

MARC GRUJON

PATHOLOGIE DU BÉTON

DIAGNOSTIC & THÉRAPIE



Portable : +221 77 638 48 74 **Fixe :** +221 33 823 22 92 **O.V.H. (VOIP) :** +33 (0) 9 72 25 57 03

Adresse électronique : mgrujon@gmail.com **Adresse Postale :** B.P. 50213 RP – Dakar (Sénégal)

CONTRIBUTION À LA COMPRÉHENSION DE LA DÉGRADATION DU BÉTON ARMÉ AU SÉNÉGAL



Photo prise le 7 février 2010 de la sous-face d'un dalot situé sur la RN1 à la sortie de Kaolack.

L'ouvrage a été construit en 1993.

1^{RE} VERSION – NOVEMBRE 1993

DERNIÈRE MISE À JOUR – MARS 2010

Copyright © Marc Grujon 1993 – 2010

Ce document peut être librement reproduit en tout ou partie à condition qu'il soit fait mention de son origine.

PRÉAMBULE

La première version de cette étude avait été réalisée en novembre 1993 à la demande de M. Pierre Pasino – Directeur Technique des Grands Moulins de Dakar – pour lui proposer une explication à l’aspect variable des dégradations subies par divers bâtiments (construits à des époques différentes) dont il avait la responsabilité.

Nous l’avons complétée par la suite à la demande de M. Jean-Didier Javet – Vice-Consul de l’Ambassade de Suisse à Dakar – pour les mêmes raisons. Il voulait une explication aux dégradations subies par les éléments en béton armé du bâtiment de la Chancellerie. Nous avons été amenés à réhabiliter l’ensemble de l’ouvrage en novembre – décembre 1995.

En janvier 2006 nous avons constaté la généralisation de l’utilisation d’agrégats de calcaire pour la réalisation d’ouvrages en béton armé et l’apparition sur le marché d’aciers de ferrailage dont la qualité serait sujette à caution puisque certains sont refusés par les Bureaux de Contrôle.

Comme nous le verrons, l’utilisation d’agrégats de calcaire pose le problème d’une résistance réduite à la carbonatation des bétons, cause principale de la dégradation de ces derniers par ses conséquences directes sur l’oxydation des armatures.

Notre réflexion est basée sur trente ans d’expérience dans le domaine de la réhabilitation des ouvrages en béton armé – au Sénégal et dans la Sous Région.

Nous voudrions que ce texte soit considéré comme une étude préliminaire que nous développerons ultérieurement dans le but de servir la communauté – gestionnaires de patrimoine, bâtisseurs et prescripteurs.

HISTORIQUE

Le béton armé a été introduit au Sénégal vers 1930, en remplacement des matériaux traditionnellement utilisés auparavant : maçonnerie pour les constructions courantes, charpente métallique à remplissage de briques et parements céramique pour les constructions d’intérêt public (gares et certains bâtiments comme le marché Kermel à Dakar).

Le béton armé fut également utilisé pour les nouveaux ouvrages d’art dont l’un des chefs-d’œuvre au Sénégal reste le Pont Noiro à Kaolack (211 m de franchissement sur 11 travées, construit en 1932).

À partir de 1945, le béton armé s’impose définitivement comme matériau traditionnel pour réaliser la structure des constructions courantes.

La conception et la construction des ouvrages en béton armé nécessitent le respect de règles strictes, une main-d’œuvre expérimentée et une surveillance attentive. En bref, une grande rigueur.

Notre propos est d’essayer d’expliquer pourquoi les dégradations apparaissent beaucoup plus rapidement sur les ouvrages en béton armé de moins de quinze ans alors que de nombreux ouvrages anciens présentent souvent un bon état de conservation.

CAUSES DE LA DÉGRADATION DU BÉTON

Bien que ces causes soient multiples, nous limiterons notre étude à la corrosion des armatures, phénomène préalable désastreux puisque **la formation de rouille expansive fait passer le volume du métal oxydé de 1 à 7 et provoque l’éclatement du béton.**

LA CORROSION DES ARMATURES

Corrosion par disparition progressive de la passivation des aciers

Ce type de corrosion est directement induit par la qualité du béton lui-même, à laquelle viennent s’ajouter des causes extérieures.

Protection naturelle des aciers par le ciment : la passivation

Lors de l’utilisation de ciment Portland – le ciment « CEM II/A 32,5 » produit au Sénégal en est un – les éléments basiques qu’il contient (soude, potasse) entrent en solution dans l’eau de gâchage. De même, les silicates émettent de la chaux libre en s’hydratant et le pH du liant est franchement basique (de 12 à 13).

Par la suite, le pH se maintient à cette valeur en raison de l’émission progressive de chaux par les silicates.

La chaux est responsable de la formation d’un ferrite $Fe_2 O_3 CaO$ qui se combine à la surface du métal : l’armature est alors passivée par une pellicule protectrice et le restera tant que l’acier sera entouré de cette gangue basique.

Disparition de la protection naturelle des armatures

Plusieurs agents peuvent s’attaquer à cette protection naturelle et favoriser la corrosion des aciers :

- Le gaz carbonique
- L’oxygène
- L’eau de mer

Action du gaz carbonique : la carbonatation

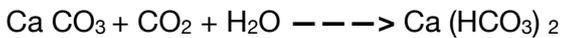
L’air contient 0,03 % de gaz carbonique, cette teneur pouvant varier pour atteindre 0,10 %.

La chaux libérée par l’hydratation des silicates peut se carbonater suivant la réaction :



Cette réaction, catalysée par l’humidité atmosphérique, progresse de l’extérieur vers l’intérieur et provoque la neutralisation progressive de l’alcalinité du liant : le milieu basique (pH = 12 – 13) perd cette alcalinité, son pH devient inférieur à 9 et la protection naturelle des armatures n’est plus assurée.

Par ailleurs, l’eau chargée de gaz carbonique donne naissance à un acide faible (H₂CO₃ : acide carbonique) qui attaque la chaux et le carbonate de chaux suivant les réactions :



Le bicarbonate de chaux ainsi formé est soluble dans l’eau et la destruction du béton a lieu par délavage progressif du liant.

• Vitesse de carbonatation

Pour un béton conservé en atmosphère ordinaire à 65 % d’humidité relative, la progression constatée est la suivante, en millimètres de profondeur sur lesquels la protection naturelle est annulée :

- 1 an 5 mm
- 4 ans 10 mm
- 25 ans 25 mm



ÉVOLUTION DE LA CARBONATATION

On comprend dès lors pourquoi on fixe habituellement la limite minimale d’enrobage des aciers à 30 mm ou même 40 mm sur certains ouvrages particulièrement exposés.

• Facteurs influant sur la carbonatation

- **Nature du ciment** : plus le ciment renferme de chaux, plus la carbonatation est lente.
- **Dosage en ciment** : plus le dosage en ciment est élevé, plus la carbonatation est lente.
- **Dosage en eau** : Si la quantité d’eau de gâchage est trop élevée, l’excédent d’eau s’évapore très rapidement et laisse à sa place des vides, porosités et capillaires qui seront autant de voies de pénétration pour le gaz carbonique, les eaux de ruissellement et l’humidité en général.

La conséquence en est évidemment une carbonatation beaucoup plus rapide.

- **Qualité des agrégats** : au contraire du basalte compact et étanche en lui-même, les agrégats de calcaire utilisés à Dakar après 1972 (année de l’interdiction d’exploitation des carrières de basalte de la Région du Cap-Vert) sont souvent poreux.

De ce fait, ils accélèrent le phénomène de carbonatation en se laissant traverser par le gaz carbonique et l’humidité.

Action de l’oxygène

L’oxygène intervient une fois réalisé le décapage du film de chaux passivant.

Il se forme alors un hydroxyde ferreux, puis ferrique Fe₂O₃ (la rouille).

C’est alors que les armatures augmentent de volume. La pression générée provoque la fissuration puis l’éclatement des bétons.

Action de l’eau de mer

Le mécanisme d’action de l’eau de mer et des embruns marins sur le ciment est très complexe.

Nous dirons seulement que contrairement à une opinion très répandue, ce n’est pas le Chlorure de Sodium NaCl qui est le plus dangereux, mais bien le Sulfate de Magnésium MgSO₄ car il réagit avec la chaux pour donner du gypse, gonflant et soluble dans l’eau.



Corrosion électrolytique

De découverte relativement récente, l'existence d'un phénomène électrolytique a permis d'expliquer certains sectionnements d'armatures dans la masse des bétons.

La destruction des armatures intervient en un ou plusieurs points de la hauteur d'un poteau et toujours au même niveau sur une série de poteaux identiques.

En fait, c'est au même niveau de potentiel électrique que la destruction se manifeste, ce qui explique la régularité du phénomène sur une série d'éléments situés dans une même zone.

Ce type de corrosion est d'autant plus dangereux que l'aspect extérieur des ouvrages ne laisse souvent rien soupçonner puisqu'il n'y a pas création de rouille expansive.

Nous avons constaté ce phénomène pour la première fois au Sénégal lors des travaux de réhabilitation des 93 poteaux de l'hôtel « Lagon 2 » en 1986 (il avait moins de dix ans) dont le radier général et les poteaux sont implantés dans la zone de marnage en eau de mer.

QUE FAIRE ?

Si l'on admet le principe de la protection naturelle des aciers par le pH du liant et la disparition de cette protection par le phénomène de carbonatation progressive, on peut répondre rapidement à cette question de la manière suivante :

- *Le respect du dosage en ciment est important puisqu'il s'agit bien du seul élément intervenant dans le pH élevé du béton.*
- *Un Rapport Eau/Ciment maintenu au plus bas lors du gâchage est essentiel pour éviter l'apparition de capillaires.*
- *C'est pourquoi l'utilisation d'adjuvants Plastifiants/Réducteurs d'eau lors de la fabrication des bétons révèle un souci de qualité.*
- *L'utilisation de sable de Cambérène (ou de toute autre plage) **extrait dans la zone de marnage** est totalement à proscrire pour fabriquer des bétons du fait de l'eau de mer qu'il contient, souvent en grande quantité. Une condition serait de le laver à l'eau douce avant utilisation dans la fabrication de béton. Cette condition fait d'ailleurs partie des cahiers des charges mais n'est pratiquement jamais respectée.*

*On lui préférera un sable de dunes éolien tout en vérifiant soigneusement sa granulométrie qui ne doit pas descendre en dessous d'un certain seuil. On s'assurera de sa propreté par la mesure de **son Équivalent Sable qui ne devra jamais descendre en dessous de 75 %** si l'on veut obtenir un béton de qualité.*

- *Nous sommes dans le vrai lorsque nous affirmons dans toutes nos études sur la réhabilitation d'ouvrages en béton armé que le meilleur passivant des armatures est le ciment lui-même.*

*Nous l'appliquons sous forme d'une barbotine épaisse naturellement surdosée et améliorée par l'adjonction de résine miscible de type Styrène Butadiène (**LANKOLATEX** ou similaire) qui garantit une bonne adhérence et améliore l'étanchéité au gaz carbonique, à l'eau et à la vapeur d'eau à proximité directe des armatures et conserve donc un pH élevé au liant en contact direct avec celles-ci.*

- *Le respect des règles de l'art en matière d'enrobage des armatures est essentiel à la tenue dans le temps des ouvrages.*

On s'attachera en particulier à veiller au bon positionnement des armatures dans les coffrages et on prendra les mesures nécessaires pour éviter leur déplacement au moment de la coulée du béton par la mise en place de cales normalisées.

De tout ce que nous venons d'exposer, on peut affirmer que l'utilisation d'agrégats calcaires (souvent poreux) pour la réalisation de béton armé de structures exposées aux intempéries devrait être absolument proscrite.

L'argument qui nous est souvent opposé est que l'on obtient de très bonnes résistances à la compression sur des éprouvettes réalisées en béton de calcaire.

C'est habituellement vrai pour des bétons courants dosés à 350 kg/m³ dont on attend une résistance à la compression égale ou inférieure à 30 MPa.

La raison essentielle est à trouver dans le « coefficient de forme » des agrégats de calcaire concassé, en général bien meilleur que celui du basalte. La cristallisation naturelle et la dureté du basalte donnent au concassage des agrégats aux facettes très anguleuses, très éloignées de l'idéal que constituent les graviers roulés de rivière que l'on peut trouver dans le lit du fleuve Sénégal, par exemple.

Mais en termes de pérennité des ouvrages, la résistance à la compression n'est pas le seul critère à prendre en compte !

On doit nécessairement penser à la résistance du béton à la carbonatation. Cette résistance à la carbonatation est seule garante de la protection des armatures au fil du temps.

QUALITÉ DES ACIERS D'ARMATURE

Nous voudrions faire une remarque qui touche aux caractéristiques des aciers d'armatures utilisés.

De récents travaux de réhabilitation sur un ouvrage qui date de 50 ans (il s'agit du bâtiment principal des Grands Moulins de Dakar) nous ont montré que l'acier doux utilisé à l'époque de sa construction résistait beaucoup mieux à la corrosion que les aciers « HA Tor » utilisés par la suite.

Du fait d'un manque d'enrobage au moment du coulage, certains de ces aciers ronds et lisses sont restés exposés aux embruns marins pendant 50 ans. Nous avons pu les traiter par un simple sablage, sans perte significative de leurs caractéristiques dimensionnelles.

Ce n'est jamais le cas des armatures en acier « HA Tor » dont certaines sont parfois **entièrement détruites** par l'oxydation **moins de 10 ans après la construction !**

En fait, les premières fissures apparaissent désormais dès la cinquième année !

Pourtant, une récente mission à Limbé (Cameroun) nous a permis de constater que les armatures d'un projet abandonné depuis dix ans étaient toujours intactes malgré des conditions climatiques extrêmes de température et d'hygrométrie.

Quelle est la provenance des aciers utilisés au Sénégal ?

LES LIMITES DE LA RÉHABILITATION D'OUVRAGES

Nous voudrions attirer l'attention du lecteur sur le fait que même si notre expertise dans le domaine de la « Réhabilitation d'ouvrages en béton armé » nous permet d'intervenir efficacement sur les ouvrages anciens, il nous est désormais difficile d'établir un Mode Opératoire de réparation sur certains ouvrages relativement récents, tant le diagnostic est désastreux.

En 2006, nous avons réalisé les travaux de réhabilitation et reconfortement du sous-sol de l'immeuble AMSA situé rue Victor-Hugo à Dakar (qui avait moins de quinze ans). Ces travaux ont été une réussite mais ont montré la limite du possible...

À la même époque, nous avons été consultés pour des travaux identiques sur un immeuble R + 5 de près de 2.000 m² au sol, situé avenue Bourguiba et âgé d'une douzaine d'années.

Notre étude des lieux nous a montré qu'il était pratiquement impossible de satisfaire le client tant la qualité de construction était douteuse.

D'autres s'y sont essayés mais ont pris la fuite au premier effondrement de balcon !

Cet immeuble n'existe plus désormais puisque le maître d'ouvrage a fini par décider de le démolir, purement et simplement. Le propriétaire a ainsi perdu un investissement de plusieurs centaines de millions, avec la perspective d'avoir à dépenser plus d'un milliard aujourd'hui pour le reconstruire !

Que penser devant le spectacle désolant d'un tas de gravats, seul témoin visible de l'existence passée d'un immeuble de cinq étages ?

EN GUISE DE CONCLUSION

J'ai le souvenir d'une déclaration fracassante de l'Architecte — Ingénieur — Entrepreneur Pierre Goudiaby Atépa dans une interview donnée à R.F.I. puis reprise dans la presse écrite sénégalaise (ce devait être en 1994) :

« Le problème au Sénégal, c'est que n'importe qui construit n'importe quoi, n'importe où, n'importe comment. »

Pourtant, au Sénégal la réglementation existe. Les compétences persistent en termes d'architectes, de B.E.T., de Bureaux de contrôle et d'entreprises.

Ne manque que la rigueur nécessaire à la bonne exécution des travaux.

La négligence et le laisser-aller seraient-ils une fatalité ?

Puisse ces quelques pages inciter les intervenants du BTP à plus de rigueur dans les constructions futures, en toute connaissance de cause !

Marc Grujon – Dakar, mars 2010.