

Dégradation de dalles de tablier de ponts en région wallonne. Etude d'une pathologie complexe

Ing. P.MOMMER
Ing. E. DONDONNE
Ir Ph. DEMARS
GRAMME – Liège

La dégradation des dalles de tablier de ponts est une synergie de pathologies simples dont les effets peuvent entraîner le percement du tablier.

Mots-clefs : béton, dalle, percement, recherche, pathologie, inquiétant, carbonatation, cycle, dangereux.

The damage caused to the flagstones of the roadways of bridges is a synergy of simple pathologies the effects of which can lead to the boring of the roadway.

Keywords : concrete, flagstone, boring, research, pathology, worrying, carbonation, cycle, dangerous.

1. Introduction

« On sait que l'ennemi principal de l'acier est la rouille mais savez vous que le béton possède aussi ses faiblesses ? Si ce n'est pas le cas, je vous invite donc à lire ce qui suit. »

Cet article va tenter de montrer que le béton n'est pas un matériau aussi durable qu'on pourrait le penser. Au contraire, ce dernier est attaqué par de nombreuses pathologies, pouvant réduire considérablement la durabilité d'un ouvrage d'art si le béton atteint n'est pas traité efficacement et durablement. La figure 1 montre comment certaines situations peuvent mener à des percements dans la dalle de tablier de ponts et pire, il arrive même dans certains cas que l'on doive procéder à la destruction de ponts n'ayant qu'une trentaine d'années car ces derniers sont dans un état ne leur permettant plus de reprendre correctement les sollicitations pour lesquels ils étaient dimensionnés.



Figure 1 : Percements de la dalle du tablier du pont de la Zone V à Charleroi

Qu'est ce que le pourrissement⁽¹⁾ de dalles ? Le pourrissement de dalles est une action simultanée de plusieurs pathologies simples, ces derniers formant ensemble une synergie complexe. Les effets de cette synergie provoquent des dégâts plus importants que si l'on cumulait les effets de chaque pathologie simple !

Cet article sera divisé en 4 grandes parties :

- Présentation de la dégradation de dalles de tablier de ponts.
- Etude des pathologies du béton et des ses armatures.
- L'étanchéité.
- Recherche sur la dégradation de dalles de tablier de ponts. Etude d'une pathologie complexe.

2. Présentation de la dégradation de dalles de tablier de ponts

Depuis 1985, une nouvelle forme de dégradation du béton est apparue sur certains ponts en région wallonne. Elle concerne principalement les ponts à poutres. Ces dernières sont soit en béton armé soit en béton précontraint, l'épaisseur de la dalle est classiquement de 18 cm. Ces dalles sont normalement protégées par une chape d'étanchéité (asphalte coulé ou membranes préfabriquées et, depuis peu, résines).

Le premier cas a été constaté en 1985. Dix ans plus tard, une relation est établie entre les dégradations de la dalle en face supérieure et des taches en face inférieure. Cette relation a été établie grâce aux nombreux carottages réalisés sur les ponts atteints. Fin 2002, une soixantaine de cas sont recensés. La tendance actuelle est à la découverte de quelques cas par an, ce que montre la figure 2 suivante.

¹ La dégradation de dalles de tablier de ponts est aussi appelée « Pourrissement de dalles de tablier de ponts ». Cette appellation provient des ingénieurs du MET (D.424 : Direction de l'Expertise des Structures)

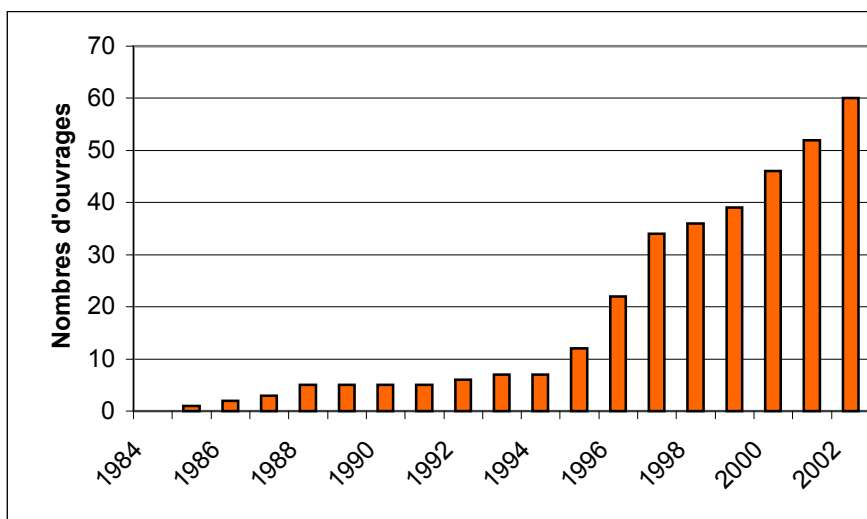


Figure 2 : Evolution du nombre de dégradations de dalles de tabliers de ponts recensés en Wallonie (Etat en décembre 2002)

Le processus qui, à terme, peut conduire au percement du tablier (on se rappelle la figure 1), peut présenter différentes formes qui sont décrites ci-après et visualisées à la figure 3 :

- Micro-fissuration multidirectionnelle du béton ou faïençage qui affecte toute l'épaisseur de la dalle, ce cas est toutefois rarement rencontré.
- Délamination⁽²⁾ du béton : le béton se dégrade en feuillets de quelques millimètres d'épaisseur, essentiellement en face supérieure de la dalle. Désagrégation⁽³⁾ du béton en face supérieure, parfois à l'interface dalle/prédalle, et plus rarement en face inférieure du tablier : seul subsiste le squelette granulaire.

On notera que le processus évolue généralement du haut vers le bas de la dalle.

² Délamination : Séparation en lamelles d'un matériau macro-moléculaire.

³ Désagrégation : Séparation des parties d'un corps.

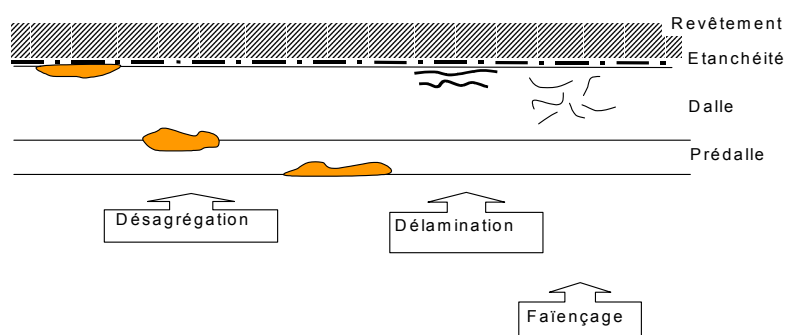


Figure 3 : Schéma des différentes formes de dégradations

Ces défauts s'accompagnent très souvent de la présence en face inférieure du tablier, de taches grises plus ou moins foncées, persistantes quelles que soient les conditions d'humidité. On peut les observer sur la figure 4.



Figure 4 : Illustration d'une tache due aux dégradations

Deux autres signes indicateurs de la présence possible du phénomène sont :

1. la remontée de fines particules de ciment au travers du revêtement.
2. la formation de nids de poule dans le revêtement. (La réparation de ces nids de poule n'est jamais durable.)

Dans le cadre de ses missions d'expertise, la Direction de l'Expertise des Structures du Ministère wallon de l'Équipement et des Transports (D.424), a pu mettre en évidence la relation entre ces dégradations et des défauts d'étanchéité du tablier. De plus, des teneurs en chlorures fortement élevées, souvent supérieures à 0,1%, (à comparer avec la limite de 0,06% imposée par la NBN B15-001; ces teneurs sont exprimées par rapport à la masse du béton) ont été constatées systématiquement dans les zones dégradées. On a même retrouvé des teneurs en chlorures allant jusqu'à 1%! Les différentes investigations réalisées indiquent également la présence de plusieurs réactions secondaires de type réactions sulfatiques et/ou alcalis-granulats. Ces réactions sont décrites dans la 2^o partie de cet article.

Devant la complexité de cette forme de dégradation, le danger qu'elle implique pour les usagers de la route et l'évolution croissante du nombre d'ouvrages atteints, il a été décidé de mener une recherche approfondie avec la participation de nombreux laboratoires. Cette recherche sera décrite brièvement dans la 4^o partie.

Certaines personnes pourraient se demander pourquoi rien n'a été fait pour éviter ces découvertes étonnantes? On peut répondre qu'à l'époque on ne connaissait pas bien les « maladies » du béton et que dans les constructions de génie civil, le temps d'incubation des pathologies est relativement long. Cela explique que les ingénieurs du MET découvrent aujourd'hui les défauts d'hier et qu'ils tentent d'améliorer les techniques de construction de demain !

3. Etude des pathologies du béton et des ses armatures

La dégradation de dalles de tablier de ponts étant une pathologie "complexe" faisant intervenir un grand nombre de pathologies "simples" dans un ordre encore inconnu, il est nécessaire pour bien comprendre le pourrissement d'expliquer chacune de ces pathologies simples séparément.

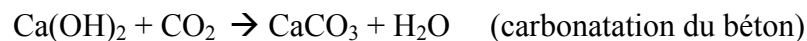
L'importance pour une structure (ou un élément de structure) est sa pérennité face aux sollicitations et aux conditions d'environnement auxquelles elle est soumise.

Cette importance introduit la notion de durabilité du béton qui est influencée par divers facteurs qui sont exposés dans ce chapitre, relatif aux différents processus d'altération du béton. Ces différents processus sont respectivement :

- La carbonatation du béton
- La dégradation du béton par cycles de gel et de dégel
- La dégradation par les réactions alcalis-granulats dans les bétons
- Les réactions sulfatiques dans les bétons
- La corrosion des aciers
- L'action des chlorures sur les aciers

3.1 La carbonatation du béton

Le pouvoir passivant du béton provient du fait que la chaux légèrement soluble confère à l'eau interstitielle du béton un pH de 12,5 environ. Ce pH élevé provoque à la périphérie des aciers noyés dans le béton la formation d'un film d'oxyde complexe qui empêche toute corrosion. Mais la chaux contenue dans le béton réagit selon la réaction suivante pour former du carbonate de calcium :



Cette réaction ne se déroule qu'en milieu aqueux. Avant tout, il faut que le dioxyde de carbone CO_2 se dissolve dans l'eau des pores, cette dissolution est une des principales causes qui entraîne une chute de pH (d'environ 13 à 9) et donc de la perte de la passivation des armatures. Pour cette chute du pH, l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 entre également en solution. Les deux produits réagissent et il y a précipitation de carbonate de calcium CaCO_3 . Pour que le processus se poursuive, il faut un apport de dioxyde de carbone CO_2 frais.

Ce phénomène est naturel mais n'est guère dangereux pour les bétons non-armés. L'évolution de cette maladie dépend des caractéristiques intrinsèques (teneur en Ca, capillarité, etc..) et extrinsèques du béton (environnement, etc.).

La carbonatation du béton est la cause la plus fréquente de dégradation des ouvrages d'art.

En soi, la carbonatation n'est pas dangereuse pour le béton; le danger provient du fait qu'elle fait perdre au béton son pouvoir de passivation des armatures dès que le front de carbonatation a atteint ces dernières.

Remarque

Si en l'absence de chlorures, la passivation des aciers est assurée pour des pH supérieurs à 9, il n'en est plus de même en présence d'ions Cl^- . Dans ce cas le pH nécessaire à la passivation est d'autant plus élevé que la teneur en chlorures est importante.

3.2 La dégradation du béton par cycles de gel et de dégel

Les dégâts provoqués aux bétons par le gel se caractérisent par une fissuration interne. Si le béton ne présente pas une résistance en traction suffisante, il y aura, après un certain nombre de cycles de gel-dégel, une dégradation du matériau.

Les effets du gel sur le béton dépendent de différents paramètres :

- La quantité d'eau contenue dans le béton : les risques de dégradation par le gel n'existent que lorsque le béton est dans un état saturé d'eau ou voisin de la saturation.
- La dimension des pores : la glace se forme en premier lieu dans les pores les plus grands. En fait, seule l'eau contenue dans les pores capillaires (de l'ordre de 10^{-6} m) et les vides plus larges, est susceptible de geler (sous notre climat !).
- L'âge du béton : dans un béton jeune, les capillaires sont gros et la résistance à la traction est faible. Dans les bétons plus âgés, les capillaires sont plus fins (obturation partielle par les produits de la carbonatation du béton, etc..) et la résistance est plus élevée.
- Les migrations d'humidité : la transformation d'eau en glace induit des déplacements d'humidité. Ces mouvements sont à l'origine de pressions (hydrauliques et osmotiques) différentielles telles, qu'à terme, elles entraînent des déformations et la fissuration du béton.
- La vitesse de refroidissement : un gel progressif, par temps sec, permet un assèchement du béton et une redistribution de l'eau encore contenue. Par contre, un gel brutal provoque un choc thermique et ferme pour ainsi dire des portes de sortie. Il emprisonne l'eau non encore gelée et la progression du front de gel mettra cette eau sous pression, entraînant la fissuration du béton.

- La gélivité des granulats : elle est fonction de leur porosité et perméabilité. Le choix des granulats non sensibles au gel est donc un paramètre à ne pas négliger.

Le rapport eau/ciment est un facteur déterminant pour éviter les dégâts dus aux cycles de gel-dégel. Plus ce rapport est faible :

- plus la quantité d'eau susceptible de geler est faible,
- plus le point de congélation est bas, (car le diamètre des pores est plus petit)
- plus le transport d'humidité est lent et difficile,
- plus les pressions engendrées sont basses,
- plus le béton est résistant.

L'expérience démontre qu'un béton résiste bien au gel lorsque son rapport eau/ciment ne dépasse pas 0,5.

Cette maladie en combinaison avec des chlorures provenant des sels de déneigement provoque des écaillages plus ou moins profonds. (voir 3.6.)

3.3 La dégradation par les réactions alcalis-granulats dans les bétons

Les réactions alcalis-granulats sont des phénomènes se produisant dans certains bétons. Leur présence se traduit généralement par l'apparition d'une mosaïque de fissures (faïençage).

Ce sont des réactions qui se produisent entre certaines formes de silice amorphe ou mal cristallisée (présentes dans le sable et dans les granulats) et des alcalis (Na et K, présents dans le ciment ou apportés par des agents extérieurs tels que les sels de déverglaçage).

Le produit de cette réaction est un gel de silicates alcalins fortement expansif. Cette réaction peut, dans des cas limites, conduire à la rupture des armatures du béton.

Si les réactions alcalis-granulats n'entraînent pas toujours de graves désordres, des structures ont dû être démolies suite à un état de fissuration trop avancé. On a cependant recensé des ouvrages où la réaction était présente sans pour autant que l'apparition de fissures soit observée.

Les effets de cette réaction peuvent se manifester après quelques mois ou plusieurs années (environ 10 ans en Belgique). Les dégradations peuvent

évoluer rapidement ou, au contraire, progresser lentement durant de nombreuses années.



Figure 5 : RAG dans un sommier de pont

A l'heure actuelle, la cinétique des réactions alcalis-granulats est encore loin d'être totalement expliquée.

Dans les ouvrages concernés par cette pathologie, les granulats ayant réagi sont principalement des porphyres⁽⁴⁾, des calcaires silicifiés ainsi que des silix contenus dans le sable. Le ciment utilisé est toujours du Portland (CEM 1).

3.4 Les réactions sulfatiques dans les bétons

Les réactions sulfatiques regroupent l'ensemble des réactions qui impliquent des sulfates (SO_4^{2-}). Ceux-ci peuvent provenir du milieu extérieur mais aussi du béton lui-même (réaction endogène).

Ces réactions sulfatiques sont principalement responsables de la formation de deux composés : l'ettringite et la thaumasite.

⁴ Porphyre : Roche magmatique à grands cristaux de feldspath et à pâte colorée (feldspath : Aluminosilicate de potassium, de sodium ou de calcium).

L'ettringite secondaire présente un caractère fortement expansif qui va provoquer la fissuration du béton durci. La thaumasite est nettement moins gonflante que l'ettringite. Par contre elle se forme au détriment de la tobermorite (qui donne la résistance à la pâte de ciment) et des granulats de calcaire. Il en résulte donc une décomposition du béton.

Les sources externes de sulfates peuvent être fort variables ; on peut citer

- Milieu marin
- Nappe phréatique
- Stockage de produits
- Matières organiques en décomposition (fosses à lisier, égouts, etc.)
- Pollution atmosphérique (proximité d'un incinérateur, etc.)
- ...

3.5 La corrosion des aciers

La corrosion des aciers dans le béton armé est une des causes principales de dégradation des structures. En effet, la formation de rouille expansive (jusqu'à 800% de gonflement) provoque l'apparition de fissures, puis le décollement et la chute de plaques de béton, mettant les armatures à nu.

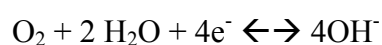
Mécanisme de la corrosion

La corrosion ou la rouille du fer, composant principal de l'acier, est un processus électrochimique complexe. En le simplifiant fort, on peut le décrire comme suit. Lorsqu'on place de l'acier dans une solution aqueuse, une réaction d'équilibre s'installe :

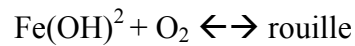


Des atomes de fer (Fe) entrent en solution sous forme d'ions de fer (Fe^{2+}). A cet endroit, des électrons négatifs (2e^{-}) se dégagent. L'acier garde une charge négative et attire les ions de fer positifs. Un équilibre dynamique s'installe entre le nombre d'ions de fer qui sont précipités et ceux qui sont en solution.

Cet équilibre est rompu en présence d'oxygène dissous dans le milieu aqueux. En effet, l'oxygène est transformé en hydroxyles (OH^{-}) et utilise à cette fin les électrons qui se libèrent lorsque le fer entre en solution.



Les hydroxydes réagissent avec les ions de fer et forment l'hydroxyde de fer ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) qui se précipite et se transforme, par réaction avec l'oxygène, en oxyde de fer (rouille).



Un courant se crée entre l'anode (l'endroit où le fer entre en solution) et la cathode (l'endroit où l'oxygène est transformé). Les électrons se déplacent dans l'acier vers la cathode. Dans le milieu aqueux, les ions de fer se déplacent vers la cathode et les hydroxydes vers l'anode. Sur ce trajet, ils se rencontrent et réagissent entre eux ; c'est le phénomène illustré figure 6.

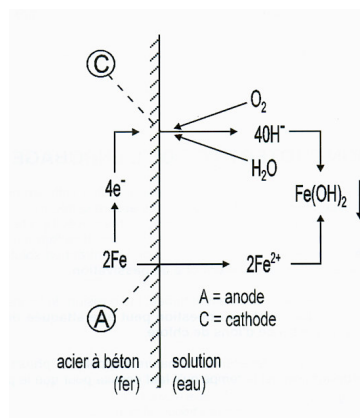


Figure 6 : Schéma du processus de corrosion

L'anode et la cathode sont tellement proches qu'elles forment une "micro-cellule". Lors du processus de corrosion, la surface de l'acier présente une quantité innombrable de "micro-cellules".

De ce qui précède, il découle que deux conditions doivent être remplies pour que l'acier rouille, à savoir une présence d'eau et une présence d'oxygène.

Le volume occupé par la rouille est plusieurs fois supérieur à celui occupé par l'acier. Une barre d'armature qui rouille dans le béton repousse pour ainsi dire l'enrobage. Le béton se fissurera ou s'écaillera.

La rouille entraîne une diminution de la section des barres et par voie de conséquence, une diminution de la capacité portante de la construction en béton.

En conclusion, les trois constatations suivantes peuvent être faites :

1. L'oxygène joue un rôle essentiel, par l'alimentation de la réaction. Sans oxygène, la dissolution du fer serait bloquée.
2. Le rôle des sels dissous est très important et, dans une eau parfaitement pure, la corrosion électrolytique n'a pas lieu.
3. La nature du métal et du milieu électrolytique (en particulier son pH) sont aussi deux facteurs importants et ont fait l'objet d'études théoriques détaillées.

3.6 L'action des chlorures sur les aciers

Les chlorures contenus dans un béton sont, soit fixés par certaines liaisons chimiques et physiques, soit libres. Une partie des ions Cl^- fixés peut cependant devenir libres.

Si ces ions libres atteignent les armatures, il y a risque de corrosion de l'acier même si celui-ci se trouve dans un béton non carbonaté. En effet, le pH du béton nécessaire à la passivation de ses armatures est d'autant plus élevé que la teneur en ions Cl^- est importante.

Mécanisme de la corrosion

L'hydroxyde de fer ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) est stable en milieu basique et il contribue à protéger l'armature en formant une couche passivante. Cependant, lorsqu'ils sont présents, les ions chlorures « perforent » cette couche passivante, par formation d'un complexe du type (complexe FeCl)⁺. Il se

développe alors un processus de corrosion locale. Dans ce processus, le chlorure agit comme catalyseur en ce sens qu'il est régénéré suivant la réaction :



Le chlorure régénéré peut de nouveau participer à la corrosion. Ce processus s'entretient ainsi de lui-même.

La corrosion due aux chlorures provoque des piqûres caractéristiques dans l'acier. Cette corrosion est beaucoup plus rapide et plus locale que la corrosion " normale ". Ces piqûres sont particulièrement dangereuses pour les armatures précontraintes, plus sensibles, de par leur section et taux de travail, à des déformations locaux.

4. L'étanchéité

4.1 Préliminaires

Il y a 20 ou 30 ans, l'utilité et la mise en place de l'étanchéité ne suscitaient l'intérêt que de trop rares personnes; toute l'attention était portée sur la résistance de l'ouvrage, peu importait sa durabilité. Aujourd'hui, les mentalités ont changé et le problème de l'étanchéité n'est plus seulement un « détail » d'un ouvrage d'art. Malheureusement, les erreurs du passé pèsent énormément par rapport aux investissements que l'on aurait dû faire pour assurer la pérennité de ces ouvrages.

L'étanchéité est une clé des problèmes de pourrissement de dalles. En effet plus de 99% des dégradations (développement des pathologies) sont dues à la présence d'eau. Eliminer cette présence, donc le contact entre le béton et l'eau permet d'éviter le début des dégradations du béton. D'où l'importance d'une bonne étanchéité.

4.2 Le drainage

La chape d'étanchéité seule assure la protection du support mais l'eau qui s'accumule au niveau de cette étanchéité doit être évacuée, c'est le rôle des

drains et des barbacanes. Elle permet d'éviter à l'eau de stagner au niveau de l'étanchéité et ainsi de créer des zones d'accumulation.

Un système de drainage doit permettre de récolter les eaux qui ont traversé le revêtement (elles y arrivent toujours) et qui sont bloquées par la chape d'étanchéité. Cette eau est renvoyée via des micro-bétons⁽⁵⁾ (résistant au poids du trafic) ou dans des drains faits de géotextile et de plastic (ne résistant pas au poids trafic) puis dans les barbacanes ou dans les avaloirs qui sont prévus pour recevoir l'eau de drainage et l'eau récoltée en surface du revêtement routier.



Figure 7 : Avaloirs entourés par l'étanchéité en feuilles préfabriquées.

4.3 La chape d'étanchéité

Introduction

Ci-après, en guise d'introduction, diverses remarques concernant la chape d'étanchéité :

⁵ micro-bétons : Granulats agglomérés entre eux par une résine époxydique dosée à minimum 3% en poids de granulats secs. La résine est une résine bi-composante à basse viscosité

- L'étanchéité d'un ouvrage d'art, dont la durabilité est estimée à plus de 30 ans (théoriquement), ne représente que 2 à 3% du coût d'un ouvrage neuf.
- Dans un pont, le revêtement est 10 fois plus perméable que le béton constituant le support, donc on a apparition d'une "accumulation d'eau entre le revêtement et le support". Cela implique que l'eau arrivant en face supérieure percole à travers le revêtement pour s'accumuler au niveau de la chape d'étanchéité, s'il en existe ou directement sur le support dans le cas contraire. L'eau draine avec elle des substances nocives (sels de déneigement, sulfates, etc.) qui attaqueront le béton du support si celui-ci n'est pas protégé ou si sa protection est déficiente.
- Signalons qu'on peut concevoir des ponts (pont de chemin de fer, passerelle, etc.) dans lesquels on ne place pas d'étanchéité, à condition que ces ponts ne soient pas soumis aux épandages hivernaux et soient constitués de béton de formulation adéquate.
- Remarque très importante : La continuité de la chape d'étanchéité doit être assurée en tout point. Elle doit notamment être raccordée à tous les équipements (joints, avaloirs, barbacanes, etc..) ou dispositifs de fixation des équipements (pylônes d'éclairage, bermes centrales, ancrages de garde-corps, etc.)

Définition

Le système d'étanchéité désigne l'ensemble des couches situées entre le support et la protection de l'étanchéité.

On distingue trois grandes familles d'étanchéité qui sont :

1. l'asphalte coulé
2. les feuilles préfabriquées
3. les résines

Le choix d'un de ces types d'étanchéité dépend des caractéristiques de l'ouvrage et des types d'actions qu'ils subissent.

Les types de chape

L'asphalte coulé

Il est actuellement souvent abandonné au profit des deux autres types d'étanchéité mais il représentait, il y a 30 ans, 99% des chapes d'étanchéité.

L'asphalte coulé d'étanchéité est exécuté en 2 couches (épaisseur totale = 15mm). La première couche doit nécessairement être surmontée d'une seconde en asphalte coulé. Il est en effet difficile d'éviter les occlusions de bulles d'air dans les mélanges coulés in situ, mais il est fort improbable (et c'est le rôle de la deuxième couche) que les défaillances de la 2^{ème} couche correspondent à celles de la première. En outre, la pose de la 2^{ème} couche ressoude partiellement les défaillances de la 1^{ère} couche. La couche inférieure est toujours, sauf cas particulier, placée en non-adhérence sur son support. Cette non-adhérence est due à la mise en place particulière de ce type d'étanchéité. En effet, lors de la pose de l'asphalte coulé, celui-ci est à une température voisine de 220-250°C, ce qui entraîne une vaporisation de l'eau contenue dans les pores du béton. Cette vapeur est évacuée via un géotextile dans des busettes de décompression. Malheureusement, c'est ce géotextile qui empêche l'adhérence de l'étanchéité sur le support. Ce défaut n'est pas un problème en soi, mais lorsque l'étanchéité est déficiente, l'eau a la possibilité de se déplacer sur toute la surface du support à travers le géotextile. Ce problème a une importance capitale dans les dégradations de tablier de ponts car s'il n'y a pas d'adhérence, la moindre perte d'étanchéité suffit pour que l'eau s'introduise sous l'étanchéité et si cette défaillance se trouve dans la partie supérieure du pont, elle sera une source d'infiltration pour l'ensemble du tablier.

Avantages :

- Facilement mis en place si le pont ne comporte aucun point singulier
- Coût relativement faible
- Peut disposer d'un agrément UBAtc-GC⁽⁶⁾

Inconvénients :

- Non-adhérence au support d'où écoulement aisé de l'eau en cas de défaut d'étanchéité et dégradation élevée et aisée du support.
- Problèmes de pose aux points singuliers (par la nature du produit qui est liquide lors de sa pose, il est difficile de bien assurer l'étanchéité des points singuliers)
- Susceptibilité thermique (l'asphalte coulé lorsqu'il chauffe sous l'effet de la température et/ou du trafic peut migrer vers la surface à travers les différentes couches qui séparent l'étanchéité du revêtement.)

⁶ Union belge des agréments techniques dans la construction-Génie civil

Applications :

- Convient pour les grandes surfaces sans points singuliers ou pour des réparations à caractère provisoire.

Les feuilles préfabriquées

Ce système d'étanchéité comprend essentiellement une couche d'accrochage au support (vernis d'adhérence) et une couche d'étanchéité proprement dite (le lé, appelé également membrane)

La couche d'étanchéité est constituée de feuilles armées dont le liant est à base de bitume modifié par des polymères. Ces derniers permettent de modifier les caractéristiques du bitume. (par exemple, ils diminuent la susceptibilité thermique)



Figure 8 : Vernis d'adhérence posé au rouleau.



Figure 9 : feuilles préfabriquées posées par soudure au chalumeau.

Avantages :

- Bonne adhérence au support
- Peut disposer d'un agrément UBAtc-GC

Inconvénients :

- Qualité du support doit être bonne (propreté, planéité, cohésion)
- Problème d'humidité (si le support est humide, lors de la pose de la contre chape, l'eau du support se transformera en vapeur et créera des cloques dans la membrane.

Applications :

- Cas courants

Les résines coulées sur place

Ce système d'étanchéité comprend essentiellement la couche d'accrochage au support (primaire d'adhérence), la couche d'étanchéité proprement dite et la couche d'accrochage à la protection.

Le mélange résineux (au moins 2,5 mm d'épaisseur) destiné à assurer l'étanchéité du support est "mixé" sur place en mélangeant la résine, le durcisseur et les charges jusqu'à l'homogénéisation complète. Outre les couches d'accrochage (au support et au revêtement), le complexe d'étanchéité est très souvent bicouche. Son épaisseur totale ne dépasse guère 3 mm. La caractéristique commune à tous les mélanges résineux est de posséder une excellente adhérence au béton.

Avantages :

- Facilité d'avoir un bon raccordement aux points singuliers
- Excellente adhérence au support
- Peut disposer d'un agrément UBAtc-GC
- Excellente qualité
- Facilité de mise en œuvre

Inconvénients :

- Coût élevé
- Faible épaisseur
- Nécessité d'avoir un support propre, plat, sec et cohésif

Applications :

- Partout mais son coût le limite à certaines zones comme :
 - o Les zones très sensibles à l'eau (avaloirs, etc.)
 - o Là où il y a de nombreuses singularités

Conclusions

Nous avons vu qu'un manque d'étanchéité, même local dans le cas de l'asphalte coulé, peut avoir de graves impacts sur la pérennité des ouvrages d'art. Pour éviter ce genre de problème, les constructeurs de ponts devraient impérativement porter un soin à :

- L'étanchéité de l'entièreté du support; pas seulement les zones sous les voies de circulation mais également les trottoirs, la berme centrale, etc.
- Au choix du type d'étanchéité en fonction de l'ouvrage qu'ils ont à bâtir. (on a vu les avantages et inconvénients de chaque type.)
- Et à l'importance d'une bonne conception et d'une bonne exécution de l'étanchéité.

Dans la plupart des cas, si les problèmes sont traités dans de brefs délais, la pérennité des ponts n'est pas remise en question, mais elle dépend souvent du choix du type d'étanchéité et de la qualité de sa mise en place. Signalons également qu'à chaque réparation de la chape d'étanchéité, les machines "arrachent" une partie de la dalle qui, évidemment, se dégrade petit à petit.

5. Recherche sur la dégradation de dalles de tablier de ponts. Etude d'une pathologie complexe

Le MET, lors de sa recherche sur ce phénomène, s'est retrouvé face à des inconnues et des incohérences par rapport à des choses connues (par exemple : ils avaient des bétons présentant de très bonnes résistances en compression $\sim 90\text{N/mm}^2$ mais des résistances en traction quasi nulles). Sur ce problème se sont greffées les complications dues à l'évolution croissante du nombre d'ouvrages atteints, le danger que la dégradation implique pour les usagers de la route (nids de poule et trous dans le tablier des ponts) et de nombreuses questions restées sans réponses.

C'est pour toutes ces raisons que le MET s'est donc joint à des spécialistes (Ulg, laboratoires, FEBELCEM, etc..) pour comprendre ce phénomène. Cette recherche comporte deux grands volets :

1. L'analyse sur site des ponts. On tente de comprendre ce qui se passe sur les ouvrages à partir des observations mais également des résultats de toute la batterie de tests que l'on fait subir aux échantillons de béton prélevés sur chaque pont.
2. Une partie simulation en laboratoire sur différents types de formulations de béton dans laquelle on recrée artificiellement les

pathologies de manière à mieux comprendre l'imbrication de ces dernières mais également leur importance relative.

Les buts définis par cette étude sont les suivants :

- Déterminer les pathologies "simples" intervenant dans la pathologie "complexe"
- Déterminer l'apport relatif de chaque pathologie "simple"
- Déterminer l'ordre d'apparition des pathologies "simples"
- Déterminer un essai de mesure de la sensibilité du béton au phénomène étudié
- Rechercher des techniques d'investigations sur site, à haut rendement et sans contact (géo-radar, infra-rouge, etc..) dont le but est de déterminer la cartographie des dégradations
- Analyser les possibilités de traitement

Plus généralement, les buts ultimes de ces recherches, de ces très nombreux essais et du temps que l'on consacre à la dégradation des dalles de tablier de ponts sont :

- connaître la maladie, c'est-à-dire pouvoir la diagnostiquer
- disposer d'un essai pour mesurer la sensibilité du béton au phénomène complexe en vue de pouvoir attribuer des priorités pour les réparations à effectuer, ces réparations pouvant aller du simple ragréage local au remplacement complet du tablier.

La recherche étant toujours en cours, beaucoup de ces objectifs ne sont pas encore réalisés.

Parallèlement à cette étude, on recherche une méthode rapide, non destructive pour établir la cartographie du phénomène apparaissant sur les ponts. Cette cartographie fournirait de précieux renseignements aux ingénieurs du MET pour déterminer le degré de criticité de certains ouvrages mais également aux entrepreneurs qui, pour établir leur devis et effectuer un travail soigné et durable, ont besoin de connaître la position mais également l'étendue des dégâts provoqués par la dégradation. Malheureusement, à l'heure actuelle, les résultats de cette recherche ne sont pas très concluants: l'appareil miracle n'est pas encore inventé.

Les ingénieurs de la D.424 ont établi un tableau récapitulatif reprenant tous les cas de dégradations de tablier de ponts découverts avant 1998. Il contient entre autres :

- La position géographique
- La structure du pont
- L'année de mise en service
- Le trafic
- La structure du tablier
- Le type de ciment, de sable et de granulats
- Les défauts (et leur localisation) observés sur le tablier et sur les carottes
- Les résultats des tests que l'on a fait subir au béton (réaction alcali-granulats, teneur en Cl-, gel/dégel, etc.)

Toutes ces informations ont été mises à profit par les ingénieurs de la D.424 pour rassembler sur une page, l'ensemble de tous les cas qu'ils avaient rencontrés mais aussi, et surtout, pour essayer de trouver des liens, des similitudes, des relations pour expliquer et détecter plus aisément cette pathologie complexe qu'est la dégradation des dalles de tablier de ponts.

Les conclusions que l'on peut tirer de l'étude du tableau sont résumées ci-dessous:

1. Le phénomène de dégradation n'est donc pas localisé dans une région bien précise mais dans l'entièreté de la Wallonie.
2. En moyenne ces ponts datent des années 1970. Ils sont donc âgés d'une trentaine d'années. Le seul critère de la vétusté n'est donc pas suffisant pour expliquer le degré de dégradation rencontrée.
3. Structure du tablier : on retrouve généralement la structure dalle-prédalle ou simplement dalle. La qualité de cette prédalle est souvent médiocre.
4. Chape d'étanchéité : on constate que de nombreuses chapes d'étanchéité sont en asphalte coulé (non adhérentes à leur support). On peut donc en conclure que ce type d'étanchéité n'est pas du tout efficace pour empêcher l'eau d'atteindre le support.
5. Ciment : On retrouve toujours du ciment Portland CEM I.
6. Rapport eau/ciment : (par lame mince) les extrêmes sont 0,35 et 0,75, avec en moyenne 0,55 sachant que la valeur généralement admissible est de l'ordre de 0,5.
7. Les granulats et les sables : on y retrouve la plupart du temps une fraction réactive susceptible d'intervenir dans le développement des réactions alcalis-granulats (porphyre, calcaires silicifiés, chert, silex).
8. Les défauts et leur localisation : on retrouve régulièrement des taches blanches ou grises-noires, des fissures, des armatures mises à nu, etc..

en face inférieure et des réparations qui ne tiennent pas, nids de poules, remontée de fines particules, etc. pour la face supérieure.

9. On a quasi toujours des valeurs supérieures à la limite avec une décroissance de la pollution vers le bas.
10. Réactions alcalis-granulats : elles sont généralisées vu les granulats et les sables réactifs constituant le béton, avec beaucoup de fissures dues au gel fortement expansif formé par la réaction.
11. Gel-dégel : les bétons sont souvent de qualité moyenne avec une sensibilité moyenne aux cycles gel-dégel.
12. Absorption d'eau (limite fixée à 6% par rapport à la masse du béton) : les valeurs ne sont que rarement inférieures à cette limite ce qui implique que plus la porosité du béton est élevée plus la quantité d'eau qui pénètre le béton est grande et donc facilite le développement de toutes les pathologies du béton.
13. Les résistances à la compression et à la traction : les valeurs sont très dispersées; on ne peut pas en tirer de conclusions générales.

6. Conclusions

La dégradation des dalles de tablier de ponts, baptisée "pourrissement des dalles de tablier de ponts" par les ingénieurs du MET, a été découverte pour la première fois en Région wallonne en 1985. La Flandre ainsi que d'autres pays sont également concernés par ce phénomène mais ces derniers n'ont pas encore donné de nom à cette pathologie complexe.

Le pourrissement des dalles de tablier de ponts reste très préoccupant pour deux grandes raisons :

1. Le danger qu'il représente pour les usagers de la route. En effet, la formation de nids de poules, la chute de plaques de béton sur les voies de circulation et surtout le percement de la dalle de tablier doivent à tout prix être évités.
2. Le nombre de cas de dégradations est toujours en augmentation (cf. pg 74)

Cette pathologie reste également très complexe car :

- Les constatations faites sur les échantillons sont parfois en contradiction avec la théorie (des éprouvettes ayant une très bonne résistance en compression présentent des résistances en traction quasi nulles!)
- Elle résulte d'un mélange de pathologies simples agissant en synergie. Le problème de ce panachage est que certaines pathologies, lorsqu'elles agissent seules, provoquent moins de dégâts que lorsqu'elles sont associées à d'autres pour altérer le béton et ses armatures.
- On ne connaît malheureusement pas l'importance relative de chacune des pathologies simples ni l'ordre dans lequel elles apparaissent. Cette connaissance permettrait d'agir plus efficacement lors du traitement des ponts malades.

On a également vu l'importance d'avoir une bonne étanchéité car celle-ci est l'élément clé permettant d'éviter le développement des pathologies, mais également de veiller à la bonne mise en place de cette dernière en section courante mais aussi aux raccordements des points singuliers et aux évacuations d'eau, c'est-à-dire aux drains, barbacanes et aux avaloirs.

Voici donc ce qu'il faut retenir de cet article :

Bon béton + Bonne Etanchéité = Durabilité

7. Bibliographie

Ouvrages

CENTRE DE RECHERCHE ROUTIERE, *Code de bonne pratique pour la conception et la construction des revêtements des ponts à tablier en béton*, publié par le centre de recherche routière, Bruxelles.

FONDS DE FORMATION PROFESSIONNELLE DE LA CONSTRUCTION ET LE GROUPEMENT BELGE DU BETON, *Technologies du béton*, Bruxelles, complément 1998.

FONDS DE FORMATION PROFESSIONNELLE DE LA CONSTRUCTION ET LE GROUPEMENT BELGE DU BETON, *Technologies du béton*, Bruxelles, 1994.

GUISSART, jean-pierre, *Calcul Organique*, Béton armé volume 2, 2000.

GUISSART, jean-pierre, *Technologie*, Béton armé volume 1, 2000.

Documentations, rapports et notes

DEMARS, ph., *Les réactions alcalis-granulats dans les ponts gérés par le MET*, Liège.

DEMARS, ph., GILLES, p., DONDONNE, e., DEGEIMBRE, r., DARIMONT, a., LORENZI, g., MERTENS, DE WILMARS, a., *Dégradation de dalles de tablier de ponts en Belgique- Etude d'une pathologie complexe*, Belgique, Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées-232, 2001.

NORME EUROPÉENNE, *Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method*, 1996.

NORME EUROPÉENNE, *Produits et systèmes de protection et de réparation de structures en béton – Méthodes d'essai – Détermination de la résistance à la carbonatation*, Bruxelles, 1998.

D.424, MET, *Les Principaux Processus d'altération des Matériaux*, notes.

D.424, MET, *Le Ciment*, notes.

D.424, MET, *Information sur la gestion des ouvrages d'art*, rapport, 2001.

D.424, MET, *Pourrissement des dalles de tablier de ponts, phase 1 de la recherche*, rapport.

D.424, MET, *Pourrissement des dalles de tablier de ponts, phase 2 de la recherche, synthèse*, rapport.

CD-ROM

Cahier des charges-type RW 99.

Sites Internet

www.calidex.com

www.met.be

www.perso.wanadoo.fr