

AMÉNAGEMENT DES ACCÈS DÉFINITIFS
DU PONT FLAUBERT EN RIVE GAUCHE DE LA SEINE



Pièce E - Annexe 10
Avis technique sur l'agressivité des milieux vis-à-vis des bétons



10.

Annexe 10

Avis technique sur l'agressivité
des milieux vis-à-vis des bétons





Raccordement définitif du pont Flaubert à Rouen

Avis technique sur l'agressivité des milieux vis-à-vis des bétons

16 avril 2015

Note rédigée par un groupe d'experts constitué de :
Stéfan COLOMBANO, Philippe BLANC (BRGM)
François JACQUEMOT (CERIB)
Loïc DIVET (IFSTTAR)

I. Eléments de contexte

Le projet de raccordement définitif du pont Flaubert en rive gauche de la Seine à Rouen prévoit la construction de trois ouvrages d'art reliant le pont levant Flaubert à la voie rapide Sud III. Ce projet repose sur des friches industrielles (ancienne usine de fabrication d'engrais azotés et phosphatés) fortement polluées. Ainsi, la DREAL de Haute Normandie est à l'initiative de la constitution d'un groupe d'experts dont la mission est d'évaluer l'agressivité des sols pollués vis-à-vis du béton et de proposer des solutions (formulation du béton, protection du béton) afin que les ouvrages puissent résister aux agents agressifs identifiés.

II. Exploitation des données d'entrée

Les rapports d'étude et d'analyses du sol établis par le CEREMA Nord Picardie et la société RETIA ont permis d'identifier les agents chimiques potentiellement agressifs pour le béton grâce à des sondages en plusieurs points au niveau du tracé des futurs ouvrages d'art. Il s'agit des sulfates (SO_4^{2-}), des phosphates (PO_4^{3-}), du CO_2 agressif, du pH et des ions ammonium (NH_4^+).

Selon la norme NF EN 206/CN, les actions dues à l'environnement sur le béton sont réparties par classes d'exposition. En plus des dispositions exposées ci-après, nous recommandons une classe XA3 pour les bétons susceptibles d'entrer en contact avec le sol sur l'ensemble du tracé des ouvrages d'art.

NB : On notera que, postérieurement aux études et analyses du sol réalisées dont les résultats sont les seuls exploitables par le groupe d'experts au moment de la rédaction du présent document, certains travaux de dépollution du terrain sont en cours. A l'issue de ces travaux, il conviendra donc de vérifier les niveaux de pollution réels et le cas échéant d'adapter les recommandations qui suivent en conséquence.

III. Recommandations en matière formulation et protection des bétons

Les sols sont riches en sulfates. Il s'agit d'un agent chimique agressif pour le béton susceptible de le dégrader à long terme si des dispositions particulières ne sont pas prises. Pour garantir la pérennité des structures, il est indispensable de prévoir dans la formulation des bétons des ciments résistant à ce type d'agression. Pour cela, les dispositions normatives européennes et françaises permettent d'aider dans le choix des ciments. Compte tenu des teneurs en sulfates contenues dans le sol, nous recommandons l'emploi d'un ciment de laitier de haut fourneau de type CEM III/B (voire CEM III/C) ou d'un ciment composé de type CEM V. La compacité du béton est toujours un facteur essentiel de durabilité. Plus le béton est compact, plus la diffusion des agents agressifs au sein du béton sera limitée. Cette compacité est liée

principalement au rapport Eau/Ciment (E/C) de la formule de béton retenue. Compte tenu de la teneur en sulfates présente dans le sol, les normes tolèrent un rapport E/C maximal de 0,45. Etant donné la durée de vie escomptée, nous recommandons de ne pas dépasser un rapport E/C de 0,40.

Le sol comporte également des teneurs en phosphates très élevées qui sont susceptibles de perturber la mise en œuvre des bétons. En effet, il existe des réactions chimiques entre les phosphates et certains composés du ciment qui risquent de conduire à un retard, voire à un défaut de prise du ciment. Pour éviter ces phénomènes, nous préconisons de prévoir un bétonnage à sec de sorte que les phosphates contenus dans l'eau du sol ne seront pas en contact avec le ciment.

Les agents chimiques les plus critiques rencontrés dans certaines zones du futur tracé de raccordement au pont Flaubert sont les fortes teneurs en nitrate d'ammonium au-delà des seuils admissibles dans les normes européennes et françaises. Pour information, ces agents chimiques rentrent dans la formulation des engrais ce qui explique leur présence sur ce site. Peu de retours d'expérience exploitables existent sur l'attaque du béton par le nitrate d'ammonium. Cependant, si aucune disposition particulière n'est prise, le matériau béton se dégradera, plus ou moins rapidement, selon un mécanisme de dissolution et de « pourrissement ». Il est donc indispensable de prévoir une protection externe car il n'est pas connu à ce jour de béton résistant à ce type d'environnement.

Le système de protection le plus efficace et adapté à ces ouvrages est l'utilisation d'une géomembrane en polyéthylène haute densité (PEHD - épaisseur 2 mm) pour la fonction d'étanchéité associée à un géotextile en polypropylène pour la fonction de protection de la géomembrane. La géomembrane devra être constituée d'environ 96 % de polyéthylène, 1 % d'antioxydant et 3 % de noir de carbone afin de limiter les phénomènes de dégradation par thermo et photo-oxydation. Ce dispositif pourrait être complété, par souci de sécurité, par du GSB (géomembrane bentonitique) présentant une bonne Capacité d'Echange Cationique particulièrement efficace pour les problématiques de nitrate d'ammonium.

IV. Solutions techniques pour les fondations

Aussi, deux types de fondations de piliers béton ont été envisagées par le Maître d'Ouvrage : des fondations semi-profondes permettant d'excaver les sols et de mettre en place des géomembranes (piliers Nord) et des fondations profondes afin de garantir la stabilité mécanique de la voie ferrée (pilier Sud).

La solution des fondations semi-profondes est sécuritaire car elle permet d'éviter le contact entre les sols et le béton. Pour ce faire, des fosses seront creusées pour installer les géomembranes et couler le béton. Cela nécessite l'excavation de volumes importants de terres qu'il conviendra de stocker sur place avant traitement et réutilisation sur site (ou élimination hors site en centres agréés). Les eaux de pompage des eaux souterraines dans ces fosses devront être traitées avant rejet ; les solutions de traitement retenues devront démontrer leur capacité à abattre les niveaux de rejets en particulier en ce qui concerne l'ammonium, les nitrates, voire certains métaux/métalloïdes (Al, As, Zn). En première approche, des installations de

type stripping et résine échangeuse d'ions seraient à prévoir (dépendamment des normes de rejets).

Par contre, pour les constructions situées au plus près de la voie ferrée (Piliers P1 et culées C0 ?), afin de garantir la stabilité mécanique de la voie ferrée, le principe retenu reste celui des fondations profondes, implantés jusqu'à 20 m de profondeur. Cette zone est proche du piézomètre PZ5 pour lequel les analyses ont mis en évidence des concentrations en CO₂ agressif correspondant à la classe d'exposition XA3. L'utilisation d'un ciment de type CEM III/B ou CEM III/C ou CEM V est alors indispensable dans la formulation des bétons. Par ailleurs, une épaisseur minimale de 50 mm de recouvrement des aciers est nécessaire, permettant ainsi d'obtenir dans un but préventif une épaisseur de béton sacrificielle.

Par ailleurs, on notera le manque d'analyses dans la zone située en dehors mais à proximité de la friche industrielle (piliers P2 et culées C3).