révélé quant à elle que les longueurs des tiges d'ancrage étaient d'environ 350 mm à l'exception des ancrages de la corniche 5 pour laquelle 2 des 3 ancrages présentent un écho à une profondeur de 220 mm, c'est-à-dire au niveau de l'interface corniche / tablier. Le

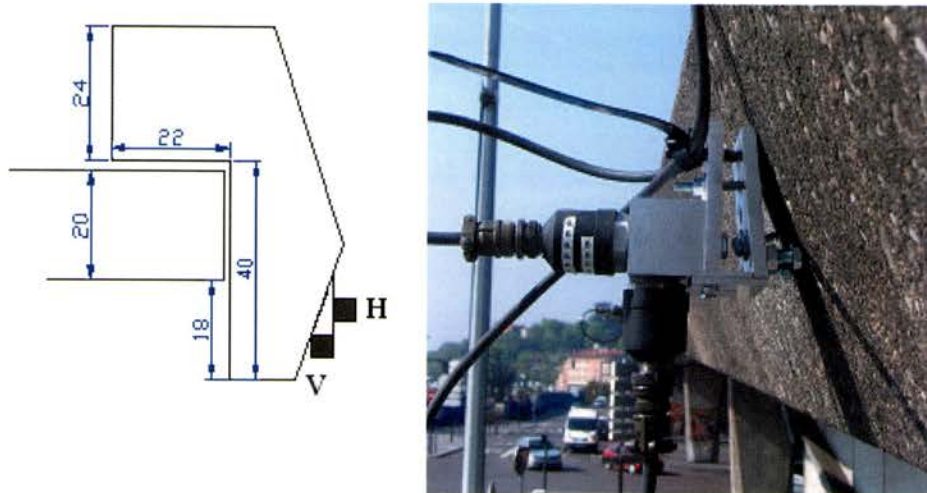


Figure 56. Coupe transversale au droit d'un mur d'une corniche et son instrumentation

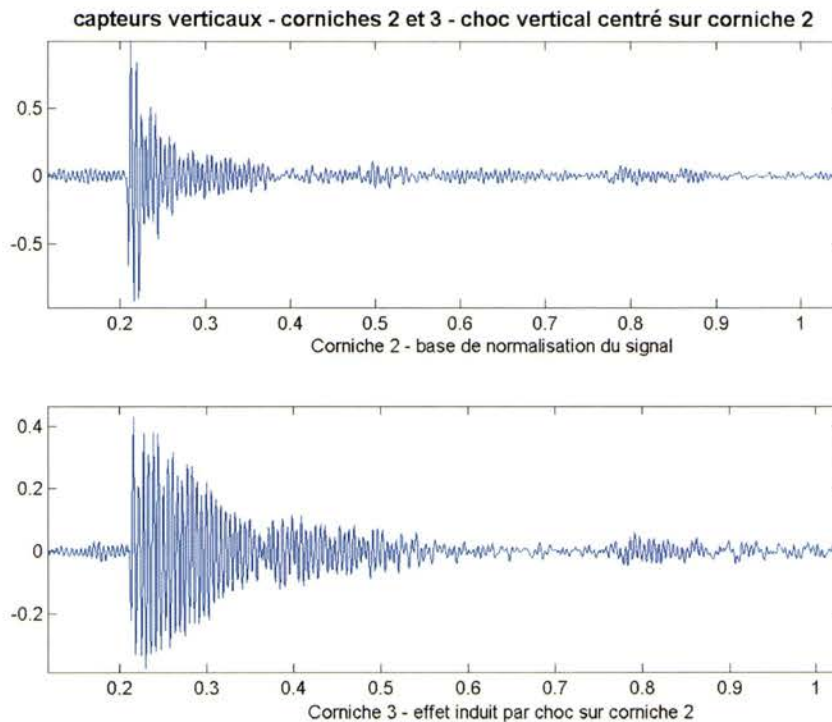


Figure 57. Signaux enregistrés par les capteurs en fonction de la sollicitation

démontage de l'élément 5 (11) a permis de vérifier ce faisceau de concordances avec la mise en évidence de deux liaisons totalement sectionnées (figure 60) et de la troisième corrodée aux trois quarts (figure 59). Des études complémentaires seront toutefois nécessaires pour démontrer l'intérêt des essais en sollicitation dynamique, associés à des tests par ultrasons, pour totalement valider ces méthodes et évaluer leurs performances lorsque la liaison n'est pas totalement dégradée. Il est utile de rappeler que ces méthodes sont à l'heure actuelle les seules disponibles ayant permis de mettre en évidence des défauts ou des ruptures sur les tiges d'ancrages, qui visuellement, au niveau de l'écrou ne présentaient pas de dégradations majeures (cf. figure 60).

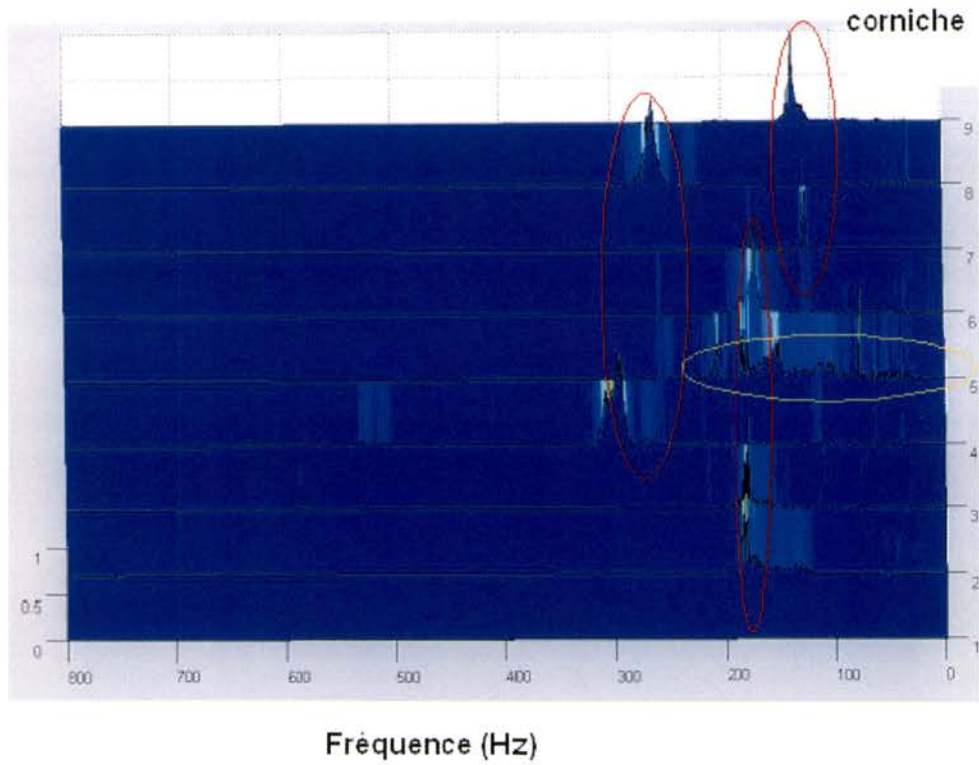


Figure 58. Comparaison des signaux en fréquence après normalisation pour les 9 corniches



Figure 59. Vestige d'une tige d'ancrage encore en place sur le tablier après enlèvement de la corniche avec diminution de la section au niveau de l'interface corniche / tablier.



Figure 60. Tige d'ancrage totalement sectionnée au niveau de l'interface corniche / tablier

Bibliographie

- (1) Guide méthodologique de surveillance et d'auscultation des VIPP, Édition LCPC, 2001.
- (2) Barbier V., Goury Ph., « *Mise au point d'une méthode de détection des défauts par ultrasons* », Sétra, Bulletin « Ouvrages d'art » n° 50, novembre 2005, pp. 23-30.
- (3) Hakranyi Ph., « *Recherche de corrosion des tiges d'ancrage* », Rapport d'essais confidentiel, juin 2007, 7 p.
- (4) "Half-cell potential measurements – Potential mapping on reinforced concrete structures", recommendations of TC 154-EMC, prepared by Elsener et al., Materials and Structures, vol. 36, 2003, pp. 461-471.
- (5) « *Diagnostic des ancrages de corniches en béton armé* », affaire 1614285, rapport confidentiel du LREP de Melun, 2007, 21 p.
- (6) « *Mesure de potentiels sur corniches et contre corniches* », affaire 1820308, rapport confidentiel du LREP de Melun, 2009, 14 p.
- (7) « *Éclairage du réseau des routes nationales, Recommandations pour le contrôle de la stabilité des supports par un essai de chargement statique* », note d'information du Sétra, octobre 2003, 3 p.
- (8) « *Essais in-situ des montants de BN4 et de leurs ancrages* », note de la direction des routes de juin 1980.
- (9) « *Glissières de sécurité en acier, conditions d'implantation et spécifications de montage* », Norme Française NF P 98-413, avril 1991.
- (10) Houel A., Gonod B., Valade M., Banos C., Leconte R., « *Étude de faisabilité pour l'auscultation dynamique des corniches en béton armé* », rapport d'essais confidentiel, juin 2009, 12 p.
- (11) Compte rendu de la dépose d'une corniche préfabriquée sur un ouvrage, rapport confidentiel du LRPC de Lyon, 2009, 7 p.

CHAPITRE 4

RÉPARATIONS

Les différents travaux de sécurisation, d'entretien et de réparation qui peuvent être réalisés sur des corniches en béton sont :

- la mise en place de filets ;
- le nettoyage ;
- l'application de produits et systèmes de protection de surface pour béton.
 - produit assurant principalement une fonction décorative (lasure et peinture) ;
 - produit assurant une ou plusieurs fonctions de protection (revêtement).
- les méthodes électrochimiques (protection cathodique, déchloruration, réalcalinisation) ;
- le traitement des joints entre éléments ;
- les ragréages ;
- le remplacement à l'identique ;
- le réancrage ;
- le remplacement ou l'habillage par une corniche métallique.

1. Méthodes de traitement

Les tableaux 3 et 4 précisent, pour les corniches en béton coulé en place et pour les corniches en béton préfabriquées, les traitements à réaliser, en fonction des constatations et du diagnostic, qui font l'objet du chapitre 2. Ces traitements sont développés dans la suite de ce chapitre.

Désordres visibles	Diagnostic	Traitements	Observations
Épaufrure ou éclat en section courante	Choc de véhicule ou engin hors gabarit	- Reconstitution des parties endommagées	Avec ou sans rajout d'armatures
	Gel interne	- Démolition et reconstruction	
Armatures apparentes	Enrobage insuffisant	- Mise en œuvre d'une protection de surface	
	Corrosion due à la carbonatation	- Mise en œuvre d'une protection de surface - Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Méthode électrochimique	Arrêt de l'évolution Curatif
	Corrosion due à la pénétration de chlorures	- Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Méthode électrochimique	Curatif
Éclatement (ou fissuration) au niveau des ancrages des équipements latéraux	Choc sur un équipement porté par la corniche	- Reconstitution de la partie endommagée	Avec ou sans rajout d'armatures
	Pénétration d'eau dans la réservation + poussée due au gel	- Reconstitution des parties endommagées - Mise en œuvre d'une protection en partie supérieure de la corniche après réparation des zones endommagées	Curatif
	Absence de frettage autour des réservations	- Remplacement du garde-corps scellé dans une réservation par un garde-corps avec supports sur platine	Vérification de la résistance des scellements
Fissures	Retrait différentiel	- Mise en œuvre d'une protection de surface ou injection si l'ouverture des fissures supérieure à 0,3 mm	Si risque de pénétration d'eau
	Retrait de dissecation	- Mise en œuvre d'une protection de surface	Si risque de pénétration d'eau
	Excès de compression	- Création ou reconstitution d'un joint	
	Dégradation interne du béton : gel	Démolition et reconstruction	
	Dégradation interne du béton : réaction alcali-granulats	- Démolition et reconstruction - Mise en œuvre d'une protection de surface	Si phénomène peu avancé et peu évolutif
	Dégradation interne du béton : réaction sulfatique	- Démolition et reconstruction - Mise en œuvre d'une protection de surface	Si phénomène peu avancé et peu évolutif
	Oxydation d'armatures sous-jacentes	- Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Traitement électrochimique	
	Fissuration du tablier en zone de moment négatif	- Mise en œuvre d'un revêtement	Résistant à la fissuration
Traces d'écoulements et salissures	Dues à la forme de la corniche	- Après nettoyage mise en œuvre éventuelle d'une imprégnation ou d'une peinture	Fermeture de la porosité de peau
Variations de teinte, taches noires	Fabrication et mise en œuvre du béton	- Mise en œuvre d'une peinture	

Désordres visibles	Diagnostic	Traitements	Observations
Efflorescences	Dissolution de la chaux en présence de gaz carbonique	- Les efflorescences peuvent être éliminées en utilisant des acides dilués	cf. guide technique « Défauts d'aspect des parements en béton » (1)
Concrétions calcaires	Circulation d'eau par les fissures	- Traitement des venues d'eau et brossage des concrétions	Mise en œuvre d'une protection par exemple
	Défaut du relevé d'étanchéité	- Réalisation d'un relevé d'étanchéité efficace	
Traces ou coulures d'oxyde	Premier signe de la corrosion des armatures	- Application d'une protection de surface	Si corrosion peu avancée
	Corrosion des équipements latéraux	- Après mise en peinture des équipements latéraux, nettoyage et mise en œuvre éventuelle d'une imprégnation ou d'une peinture	Fermeture de la porosité de peau
	Corrosion des armatures de liaison	- Mise en œuvre d'une protection de surface en partie supérieure visant la protection des armatures	Si corrosion plus avancée scellement d'aciers complémentaires
Bullage – soufflures	Lié à la formulation et / ou à la mise en œuvre du béton	- Ragréage et mise en œuvre d'une peinture	Si diminution significative de l'enrobage
Nids de cailloux et/ou fuite de laitance	Ségrégation du béton à la mise en œuvre et/ou défaut d'étanchéité des coffrages	- Ragréage et mise en œuvre d'une peinture Démolition et reconstitution de la zone concernée	Si défaut localisé Si les défauts occupent des surfaces importantes
Écaillage	Gel + sels de déverglaçage	- Mise en œuvre d'une protection de surface dont l'efficacité peut être testée lors de l'essai d'écaillage	
Défaut général de profil en long	Peut résulter de la structure	- Aucune réparation spécifique à la corniche	
Protection dégradée	Vieillessement	- Reprise après préparation du support	

Tableau 3. Méthodes de réparations envisageables en fonction des désordres visibles pour des corniches coulées en place

Désordres visibles	Diagnostic	Traitements	Observations
Épaufrure ou éclat en section courante	Défaut de manutention	- Reconstitution des parties endommagées	Avec ou sans rajout d'armatures
	Choc de véhicule ou engin hors gabarit	- Reconstitution des parties endommagées	Avec ou sans rajout d'armatures
	Gel	- Remplacement des éléments atteints	
Armatures apparentes avec ou sans épaufrures	Enrobage insuffisant	- Mise en œuvre d'une protection de surface	
	Corrosion due à la carbonatation	- Mise en œuvre d'une protection de surface - Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Méthode électrochimique	Arrêt de l'évolution Curatif
	Corrosion due à la pénétration de chlorure	- Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Méthode électrochimique	Curatif
	Enrobage insuffisant des armatures de liaison	- Mise en œuvre d'une protection de surface sur la contre corniche et se prolongeant généralement sur la corniche	
	Cachetages de la boulonnerie de fixation défailants	- Remplacer les cachetages	
	Inserts de manutention mal protégés	- À protéger par une solution en évitant les stagnations d'eau	
Éclatement (ou fissuration) au niveau des équipements latéraux	Choc sur un équipement porté par la corniche	- Reconstitution de la partie endommagée ou remplacement de l'élément	Avec ou sans rajout d'armatures
	Pénétration d'eau dans la réservation + poussée due au gel	- Reconstitution des parties endommagées. - Mise en œuvre d'une protection généralisée en partie supérieure de la corniche	Curatif
	Absence de frettage	- Remplacement du garde-corps scellé dans une réservation par un garde-corps sur platine	Vérification de la résistance des scellements
Fissures	Retrait différentiel	- Mise en œuvre d'une protection ou injection si ouverture supérieure à 0,3 mm	Si risque de pénétration d'eau
	Retrait de dessiccation	- Mise en œuvre d'une protection de surface	Si risque de pénétration d'eau
	Excès de compression	- Création ou reconstitution d'un joint	
	Dégradation interne du béton : gel	- Remplacement des éléments concernés	
	Dégradation interne du béton : réaction alcali-granulats	- Remplacement des éléments concernés - Mise en œuvre d'une protection de surface	Si phénomène peu avancé et peu évolutif
	Dégradation interne du béton : réaction sulfatique	- Remplacement des éléments concernés - Mise en œuvre d'une protection de surface	Si phénomène peu avancé et peu évolutif

Désordres visibles	Diagnostic	Traitements	Observations
Fissures	Oxydation d'armatures sous-jacentes	- Démolition et reconstitution du béton d'enrobage - Traitement électrochimique	
	Corrosion de la boulonnerie de fixation	- Renforcement par réancrage dans le tablier	
	Corrosion des armatures de liaison avec la contre corniche ou ferrailage insuffisant	- Remplacement des éléments concernés ou renforcement spécifique	
Traces d'écoulement et salissures sur la corniche	Dues à la forme de la corniche	- Après nettoyage, mise en œuvre éventuelle d'une imprégnation ou d'une peinture	Fermeture de la porosité de peau
Traces d'écoulement et salissures sur le tablier	Joints entre éléments absents ou défectueux	- Remplacement des joints entre éléments ou protection généralisée avec réalisation de fond de joint - Réalisation d'une goutte d'eau	
Variations de teinte, taches noires	Fabrication et mise en œuvre du béton	- Mise en œuvre d'une peinture	
Efflorescences	Dissolution de la chaux en présence de gaz carbonique	- Les efflorescences peuvent être éliminées en utilisant des acides dilués	cf. guide technique « Défauts d'aspect des parements en béton » (1)
Concrétions calcaires	Circulation d'eau par les fissures	- Traitement des venues d'eau et broyage des concrétions	Par exemple : protection de surface
	Contournement de l'étanchéité	- Réalisation d'un relevé d'étanchéité efficace	
Traces ou coulures d'oxyde	Premier signe de la corrosion des armatures	- Application d'une protection de surface	Si corrosion peu avancée
	Corrosion des équipements latéraux	- Après mise en peinture des équipements latéraux, nettoyage et mise en œuvre éventuelle d'une imprégnation ou d'une peinture	Fermeture de la porosité de peau
	Corrosion des armatures de liaison	- Mise en œuvre d'une protection de surface	Avec perte de masse : nécessité de renforcement voir de remplacement
	Corrosion des dispositifs de fixation (autre que la contre corniche)	- Renforcement par réancrage dans le tablier	
Bullage – soufflures	Lié à la formulation et à la mise en œuvre du béton	- Ragréage et mise en peinture	Si diminution significative de l'enrobage
Nids de cailloux et/ou fuite de laitance	Ségrégation du béton à la mise en œuvre et/ou défaut d'étanchéité des coffrages	- Ragréage et mise en peinture - Remplacement des éléments concernés	Si défaut localisé Si les défauts occupent des surfaces importantes
Écaillage	Gel + sels de déverglaçage	- Mise en œuvre d'une protection de surface dont l'efficacité peut être testée lors de l'essai d'écaillage	

Désordres visibles	Diagnostic	Traitements	Observations
Défaut de profil en long	Peut résulter de la structure	- Pas de réparation spécifique à la corniche	
	Défaut de pose	- Aucune réparation envisageable	Sauf à tout reposer
	Dégradation du matériau de réglage	- Injection de la zone concernée pour protéger les armatures de liaison	Après vérification de l'état des dispositifs de liaison à la structure
Défaut d'alignement en plan	Défaut de pose	- Aucune réparation envisageable	Sauf à tout reposer
	Rupture partielle ou totale des éléments d'ancrage	- Réancrage ou renforcement spécifique	Mise en sécurité dans l'attente des réparations
	Choc de véhicule hors gabarit	- Renforcement ou remplacement des dispositifs de liaison	Mise en sécurité dans l'attente des réparations
	Choc sur un équipement supporté par la corniche	- Renforcement ou remplacement des dispositifs de liaison	Mise en sécurité dans l'attente des réparations
Protection dégradée	Vieillessement	- Reprise après préparation du support	
Mauvais état de la boulonnerie de fixation de la corniche (absence, oxydation, déformation)		- Renforcement ou remplacement du dispositif de liaison	

Tableau 4. Méthodes de réparations envisageables en fonction des désordres visibles pour des corniches préfabriquées

2. Particularités des traitements

2.1 Travaux de mise en sécurité par mise en place de filet

Ces filets sont destinés en particulier à retenir les éclats de béton pouvant résulter d'un choc ou de la corrosion des armatures. Il peut s'agir d'une mise en sécurité des usagers qui passent sous l'ouvrage dans l'attente des réparations de la corniche ou pendant une période plus longue (modification ou démolition de l'ouvrage à moyen terme).

Des filets dont les caractéristiques sont les suivantes ont donné satisfaction pendant plusieurs années (figure 61) :

- filet en polyéthylène haute ténacité avec des mailles de dimensions inférieures à 5 mm, de préférence constitué de mono filaments et bordé au pourtour d'un surjet de renfort pour



Figure 61. Mise en sécurité d'une corniche par l'emploi d'un filet

la fixation. Les différentes caractéristiques du filet doivent être garanties pendant sa durée d'utilisation et en particulier il devra présenter en fin d'utilisation une résistance suffisante à préciser dans le cahier des charges.

2.2 Le nettoyage

Le procédé de nettoyage illustré figure 62 (simple lessivage, eau sous pression, sablage léger) sera choisi en fonction de l'état de salissure, de la présence d'organismes vivants (mousses, lichens...) et de l'environnement (nécessité de récupérer les produits de nettoyage). Il est souhaitable de réaliser une zone d'essai pour valider le procédé. En cas de sablage qui altère la peau du béton, il est recommandé d'appliquer ensuite une lasure.

En présence d'efflorescences la surface concernée pourra être nettoyée à l'aide d'un acide amidosulfurique ou sulfamidique dilué ou par des produits commerciaux dits « anti-efflorescences ». Il est utile de prévoir un essai de convenance préalable sur un parement non vu.



Figure 62. Aspect d'une corniche architecturée après nettoyage

2.3 Application de produits ou systèmes de protection de surface du béton

2.3.1 Application d'un produit assurant principalement une fonction décorative (lasure ou peinture)

Les lasures conduisent à des revêtements transparents, éventuellement colorés, qui laissent apparaître la texture superficielle du parement béton. Les lasures sont relativement fluides pour bien imprégner le support. Leur épaisseur à la surface du béton est de l'ordre de 50 μm .

Les peintures utilisées sont principalement des systèmes comportant trois couches :

- une couche primaire ou d'impression ;
- une couche intermédiaire ;
- une couche de finition dont l'épaisseur totale varie entre 50 et 600 μm .

Les peintures utilisées doivent être titulaires du droit d'usage de la marque ACQPA « Revêtement par peinture des bétons de tunnels et de ponts ».

Les peintures assurent principalement une fonction décorative qui peut être destinée à cacher des défauts de surface (ragréages par exemple), elles peuvent également participer à l'amélioration de la protection du béton.



Leur mise en œuvre, y compris la préparation du support, est décrite au chapitre 3 du guide technique « *Mise en peinture des bétons de génie civil* » édité par le LCPC en juin 1999, (2).

Les contrôles de chantier, qui comportent :

- le contrôle de la préparation du support ;
- le contrôle des produits pour chaque couche de peinture ;
- le contrôle de l'application ;
- le contrôle de réception du système complet appliqué fait l'objet du chapitre 4 de ce même guide.

2.3.2 Application d'un produit assurant une ou plusieurs fonctions de protection (imprégnation, revêtement)

L'**imprégnation** est un traitement du béton destiné à réduire la porosité de surface et à renforcer la surface, les pores et capillaires étant partiellement ou complètement remplis (ce traitement produit généralement un mince film discontinu à la surface du béton).

La mise en œuvre d'un **revêtement** (figure 63) constitue un traitement destiné à produire une couche protectrice continue à la surface du béton.

L'épaisseur d'un revêtement est généralement comprise entre 0,1 mm et 5,0 mm. Les liants peuvent être, par exemple, des polymères organiques contenant comme charge du ciment ou du ciment hydraulique modifié à l'aide d'une dispersion de polymère.

Le choix d'un produit se fait par application de la norme européenne NF EN 1504-2 (3) avril 2005, « *Produits et systèmes pour la protection et réparation des structures en béton* », partie 2 : système de protection de surface pour béton et de son guide d'application AFNOR GA P 18-902 (4) pour l'utilisation de cette norme dans le domaine de la protection des ouvrages de génie civil en béton.

Les produits ou systèmes de protection sont caractérisés par une ou des fonctions de protection (de base et optionnelles) et des fonctions complémentaires optionnelles.

La fonction principale de base, attendue de tous les produits ou systèmes de protection destinés aux ouvrages de génie civil, eu égard aux mécanismes de dégradation rencontrés, est de ralentir ou d'empêcher la pénétration d'agents agressifs sous forme liquide ou gazeuse.



Figure 63. Revêtement organique sur une corniche

Pour des besoins spécifiques, d'autres fonctions principales peuvent être recherchées telles que empêcher ou limiter des phénomènes de dégradation par écaillage de surface dû au gel / dégel en présence de fondant, limiter le développement de réactions de gonflement interne du béton. Il s'agit de **fonctions principales optionnelles**.

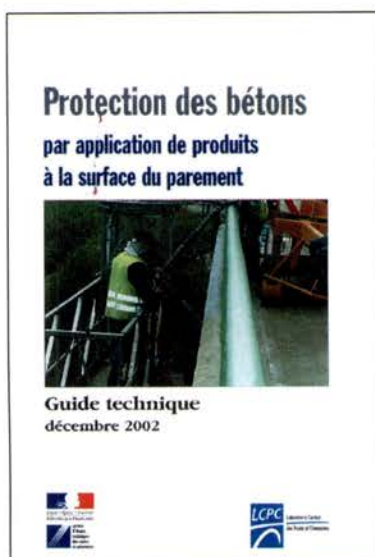
Pour être reconnus aptes à remplir ces fonctions de protection, les produits doivent satisfaire à un certain nombre d'essais permettant de vérifier d'une part leur efficacité à s'opposer à la pénétration des agents agressifs visés, mais aussi certaines de leurs caractéristiques ou propriétés mécaniques indispensables (adhérence, résistance minimale à la fissuration, tenue au cloquage) pour qu'ils puissent remplir durablement la ou les fonctions de protection.

Dans certains cas d'ouvrages présentant des fissures relativement importantes ou évolutives, il peut être nécessaire de faire appel à un système de protection présentant une résistance à la fissuration plus élevée que la simple résistance minimale attendue de tous les revêtements. Cette résistance à la fissuration (au-delà d'une résistance minimale) est considérée également comme une **fonction principale optionnelle**.

Des fonctions complémentaires peuvent être liées à l'esthétique (conservation, modification ou amélioration de l'aspect de l'ouvrage, décoration), à la maintenance (entretien et maintenance de l'ouvrage dans des conditions normales) et à la facilité d'entretien. Ainsi, on peut introduire un essai permettant de tester la résistance au nettoyage à l'eau sous pression des systèmes de protection. Cette caractéristique est considérée comme une **fonction optionnelle complémentaire**.

Le tableau ci-après précise les différentes fonctions.

1. Protection contre l'eau, protection (ou perméabilité) vis-à-vis de la vapeur d'eau, protection contre le gaz carbonique	Noyau dur d'essais obligatoires correspondant à la fonction de base attendue de tous les produits de protection destinés au génie civil
2. Protection contre la pénétration des chlorures	Optionnel mais ne nécessitant pas d'essai spécifique car s'appuyant sur l'un des essais associés à la fonction 1
3. Protection contre l'écaillage de surface dû au gel/dégel + sels de déverglaçage	Essai optionnel
4. Résistance à la fissuration	Essai optionnel
5. Résistance aux réactions de gonflement interne (jugée sur la résistance à la fissuration)	Essai optionnel identique au précédent
6. Résistance au nettoyage à l'eau sous pression	Essai optionnel complémentaire



Le guide technique « *Protection des bétons par application de produits à la surface du parement* » (5) édité par le LCPC en décembre 2002 présente :

- dans son chapitre 4 : la démarche à suivre pour choisir un produit ;
- dans son chapitre 6 : la préparation des supports, l'application des produits, le suivi de chantier et les contrôles ainsi que l'hygiène, la sécurité et la protection de l'environnement ;
- dans son chapitre 7 : la durabilité et les garanties.

2.4 Traitements électrochimiques

Les méthodes électrochimiques de réhabilitation des structures en béton armé visent soit à réaliser une protection cathodique des aciers, soit à réalcaliniser le béton, soit à extraire les chlorures. Dans tous les cas, l'objectif est de ralentir ou de stopper les mécanismes de corrosion des aciers et le principe de ces traitements est globalement identique. Les armatures en acier jouent le rôle de cathodes dans un circuit électrique dont les anodes rapportées sont positionnées à la surface du béton et enrobées par un milieu électrolytique assurant la continuité électrique avec le béton. Un générateur électrique fournit l'énergie entre anode et cathode (figure 64).

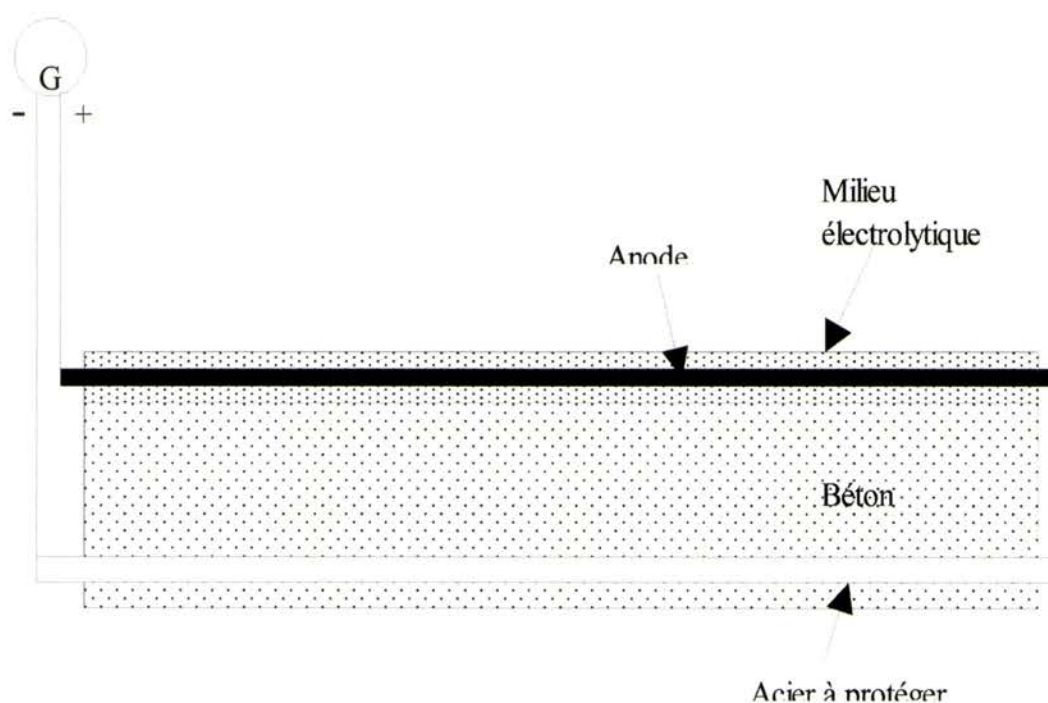


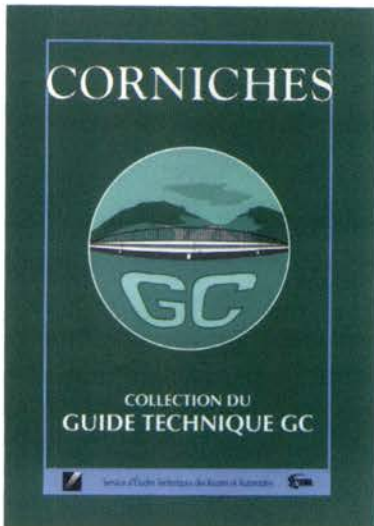
Figure 64. Principe des traitements électrochimiques

Ces méthodes font l'objet de normes ou de spécifications techniques européennes :

- EN 12696 (6), Cathodic protection of steel in concrete ;
- PrCEN/TS 14038-1 (7), Electrochemical re-alkalinisation and chloride extraction treatments for reinforcing concrete – Part 1 : realkalinisation of carbonated concrete ;
- PrCEN/TS 14038-2 (8), Electrochemical re-alkalinisation and chloride extraction treatments for reinforcing concrete – Part 2 : chloride extraction.

D'autres méthodes électrochimiques de protection des aciers ne nécessitant pas de générateur électrique existent ; il s'agit par exemple de l'utilisation d'inhibiteurs de corrosion appliqués à la surface du béton ou d'anodes sacrificielles galvaniques à base de zinc. Ces deux techniques font actuellement l'objet d'études au sein du CEFRACOR (centre français de l'anticorrosion) avec pour objectif la rédaction de recommandations.

2.5 Traitement des joints entre éléments



Afin d'éviter les écoulements sur les faces latérales du tablier, les joints entre les éléments des corniches préfabriquées nécessitent souvent un traitement.

Ce traitement fait l'objet de l'article 3.2.6.1 du guide technique GC « *Corniches* » (9) édité par le Sétra en décembre 1994.

Si l'ouverture de ces joints n'est pas trop importante (< 2 cm) et que les corniches doivent être protégées par un revêtement, la mise en œuvre d'un fond de joint sous le revêtement peut s'avérer suffisante.

2.6 Ragréages

Les produits de réparation retenus doivent bénéficier du droit d'usage de la marque NF-Produits Spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique ou d'une marque équivalente.



Dans le guide édité par le Sétra et le LCPC en août 1996 « *Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton* » (10), on trouvera :

- à l'article 2.1.1. : les produits de réparation de surfaces et de reconstitution partielle d'éléments de structure utilisables en fonction des désordres constatés
- au chapitre 3 : la préparation des supports, les conditions de préparation des produits et de leur mise en œuvre et en particulier le respect des conditions préconisées par le fabricant du produit (état du support, épaisseur maximum de chaque couche, délais entre les couches successives, préparation des armatures...).

Si les surfaces à ragréer sont importantes, il peut être envisagé l'utilisation d'un mortier projeté (norme NF P 95-102 (11) Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Béton projeté) avec talochage de la dernière couche de finition et traitement des arêtes.

2.7 Remplacement d'un ou de plusieurs éléments

Les difficultés relatives à ce type de travaux dépendront :

- des différentes fonctions assurées par la corniche (scellement de garde-corps, engravure du relevé d'étanchéité...);
- de l'endommagement ou non de la liaison au tablier;
- de la présence d'un trottoir;
- de la nécessité de réaliser ce remplacement sous circulation.

Dans le cas d'une corniche supportant un garde-corps, avec présence d'un trottoir avec étanchéité sous trottoir et endommagement du béton de la contre corniche, on effectuera les opérations suivantes :

- dépose du garde-corps ;
- mise en place d'un garde-corps provisoire ou d'un dispositif de retenue ;
- démolition de la corniche ;
- démolition de la contre-corniche par hydrodémolition ce qui permet de conserver les armatures de liaison avec la structure ;
- démolition d'une partie du trottoir de manière à pouvoir atteindre la chape d'étanchéité ;
- si nécessaire, scellement de cavaliers supplémentaires à l'emplacement de la contre-corniche
- pose des nouveaux éléments de corniche préfabriqués (figure 65).



Figure 65. Remplacement de tous les éléments de corniche

- maintien de l'élément de corniche à l'aide d'un dispositif adapté (figure 66) ;
- coulage de la contre-corniche avec réalisation d'une engravure pour le relevé de l'étanchéité ;
- reprise de l'étanchéité sous trottoir avec relevé dans l'engravure ;
- reconstitution du trottoir et de son revêtement ;
- repose du garde-corps ;
- traitement des joints entre éléments de corniche.



Figure 66. Élément de corniche maintenu par un fer U fixé par une tige scellée dans le tablier

2.8 Réancrage

Il s'agit de renforcer la liaison considérée comme défectueuse d'une corniche préfabriquée. Ce réancrage peut être réalisé horizontalement (figure 67) dans la face latérale du tablier (renforcement de la liaison d'une corniche parement par exemple) ou verticalement dans l'encorbellement.

Le réancrage peut être réalisé en utilisant une tige filetée scellée dans la structure, la corniche étant maintenue par un écrou. Il comporte dans ce cas les phases suivantes :

- le forage dans la corniche et dans la structure ;
- la réalisation d'une réservation dans la corniche autour du trou de forage ;

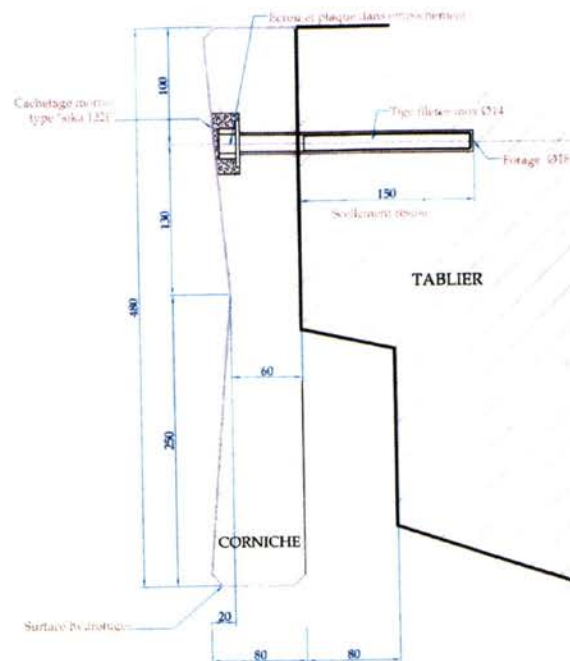


Figure 67. Exemple de réancrage horizontal

- le nettoyage du forage ;
- le scellement de la tige filetée à la résine ou au mortier de scellement ;
- la mise en place de l'écrou et son serrage ;
- le rebouchage de la réservation au mortier (cachetage).

2.9 Remplacement ou habillage par une corniche métallique

Cette solution a été utilisée sur un ouvrage ayant nécessité un renforcement lourd du tablier, complété par la réfection des équipements (figures 68 et 69).

En particulier les corniches en béton préfabriquées liaisonnées par une contre corniche présentaient de nombreux éclats sur armature.

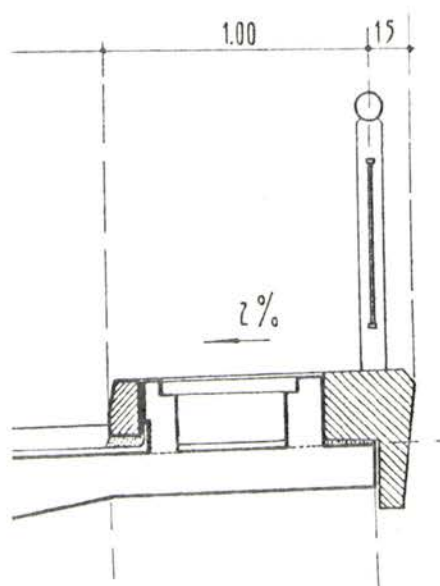


Figure 68. Corniche avant habillage

Après sciage de la partie inférieure et ragréage des éclats de la corniche en béton, les ancrages de la nouvelle corniche métallique sont mis en œuvre par scellement chimique et les corniches métalliques mises en place d'une manière classique.



Figure 69. corniche après habillage

3. Conclusion

Les méthodes de traitement utilisées actuellement sont amenées à évoluer en fonction des connaissances sur les matériaux et leurs mises en œuvre.

Dans tous les cas, la qualité de la réparation dépend de la réalisation d'un bon diagnostic et de la mise en œuvre de solutions simples, maîtrisées et efficaces.

Les six exemples de chantier qui figurent en annexe au présent guide montrent des réussites et des échecs, chacun étant générateur de pistes de progrès dans l'efficacité du travail et dans la qualité obtenue.

Bibliographie

- (1) « Défauts d'aspect des parements en béton », collection Guide technique du LCPC, 1991.
- (2) « Mise en peinture des bétons de génie civil », collection Guide technique du LCPC, juin 1999.
- (3) Norme NF EN 1504-2, *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - partie 2 : système de protection de surface pour béton*, avril 2005.
- (4) GA P 18-902 guide d'application AFNOR, « *Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton. Recommandations pour la sélection des systèmes de protection de surface des bétons destinés aux ouvrages de génie civil* », mai 2004.
- (5) « *Protection des bétons par application de produits à la surface du parement* », collection Guide technique du LCPC, décembre 2002.
- (6) Norme EN 12696, Cathodic protection of steel in concrete.
- (7) PrCEN/TS 14038-1, "*Electrochemical re-alkalinisation and chloride extraction treatments for reinforcing concrete- Part 1 : realkalinisation of carbonated concrete*".
- (8) PrCEN/TS 14038-2, "*Electrochemical re-alkalinisation and chloride extraction treatments for reinforcing concrete- Part 2 : chloride extraction*".
- (9) « *Corniches* », collection Guide technique GC du Sétra, décembre 1994.
- (10) « *Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton* », collection Guide technique du Sétra et du LCPC, août 1996.
- (11) Norme NF P 95-102, *Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie – Béton projeté*.

CHAPITRE 5

CORNICHES PARTICULIÈRES EN BÉTON

Le présent chapitre traite de corniches particulières en béton qui, par rapport aux corniches « classiques » traitées dans les autres chapitres, n'assurent pas toutes les fonctions (cf. chapitre 1) ou assurent des fonctions supplémentaires.

Il s'agit :

- de corniches qui n'assurent pas la fonction de fil d'eau ;
- de corniches caniveaux dont la fonction est le recueil et l'évacuation des eaux pluviales mais qui sont également utilisées pour dissimuler les réseaux qui empruntent l'ouvrage (figure 70) ;
- de corniches parapets qui assurent la fonction de dispositif de sécurité.



Figure 70. Corniche caniveau avec présence de fourreaux

Ce chapitre ne traite que des spécificités de ces corniches.

1. Corniches d'habillage spéciales

Certaines conditions d'exploitation de la route amènent le concepteur à créer des corniches spéciales. C'est le cas par exemple lorsque l'on souhaite évacuer de la neige et de l'eau directement depuis la chaussée, entre les éléments supports de dispositifs de retenue de type BN4 (cf. figure 71).



Figure 71. Vue d'une corniche d'habillage depuis le tablier

Les inconvénients

Ces corniches sont de conception ancienne et les bétons utilisés ne bénéficient pratiquement jamais de caractéristiques leur permettant de résister à l'écaillage et au gel alors qu'ils sont particulièrement exposés, tant au niveau du parement vertical interne qu'au droit des dispositifs de liaison au tablier (« tenons », cf. figure 72).



Figure 72. Dégradation très avancée d'une corniche

Les bavettes qui sont placées en bordure du tablier pour protéger la face latérale de l'encorbellement, au droit des zones d'évacuation, sont souvent inefficaces dès l'origine. Du fait de la longueur des bavettes, limitée à l'emplacement des évacuations, l'eau les contourne sous l'effet du vent et va ruisseler sous l'encorbellement, favorisant à terme la corrosion des armatures sous-jacentes (cf. figure 73).



Figure 73. Ruissellement sous l'encorbellement

Bien que superficiellement protégées (galvanisation ou peinture), les bavettes en acier sont toujours dégradées à moyen terme (Cf. figure 74).

On notera que la loi sur l'eau ne permet plus de tels dispositifs qui conduisent à rejeter les eaux de ruissellement de la chaussée directement dans la nature. Ces contraintes environnementales amènent actuellement à prévoir dans un tel contexte des corniches-caniveaux étanches.



Figure 74. Dégradation et contournement de la bavette

Les réparations envisageables

Il ne peut s'agir que de réparations ponctuelles en cas de risque de chute d'éléments (Cf. figures 75 et 76). Une reprise générale imposerait de respecter la loi sur l'eau et donc de changer de type de corniche afin de permettre la récupération des eaux et leur évacuation vers un bassin de rétention.



Figure 75. Réparation de la liaison d'une corniche au tablier par adjonction d'éléments métalliques



Figure 76. Remplacement de quelques éléments par des corniches métalliques (zone test)

2. Les corniches caniveaux

Les eaux pluviales sont recueillies dans les fils d'eau pour être évacuées, ensuite, par des avaloirs. Ces avaloirs sont parfois raccordés à un collecteur qui, pour certains ouvrages (pont à large encorbellement par exemple), peut être esthétiquement inadmissible. Dans ce cas le collecteur peut être remplacé par une corniche caniveau.

La corniche caniveau en béton peut être coulée en place (figure 77) ou plus couramment préfabriquée (figure 78)

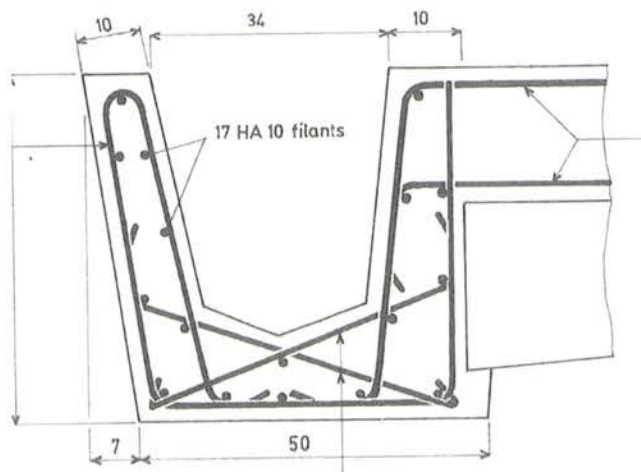


Figure 77. Corniche caniveau coulée en place figure

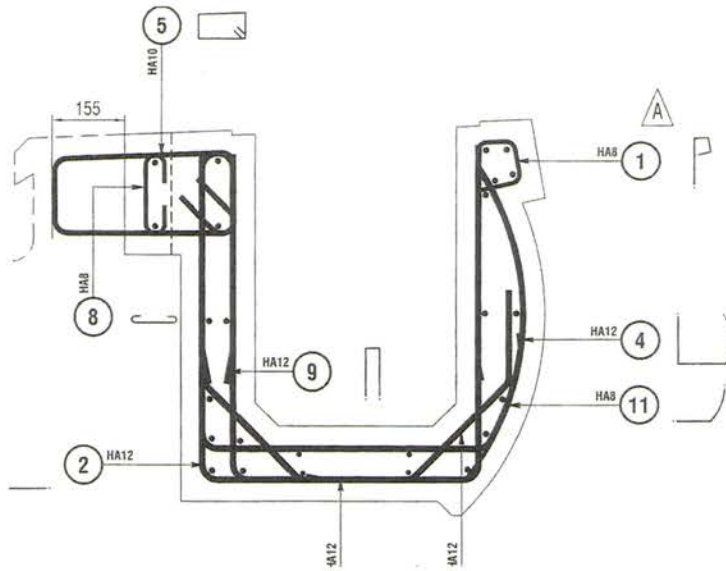


Figure 78. Corniche caniveau préfabriquée

Les corniches caniveaux en béton peuvent présenter les désordres spécifiques suivants :

- défaut d'entretien (présence de dépôts divers, voire de végétation - figure 79) ;



Figure 79. Dépôts et végétation dans une corniche caniveau

- défaut d'étanchéité en section courante (figures 80) ou au passage des joints de dilatation (figure 81) ;



Figure 80 a. Chape d'étanchéité décollée et déchirée



Figure 80 b. Gonfles sous la chape d'étanchéité



Figure 81. Étanchéité déchirée au droit du joint de dilatation

Pour assurer leur entretien, les corniches caniveaux doivent être équipées d'équipements de sécurité (figure 82 - ligne de vie, garde corps de service...).



Figure 82. Grille sur corniche caniveau assurant la fonction de garde corps de service

3. Les corniches parapets

Il existe des corniches-parapets, jouant à la fois un rôle architectural de corniche et un rôle de garde-corps. C'est avant tout la fonction esthétique qui préside à leur conception, (dont les architectes sont souvent à l'origine).

Ces éléments sont généralement utilisés pour un ouvrage ou pour une série d'ouvrages homogènes dans un projet global d'aménagement ; ils sont donc souvent des éléments « prototypes » ne bénéficiant pas de l'expérience de modèles éprouvés antérieurement.

De par leurs formes, les corniches de ce type sont particulièrement sujettes aux pathologies suivantes :

- éclats de béton avec fers apparents (figure 83), dus à la difficulté de respecter l'enrobage minimal pour des pièces de section réduite ou ayant des formes présentant des difficultés d'exécution ;

➤ fissuration due au retrait gêné se localisant dans des zones de variation importante de section (figure 84), ou due aux contraintes induites par les inerties thermiques différentielles dans les zones de changements brusques de volume d'une même pièce (ou de deux pièces assemblées).

Certains modèles peuvent être constitués à partir d'éléments préfabriqués liaisonnés sur site par un béton de seconde phase qui ne manque pas de se fissurer par retrait gêné.



Figure 83. Nombreux éclats de béton avec fers apparents sur les colonnes



Figure 84. Fissuration due aux conséquences d'un changement de section brusque (de la partie horizontale permettant l'ancrage au tablier)

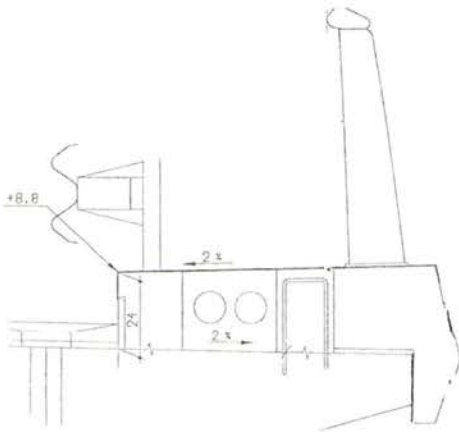
ANNEXES

EXEMPLES DE CHANTIERS

- 1 - Chantier de mise en œuvre de filet**
- 2 - Chantier de protection à l'aide d'un revêtement avec traitement des joints**
- 3 - Réparation de corniches présentant de l'écaillage et des éclats de béton avec armatures apparentes**
- 4 - Réparation de corniches présentant de l'écaillage**
- 5 - Chantier de réancrage d'éléments**
- 6 - Chantier de reconstitution de parties endommagées**

1 - Chantier de mise en œuvre de filet

Généralités



Il s'agit d'un « saut de mouton » construit en 1970 de 270 m de longueur qui franchit en zone très urbanisée différentes voiries et parkings de stationnement.

Les corniches sont préfabriquées en béton, classiques et liaisonnées à la structure par l'intermédiaire d'une contre corniche.

Désordres constatés sur les corniches



Lors des inspections détaillées périodiques de l'ouvrage, on a relevé de très nombreux éclats de béton avec armatures apparentes sur la face latérale et en sous-face avec des risques de chute de morceaux de béton sur les usagers circulant ou stationnant sous l'ouvrage.

Diagnostic

Le diagnostic a simplement consisté en un examen visuel réalisé lors des inspections détaillées qui a révélé une épaisseur d'enrobage insuffisante.

Réparations

La solution de réparation a été écartée pour les raisons suivantes :

- éclats sur fer trop nombreux qui auraient nécessité un repiquage quasi-systématique pour mettre à nu les aciers ;
- nécessité de coffrage de la face inférieure entraînant des difficultés de bétonnage ;
- doute sur la durabilité d'une telle réparation.

La solution de remplacement par une corniche en béton préfabriquée a été envisagée. Elle a été estimée à 2 000 000 F/(valeur 1998) pour le remplacement des 540 mètres linéaires et n'a pas été retenue.

Ce remplacement avec démolition de la contre corniche comportait les opérations suivantes :

- démontage des garde-corps et des glissières de sécurité côté Ouest ;
- découpage à la scie du joint entre la contre corniche et la corniche (des deux côtés) ;
- dépose à la grue des éléments préfabriqués ;
- démolition de la contre corniche jusqu'au niveau de l'extrados du tablier (des deux côtés) ;
- repiquage du mortier de calage des éléments préfabriqués de corniche ;
- repiquage du béton maigre de remplissage du trottoir (sur 5 cm de hauteur) ;
- démolition d'une bande de chaussée de 10 cm de large le long de la contre-corniche côté Ouest pour mettre à jour l'asphalte de protection de la chape d'étanchéité ;
- scellements de cavaliers à l'emplacement de la contre-corniche ;
- pose et réglage des nouveaux éléments de corniches préfabriquées sur mortier de calage ;
- coffrage de la contre-corniche et mise en place des tiges d'ancrage des glissières côté Ouest
- bétonnage des contre-corniches ;
- réalisation d'une chape sur les trottoirs ;
- préparation de surface pour la mise en place de l'étanchéité par sablage ;
- relevé de chape côté Ouest et réfection de la couche de roulement ;
- mise en place des tiges d'ancrage des garde-corps et bétonnage des réservations prévues à cet effet dans les éléments de corniches ;
- remontage des glissières et des garde-corps lavés ;
- mise en place d'un fond de joint entre les éléments de corniches ;
- étanchéité par film mince adhérent au support (type baytec ou similaire) sur les corniches, les contre-corniches et le trottoir côté Est, y compris sur accès.

Un procédé d'**hydrodémolition** pouvait être utilisé pour démolir la contre-corniche. Ceci permettrait de conserver intacts les aciers en attente et d'éviter les scellements de cavaliers.

S'agissant d'un ouvrage peu esthétique en zone urbanisée, une démolition à moyen terme (10 à 15 ans, temps nécessaire pour réaliser une déviation) a été évoquée par le maître d'ouvrage et c'est une solution de mise en place d'un filet en polyéthylène de mailles 5 mm plaqué « sans flèche, ni poche » qui a été réalisée. Un délai de garantie de 10 ans a été exigé.



Le coût de ces travaux réalisés en 1998 a avoisiné les 100 000 F (environ 15000 euros) pour la protection des 540 ml de corniches (y compris les travaux de purge préalables à la mise en place des filets). Deux couleurs ont été proposées : le vert et le blanc et ce sont des filets verts qui ont été mis en place.

Résultats – commentaires

Les filets sont efficaces vis-à-vis du maintien des éclats de béton.

La pose de ces filets n'a pas enlaidi l'ouvrage.

Dix ans après la pose des filets, l'ouvrage n'a pas encore été démoli et les filets ne sont pas déchirés.

2 - Chantier de protection à l'aide d'un revêtement avec traitement des joints

Généralités

Il s'agit d'un ouvrage construit en 1977 qui comporte des corniches en béton préfabriquées de forme classique liaisonnées à la structure par l'intermédiaire d'une contre-corniche.

Désordres constatés

L'inspection détaillée réalisée en 1992 a permis de constater sur ces corniches :

- des parements noircis par les mousses ;
- de nombreux éclats de béton avec armatures apparentes et corrodées sur la face latérale ;
- des joints entre éléments non traités, d'où une absence de larmier des écoulements sous les encorbellements.

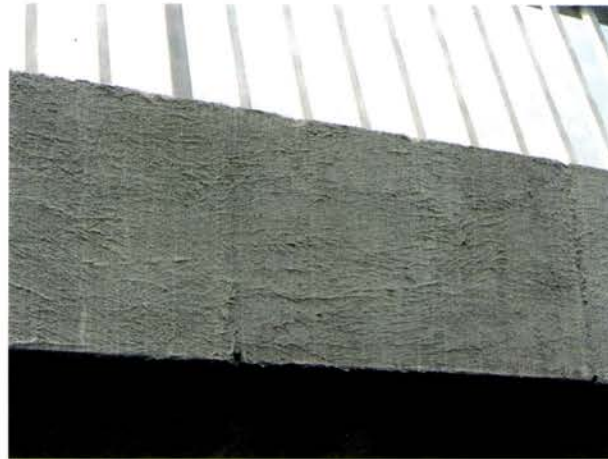


Investigations

Le gestionnaire s'est contenté des constatations visuelles pour définir les travaux de réparations.

Travaux réalisés en 1998 :

- nettoyage des parements des corniches ;
- passivation des armatures apparentes ;
- traitement des joints entre éléments de corniche à l'aide d'un fond de joint ;
- mise en œuvre d'un revêtement sur la contre-corniche, sur la face supérieure de la corniche et sur le parement de la corniche en continu au passage des joints.



Résultats – commentaires

Dix ans après des désordres réapparaissent au droit des joints entre éléments de corniche.

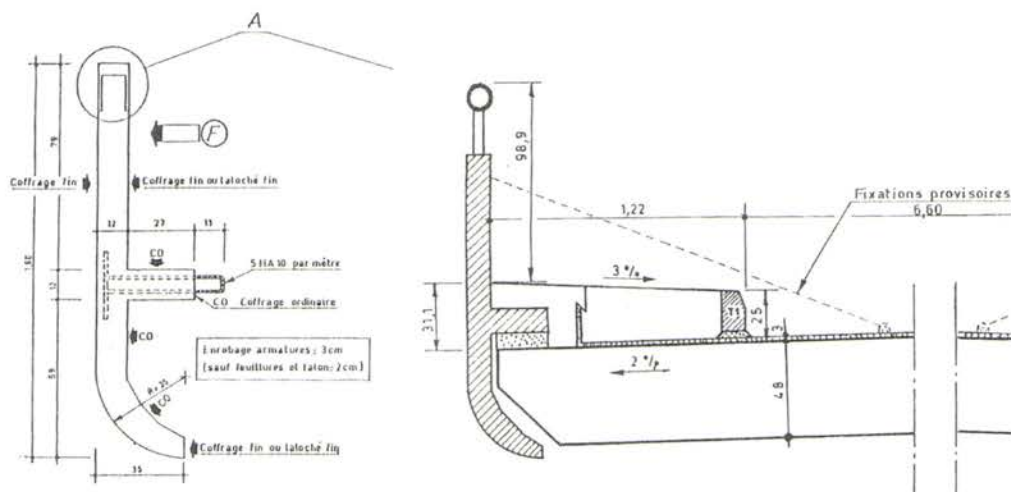


3 - Réparation de corniches présentant de l'écaillage et des éclats de béton avec armatures apparentes

Généralités

Il s'agit d'un lot d'ouvrages PS et PI construits il y a 25 ans dans l'Est de la France. Les PS sont équipés de corniches parapets en béton préfabriquées et les PI de corniches béton coulées en place.

Les corniches parapets sont liaisonnées à la structure par l'intermédiaire d'une contre corniche.



Désordres constatés

Les corniches parapets présentent :

- ▶ Sur la face interne (côté voie portée)
 - un écaillage des éléments de corniche. Cet écaillage se produit surtout en pied du parapet sur une hauteur de 20 cm et sur les bords de corniche ;
 - Cet écaillage se généralise parfois sur toute la surface interne ;
 - Des effritements plus profonds (quelques centimètres) sont visibles en pied de certaines corniches ;
 - la formation de petits cratères coniques au fond desquels apparaissent des granulats ;
 - la présence de lichens ;
 - des variations de teinte, notamment la présence d'une bande plus claire en pied de la face interne.

Ces constatations sont valables aussi bien sur les corniches exposées au Sud, que pour celles exposées au Nord.



- Sur la face externe
 - un écaillage du béton au niveau du ruissellement de l'eau provenant des trottoirs sur certaines corniches ;
 - des éclats de béton avec armatures apparentes.



Investigations – diagnostic

L'étude a été décomposée en 3 étapes :

- Étude des documents de récolement concernant les différents ouvrages ;
- Investigations ayant pour but de déterminer la ou les causes de détérioration des matériaux ;
- Évaluation des possibilités de réparation.

1 - L'examen des documents du dossier d'ouvrage n'a pas permis de trouver des informations très fiables :

- les corniches auraient été préfabriquées sur site dans un moule en bois rigide ;
- aucun contrôle sur le béton des corniches n'a été réalisé ;
- il est probable que le béton des corniches soit le même que celui utilisé pour des décorums des piles, dosé à 350 kg de ciment CLK.

Remarques

- un béton réalisé à partir de ciment au laitier de clinker est peu susceptible de développer des dégradations dues à des réactions internes ;
- la formule de béton ne donne pas toutes les garanties de résistance vis-à-vis de l'action du gel ;
- il n'y a pas eu d'adjuvant d'entraîneur d'air ;
- le dosage en ciment était inférieur au dosage recommandé (440 kg/m³ pour des granulats 0/10).

2 - Les essais

Le prélèvement de 10 carottes a permis de réaliser :

- des essais de gel interne

Résultats : les éprouvettes testées présentent toutes à l'issue de cet essai des dégradations de leur structure

- des essais d'écaillage

Résultats : les 2 carottes testées présentent une très mauvaise résistance à cet essai d'écaillage. La présence de chlorure de sodium dans la solution accélère l'évolution des désordres qui sont également observés avec l'eau seule.



Éprouvette au bout de 80 cycles de l'essai d'écaillage



Éprouvette au bout de 116 cycles de l'essai d'écaillage

Des mesures d'enrobage et de profondeur de carbonatation ont également été réalisées :

- Sur la face interne

Enrobage moyen : 3,5 cm

Profondeur de carbonatation : 0,5 cm sur les zones visuellement saines

1 cm au droit d'une armature apparente corrodée

- Sur la face externe

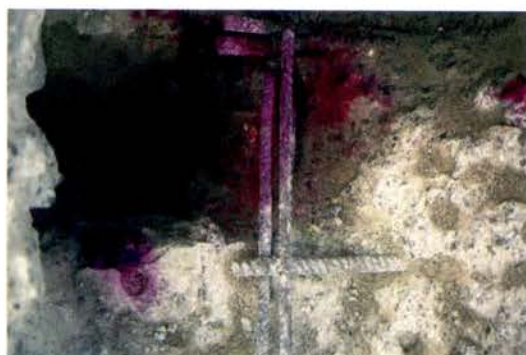
Enrobage de 1 cm ce qui signifie qu'il n'existe plus de réserve d'alcalinité.

Conclusions suite à la réalisation de ces essais

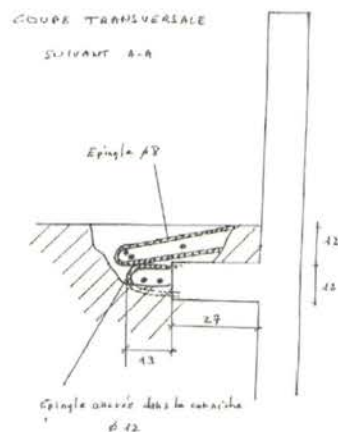
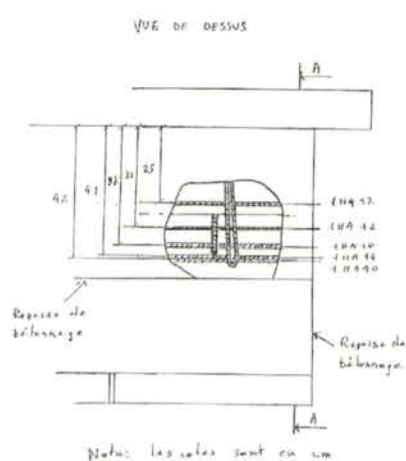
- l'enrobage des armatures se trouvant sur la face externe des corniches parapets ne permet pas d'assurer une protection suffisante de ces armatures vis-à-vis des agressions extérieures. À court terme, les chutes d'éclats de béton qui se détachent et tombent sur les usagers de la voie franchie risquent de se généraliser ;
- le béton des corniches ne présente pas de bonnes caractéristiques vis-à-vis de l'action du gel et des sels de déverglaçage.

Au vu des résultats des essais réalisés sur le matériau béton, le maître d'ouvrage s'est posé la question de la stabilité à court terme de ces corniches parapet. Pour ce faire 2 fenêtres 0,35 x 0,35 m ont été réalisées au droit de la contre corniche (zone d'ancrage) qui ont permis de préciser que :

- le principe d'ancrage semble conforme à celui prévu au DCE ;
- le béton constitutif des corniches au niveau de la zone d'ancrage et celui de la contre corniche semblent sains ;



- les armatures d'ancrage ne présentent pas de désordres liés à la corrosion.



3 - La possibilité de réparation des corniches parapets

Vis-à-vis des désordres liés à l'insuffisance d'enrobage, l'étude a considéré que les solutions de réparation existent et que leur durabilité peut être évaluée de façon convenable. L'étude pour définir les possibilités de réparation des désordres dus au gel et au sel a consisté en :

- la réalisation de prélèvements dans des zones saines et dégradées ;
- la réalisation d'essais d'écaillage selon la norme XPP 18-420 sur des carottes témoins et sur des carottes traitées par trois produits d'imprégnation différents ;
- l'analyse des résultats et avis sur les possibilités de réparation.

Synthèse des résultats

- le béton présente une très mauvaise résistance à l'essai d'écaillage (2500 g/m² de pertes après 30 cycles contre environ 400 g/m² après 56 cycles proposé dans les

« Recommandations spécifiques à l'élaboration des bétons pour les parties d'ouvrage non protégées des intempéries et soumises à l'action du gel ;

- aucun des produits n'a permis d'atteindre les 56 cycles avec des pertes admissibles ;
- un des 3 produits testé permet de ralentir fortement les dégradations pendant 30 cycles, dégradations qui ensuite démarrent brusquement.

4 – Les commentaires formulés suite à la réalisation de ces différentes études et investigations

Les observations réalisées sur les ouvrages et les investigations menées en 1997 et 1998 n'encouragent pas à préconiser une réparation durable des parapet-corniches dégradées des ouvrages.

Il s'agit :

- d'une part, de traiter les désordres liés à une insuffisance d'enrobage et si l'on reconstitue l'enrobage à l'identique, on risque d'être à nouveau confronté à ce problème dans quelques années ;
- d'autre part, de freiner les désordres dus au gel et au sel. La très mauvaise résistance du béton à l'essai d'écaillage ainsi que les caractéristiques climatologiques des hivers dans la région tendent à montrer que les réparations ne sauraient être durables.

Compte-tenu de ces éléments, il a été jugé préférable d'envisager à terme **la démolition des corniches parapet incriminés.**

Réparations réalisées

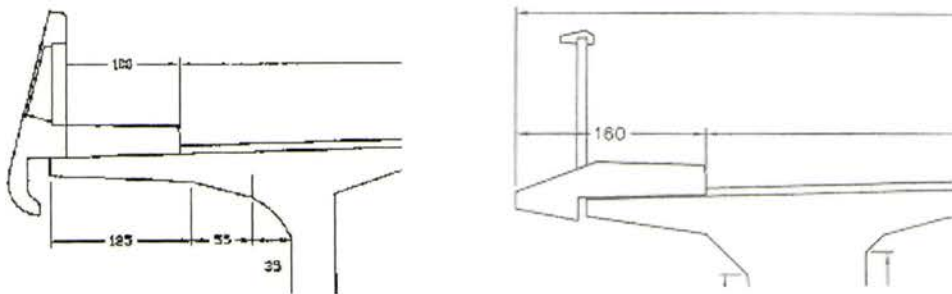
Le gestionnaire a suivi les conclusions des investigations et les corniches parapets ont été remplacées en utilisant pour les nouvelles corniches un béton dosé à 410 kg/m³ de ciment CEM II/A 42.5 avec entraîneur d'air.

4 - Réparation de corniches présentant de l'écaillage

Généralités

Il s'agit d'un lot de 7 ouvrages construits vers 1985-1987 dans une région soumise à des cycles de gel-dégel en présence de sels de déverglaçage. Ils sont équipés de corniches préfabriquées en béton armé, de plusieurs types, liaisonnées par contre-corniches.

Les schémas ci-dessous montrent la coupe transversale de deux types de corniches.



Désordres constatés



Dès l'inspection détaillée de 1992, un écaillage généralisé de la surface des corniches de plusieurs ouvrages a été observé. Celui-ci semble être dû aux circulations d'eau incontrôlées sur ouvrage, associées à la présence fréquente de sels de déverglaçage. Quelques éléments de corniche de certains ouvrages présentent également des symptômes de gel interne du béton.

Investigations – diagnostic



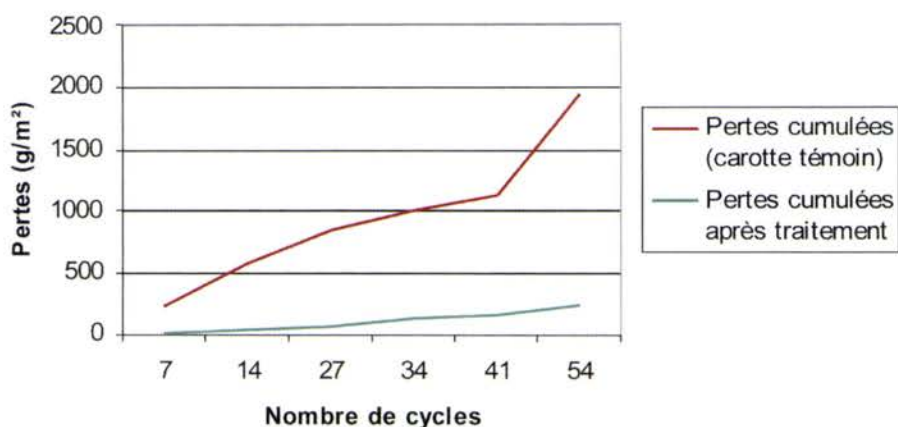
Une campagne générale de diagnostic a été engagée à la demande du Maître d'Ouvrage :

- recherche des conditions de fabrication : usines de préfabrication, formules utilisées, étuvage... ;
- prélèvement par carottage d'échantillons représentatifs en fonction des lots homogènes révélés par l'inspection et les recherches en archives ;
- réalisation d'essais d'écaillage sur béton brut, sans et avec produit de protection ou d'imprégnation ;
- mesures du facteur d'espacement L_{barre} .

Les essais d'écaillage ont été réalisés sur trois carottes de béton représentatives des différentes formulations. Ces tests visent non seulement à évaluer la sensibilité du béton à l'écaillage, mais également à vérifier l'efficacité de produits de protection ou d'imprégnation.

Les résultats obtenus montrent que le béton non protégé est très sensible à l'écaillage (760 à 2500 g/m²). En revanche le test sur les éprouvettes enduites de produit donne des résultats très satisfaisants : l'écaillage est divisé par 5 à 20 (110 à 210 g/m²).

La courbe suivante donne à titre d'exemple, pour une des carottes, la sensibilité à l'écaillage sans et avec traitement. L'efficacité semble ici démontrée.



Graphique comparatif des essais d'écaillage

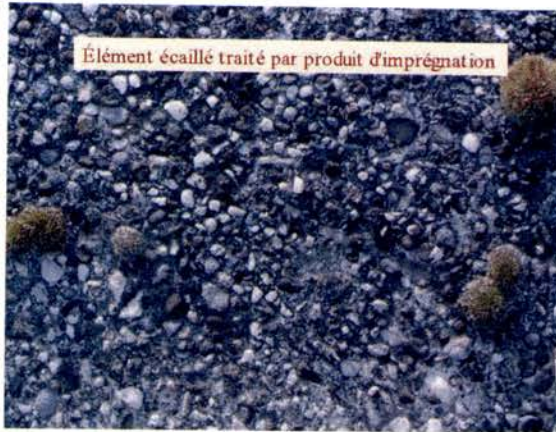
Réparations

Au vu des résultats de ces essais, il a été préconisé l'application de produits testés. Celle-ci a été réalisée après un nettoyage rigoureux de la surface à traiter. Le cas échéant, les éclats avec ou sans les fers apparents ont été ragrés après repiquage du béton dégradé et passivation des armatures corrodées.

Commentaires

Dans le cadre du suivi des ouvrages, de nouvelles inspections détaillées ont été réalisées en 2003, soit 6 ans après la mise en œuvre des traitements.

Suite à ces inspections, il apparaît que les traitements mis en œuvre sont encore efficaces et que l'évolution de l'écaillage est enrayée. Localement, les fissures de retrait qui existaient ne réapparaissent pas encore à travers le produit « couvrant » mis en œuvre. Lorsque la solution d'un produit d'imprégnation a été retenue, certaines zones présentant des hétérogénéités (zones ségréguées, éclats de bois venant du coffrage), ne permettent pas une bonne efficacité du traitement.



Cas particulier d'un ouvrage dont certains éléments de corniche présentent des signes de gel interne



Les mesures de L^{barre} , permettant de vérifier la susceptibilité du béton au gel interne, réalisées sur quelques échantillons, ont montré des valeurs qui confirment la potentialité de non résistance.

L'évolution observée sur les éléments de corniche déjà atteints en 1992 est réelle, sans mettre en danger la sécurité à court ou moyen terme. À long terme, ces éléments devront être changés.

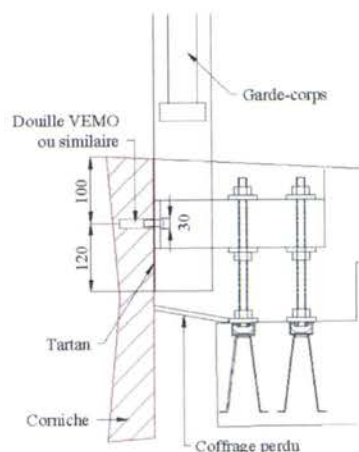
5 - Chantier de réancrage d'éléments

Généralités

Il s'agit d'un ouvrage construit en 1972 qui comporte des corniches en béton préfabriquées liaisonnées à la structure par l'intermédiaire d'aciers insérés dans les ancrages des garde-corps (2 aciers par corniche).



Vue générale des corniches



Vue de dessous : fixation de la corniche dans un ancrage du garde-corps

Désordres constatés

Certaines corniches présentent un décalage de plusieurs millimètres avec le plan vertical du tablier, ce qui entraîne un risque de chute de ces corniches sur les usagers circulant sous l'ouvrage, par rupture des aciers de liaison due à leur corrosion.



Vue du dessus : décalage entre corniche et tablier

Investigations - Diagnostic

Les investigations ont simplement consisté à essayer de faire bouger les corniches présentant un décalage (à l'aide d'une sorte de pied de biche).

Les corniches qui bougeaient ont été déposées, dans l'attente d'une réparation globale des ancrages.



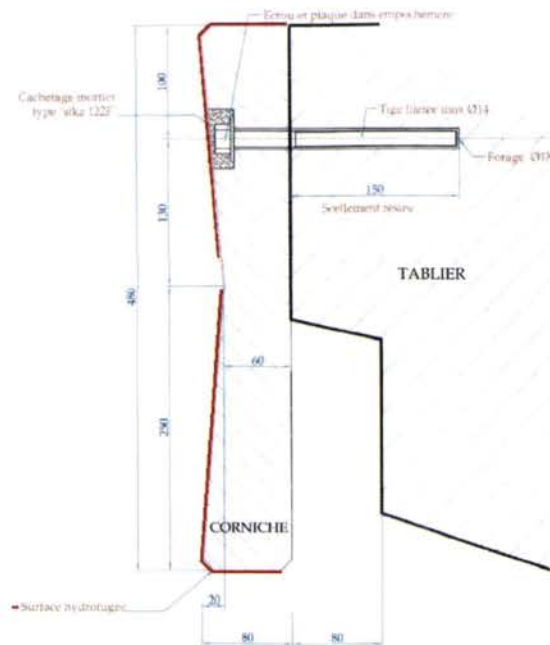
Vue générale après dépose d'une corniche

Réparations

Les travaux réalisés en 2004 ont consisté en :

- des opérations de forage $\varnothing 18$ par carottage dans la corniche et dans l'encorbellement du tablier (2 forages par corniche) ;
- la réalisation « d'empochements » rectangulaires dans les corniches, autour des forages ;
- le scellement à la résine de tiges filetées inox $\varnothing 14$ dans les trous de forage ;

- le serrage du dispositif par écrous et plaques dans les empochements ;
- le nettoyage de tous les éléments de corniche à l'eau pure ;
- le rebouchage des empochements par un mortier modifié par ajout de polymère organique ;
- la mise en œuvre d'un complexe hydrofuge sur les parties accessibles des éléments de corniche.



Résultats – commentaire

La technique de réparation employée semble satisfaisante, mais on peut regretter l'absence de véritable investigation due à l'inexistence de méthode de test des ancrages des corniches.



Vue générale après réparations

6 - Chantier de reconstitution de parties endommagées

« De l'intérêt d'un bon diagnostic »

Le contexte

Il s'agit d'un ouvrage à poutre-caisson précontrainte, situé sur une autoroute urbaine à 2x2 voies sans BAU, ayant deux tabliers séparés, possédant chacun deux files de corniches coulées en place, soit un linéaire total de 1000 m.

Une inspection détaillée de l'ouvrage, 3 ans avant le début des travaux, a révélé une dégradation importante de l'arête inférieure des corniches et des armatures apparentes et oxydées en face latérale mais n'intéressant pas tout le linéaire des tabliers.



Un projet de réparation de la partie supérieure du tablier a été étudié, incluant le « ragréage » des parties dégradées des corniches.

La description des travaux à réaliser, assez détaillée est la suivante :

1 - Préparation des surfaces

- les zones à traiter seront délimitées par un sciage à la disquieuse sur une profondeur minimum de 1 cm, de manière à éviter les arrêts en sifflet ;
- la préparation des surfaces sera de préférence réalisée au burineur pneumatique de manière à dégager largement les aciers corrodés, d'une part sur leur longueur jusqu'à retrouver un acier sain et d'autre part, en profondeur de manière à passiver leur face arrière ;
- la profondeur minimum du piquage sera de 1 cm ;
- les aciers mis à nu seront traités par sablage ;
- les zones ainsi préparées seront nettoyées à l'air comprimé de manière à éliminer la poussière.

2 - Application du produit passivant des armatures

- l'application du passivant sera systématique et réalisée immédiatement après le sablage et le dépoussiérage ;
- le produit sera appliqué au pinceau fin sur toute la section des armatures de façon soignée afin d'éviter de déborder sur le béton ;
- un temps de séchage minimum sera observé conformément aux prescriptions du fabricant.

Préparation du mortier de réparation

- les prescriptions du fabricant seront rigoureusement respectées ;
- la quantité d'eau incorporée dans le mélange sera précisément mesurée soit à l'aide d'un compteur volumétrique précis, soit à l'aide d'un récipient gradué ;
- le temps de malaxage sera rigoureusement respecté. s'agissant de produits thixotropes, la plasticité est obtenue en malaxant le mélange énergiquement et non en rajoutant de l'eau ;
- la préparation d'un sac de produit par gâchée est fortement recommandée ;
- le malaxage des constituants sera de préférence réalisé à l'aide d'un malaxeur électrique ;
- l'eau incorporée dans le mélange proviendra du réseau, réputée potable.

3 - Application du produit de réparation

- préalablement à l'application du mortier de réparation, le support sera saturé en eau par un arrosage ;
- une première couche mince sera appliquée en la serrant fortement pour réaliser l'accrochage ;
- après le talochage et le lissage, un produit de cure sera appliqué pour éviter toute dessiccation.

Les travaux

Après démarrage des travaux, sous circulation réduite à une voie, un premier constat alarmant a pu être fait :

L'entreprise informe le maître d'œuvre que les corniches sont dans un état de dégradation importante. Lors d'une visite de chantier, on a pu constater sur une première zone d'environ 30 mètres qui a été piquée, que :

- le filant situé dans le talon de la corniche est corrodé sur environ 90 % du linéaire ;
- la plupart des épingles qui maintiennent les filants sont corrodées sur plusieurs centimètres ;
- de nombreux cadres sont corrodés sur des profondeurs importantes.



Le maître d'œuvre demande que des sondages soient réalisés en plusieurs endroits pour vérifier si l'état des corniches est identique sur toute la longueur de l'ouvrage. Un constat contradictoire sur site de ces zones est réalisé au plus vite conjointement entre l'entreprise et le maître d'œuvre.

Dans ces conditions de dégradation avancée, l'entreprise considère que les réparations à envisager s'apparentent plus à une reconstruction ou reconstitution qu'à un ragréage superficiel, et nécessitent notamment la pose d'un coffrage sur tout le linéaire pour reconstituer le talon de la corniche.

Au-delà des difficultés techniques pour effectuer les réparations, l'entreprise évoque également un problème financier. Elle réfléchit à de nouvelles solutions :

- piquage et reconstitution à l'identique des corniches (305,31 € par ml.) ;
- piquage et reconstitution partielle des corniches (sans talon) (272,16 € par ml.) ;
- sciage de la partie de la corniche en rive du tablier, ragréage vertical du bord du tablier et mise en place d'une corniche métallique (non chiffré dans un premier temps) ;
- ragréage et pose d'une étanchéité en polyuréthane sur la partie horizontale de la corniche, mise en place d'une corniche métallique qui épousera la forme de la corniche sur la partie verticale (non chiffré dans un premier temps).

Pour mémoire : le prix initial du marché attribué à l'entreprise pour un ragréage est de 26,53€ par ml.



En perspective, on peut craindre de longues discussions, des retards dans les travaux, une gêne prolongée pour les usagers et vraisemblablement des surcoûts importants.

Épilogue du chantier

En définitive la solution de piquage et de reconstitution à l'identique des corniches sera retenue. Des essais de mise en œuvre par deux techniques seront réalisés (talochage et coulage, toutes deux dans des coffrages). Le talochage sera retenu au vu des résultats dans les zones témoin.

Au final, un seul tablier a pu être traité dans le cadre du marché, générant un dépassement du montant des travaux, des retards conséquents.

Réflexion

Une analyse critique a posteriori met en évidence de multiples défaillances :

- un rapport d'inspection indiquant des dégradations importantes, sans en préciser plus clairement l'étendue. les conclusions de l'idp ne prévoient pas d'investigation particulière : repiquage témoin, métré... ;

► un projet de réparation, précis dans la description technique d'un type de réparation (ragréage) mais sans investigations préalables permettant d'établir un diagnostic : étendue des dégradations, présence de chlorures, profondeur de carbonatation, état des armatures...



Heureusement, au final, la collaboration étroite entre le Maître d'œuvre, son contrôle extérieur et l'Entreprise a permis d'aboutir à un résultat techniquement pérenne.



Document public par l'Ishtar sous le numéro	C15025
Conception et réalisation	Société Jouve
Infographie	Philippe Caquelard
Impression	Jouve n° 806630M
Depot légal	4 ^e trimestre 2011

1



Ce guide technique s'adresse à l'ensemble des maîtres d'ouvrage, gestionnaires, maîtres d'oeuvre, bureaux d'études, laboratoires et entreprises intervenant dans le domaine du diagnostic et de la réparation des ouvrages d'art.

Ce guide traite uniquement des corniches en béton armé qu'elles soient coulées en place ou préfabriquées. Il complète le guide technique « Corniches » élaboré en 1994 par le Sétra.

Il traite des chapitres suivants :

- 1 - Rappels sur les fonctions et la conception des corniches en béton
- 2 - Désordres visuels -Description, causes, et diagnostic
- 3 - Méthodes d'investigations particulières pour la liaison entre la corniche et l'ouvrage
- 4 - Réparations
- 5 - Corniches particulières en béton

En annexe sont traitées des exemples de chantiers.

This technical guide is for all owners, managers, contractors, consultants, laboratories and companies involved in the diagnosis and repair of bridges.

This guide deals only with reinforced concrete corniches that are cast in place or prefabricated. It complements the technical guide "Corniches" published in 1994 by Sétra.

It covers the following chapters:

- 1 - Reminders about the functions and design of concrete corniches
- 2 - Visual disorders - description, causes and diagnosis
- 3 - Special investigation methods to assess the connection between the cornice and the deck
- 4 - Repairs
- 5 - Particular concrete corniches

In the appendix, some examples of practical cases are treated.



ISSN 1151-1516

ISBN 978-2-7208-2582-8

Réf : TMCORN

Prix : 40 euros HT



Système de
management de la qualité
certifié sous le n° 9915173
pour les sites
de Paris et de Nantes