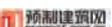


REPRINT | TECHNOLOGIE DU BÉTON
Double approche pour la protection du
béton dans des environnements plus rudes



REPRINT
PBI 05/18



-  Abcic
-  ABTC
-  aci
American Concrete Institute
-  American
Concrete Pipe
Association
-  bim
-  British Precast
Member
-  concrete nz
LEARNED SOCIETY
-  ICT
-  icpi
-  OPHA
INTERNATIONAL PRECAST
CONCRETE ASSOCIATION
-  CSI
-  NATIONAL PRECAST
-  NPCA
National Precast Concrete Association
-  PCI
-  中国混凝土与水泥制品协会
precast.com.cn

Double approche pour la protection du béton dans des environnements plus rudes

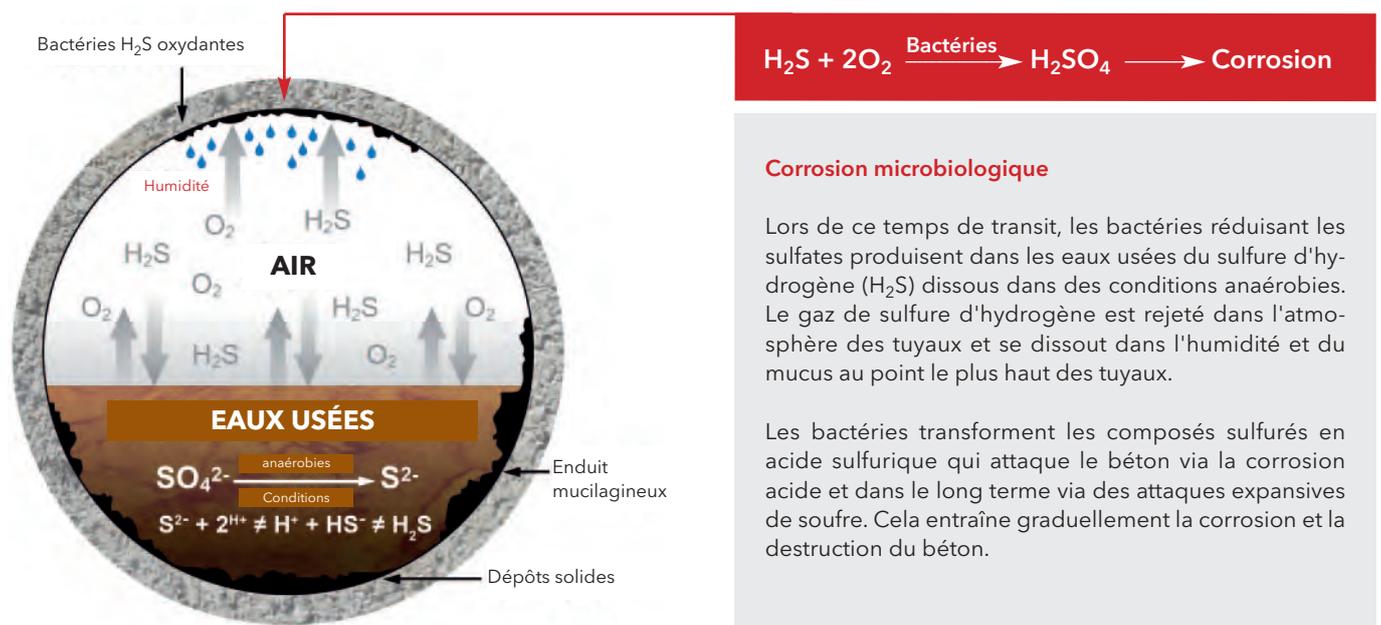
■ Dave Ross, directeur du service technique de Xypex, Canada

Les micro-organismes produisant des acides sont en train de dévorer à vitesse alarmante une des infrastructures les plus importantes au monde - nos réseaux d'égouts. Également connu sous le nom de corrosion microbiologique (de l'anglais Microbial Induced Corrosion - MIC), ce phénomène complexe génère de l'acide sulfurique biogène qui peut réduire constamment le pH à la surface des composants en béton des réseaux d'égouts, cela jusqu'à des niveaux faibles et nuisibles qui entraînent la dégradation rapide et la défaillance de ces ouvrages.

Dans le monde entier, de nombreux réseaux de collecte et de traitement des eaux usées doivent être réparés ou remplacés car ils ont perdu leur stabilité structurelle à cause de la MIC (fig. 1) et d'autres formes d'attaques physiques et chimiques. La rupture des infrastructures d'égouts permet une infiltration accrue des eaux pluviales et souterraines, ainsi que la pénétration des eaux usées dans l'environnement le long des systèmes d'écoulement endommagés et via les déversoirs des installations de traitement.

Dans son enquête de 2016 relative à la nécessité de surfaces propres de captage des eaux (Clean Watersheds Needs Survey), l'agence américaine de la protection de l'environnement (U.S. Environment Protection Agency) constate que sur les 271 milliards de dollars (env. 235 milliards €) prévus pour les 20 années à venir pour réparer les dégâts aux installations publiques de traitement des eaux usées aux USA, plus de 51 milliards de dollars (env. 44 milliards €) sont requis pour les réparations sur les conduites (c.-à-d. catégorie III).

Selon le rapport, « les besoins accrus en mesures de réparation de la catégorie III montrent que les collectivités planifient davantage afin de garantir la stabilité structurelle de l'infrastructure des réseaux de conduites actuels, de corriger les problèmes d'infiltration et de pénétration et d'éliminer les problèmes liés au débordement des canalisations d'égout. » Sur les 51 milliards de \$ (env. 44 milliards €) requis pour les réparations, plus de 42 milliards \$ (env. 36 milliards €) sont consacrés à des projets de renforcement et/ou reconstruction des réseaux existants d'égouts sanitaires ou mixtes, les 9 mil-



Corrosion microbiologique

Lors de ce temps de transit, les bactéries réduisant les sulfates produisent dans les eaux usées du sulfure d'hydrogène (H₂S) dissous dans des conditions anaérobies. Le gaz de sulfure d'hydrogène est rejeté dans l'atmosphère des tuyaux et se dissout dans l'humidité et du mucus au point le plus haut des tuyaux.

Les bactéries transforment les composés sulfurés en acide sulfurique qui attaque le béton via la corrosion acide et dans le long terme via des attaques expansives de soufre. Cela entraîne graduellement la corrosion et la destruction du béton.

Fig. 1 : la corrosion microbiologique (MIC) est un processus biochimique complexe qui génère des conditions fortement acides pouvant dégrader rapidement le béton et l'acier.

liards \$ (env. 8 milliards €) restants étant consacrés à la correction des problèmes d'infiltration et d'écoulement, y compris les projets liés au contrôle de l'infiltration d'eau dans les tuyaux d'égouts sanitaires ou les tuyaux d'égouts mixtes (eaux souterraines, tuyaux d'égout, égouts pluviaux et autres sources indésirables).

Selon d'autres rapports, les entreprises ouest-européennes de distribution d'eau et de traitement des eaux usées (lesquelles fournissent de l'eau potable à quelque 390 millions de personnes dans 17 pays et traitent les eaux usées de celle population) vont investir dans les 5 prochaines années presque 90 milliards € (env. 103 milliards \$) dans l'assainissement des réseaux de distribution d'eau et de traitement des eaux usées. Vu l'ampleur de ces travaux de remplacement et de réparation à venir, les propriétaires et responsables d'infrastructures sont confrontés au défi d'empêcher toute nouvelle dégradation de ces infrastructures et de les protéger contre la MIC par le biais de méthodes modernes de construction.

Les mesures de prévention usuelles assurant la protection des infrastructures d'égouts - tuyaux en béton armé, puits, stations de relevage en béton coulé sur place, dispositifs de dérivation et autres ouvrages - sont par exemple :

- Revêtements et enduits résistant à la corrosion, par ex. revêtements en PVC et HDPE et enduits à base de résine époxy et de ciment
- Tuyaux en PVC en remplacement de petits tuyaux en béton
- Mélanges de béton durables pour réduire la perméabilité et augmenter la résistance aux attaques chimiques
- Traitement des eaux usées et additifs chimiques pour réduire la teneur en hydrogène sulfuré (par ex. injection d'oxygène / air ou ajout de produits chimiques comme le peroxyde d'hydrogène, le chlore, le permanganate de potassium, le nitrate de calcium, la soude caustique ou l'hydroxyde de magnésium)
- Additifs antimicrobiens - peuvent être ajoutés au béton lors du malaxage ou appliqués ultérieurement

S'il existe de nombreuses approches pour assurer la protection contre la MIC, chacune s'accompagne de restrictions dont les propriétaires et développeurs doivent tenir compte. Ainsi, si les revêtements et enduits donnent une protection visible contre les attaques acides et de sulfate, ces options s'avèrent coûteuses en temps et en argent pour leur pose dans des ouvrages existants. Si en outre cette pose n'est pas correctement effectuée, cela entraîne souvent une défaillance.

Les revêtements en plastique peuvent également être très sensibles en ce qui concerne la qualité des assemblages soudés in situ. Les revêtements et les enduits risquent de se détacher de la surface à cause de la pression hydrostatique. Les enduits doivent être soigneusement mis en place afin d'exclure la formation de pores, ce qui relève du défi pour des tuyaux en béton drycast. Les tuyaux en PVC présentent de nombreux avantages mais ne peuvent être utilisés que pour des plus petits diamètres. Les additifs dans les eaux usées peu-

vent être chers et leur injection continue est plus complexe. Dans des installations existantes, il y a encore moins de solutions pour réparer les dommages dus à la MIC :

- Mortiers de réparation suivis d'un revêtement de résine époxy résistant à la corrosion
- Mortiers de réparation résistant à la corrosion
- Systèmes de gainage de canalisations - y compris les différentes techniques de réparation et renouvellement des tuyaux
- Mortiers de réparation avec additifs antimicrobiens
- Additifs chimiques dans les eaux usées - suite à une réparation

Une des difficultés majeures de ces stratégies réside dans les conditions de travail potentiellement pénibles dans des canalisations existantes. Celles-ci nécessitent une préparation soignée des surfaces et un séchage complet avant l'application des matériaux sensibles à l'humidité, par ex. la résine époxy.

Béton plus durable

Il existe différentes méthodes pour augmenter la résistance du béton aux acides et autres attaques chimiques. La diffusion ou la pénétration de substances agressives dans le béton via des pores et fissures capillaires interconnectées peuvent entraîner la dégradation et la destruction des ouvrages. Selon la nature des substances s'infiltrant, elles attaquent le béton ou l'armature. L'obturation des pores et la réparation des fissures peuvent réduire les transferts massiques au sein du béton et du coup augmenter la durabilité de l'ouvrage.

Les méthodes traditionnelles pour augmenter la durabilité du béton sont la diminution de la valeur eau-ciment et la prolongation du temps de durcissement. Une autre méthode pour améliorer la durabilité du béton et d'autres facteurs est la substitution partielle du ciment de Portland par des liants minéraux comme par ex. la cendre volante, le laitier granulé de haut-fourneau moulu (GGH) et la fumée de silice.

Il a été démontré que l'ajout de ces matériaux augmente la durabilité des ouvrages en béton. Il faut toutefois connaître l'origine des ajouts cimentaires car leur qualité et leurs performances peuvent varier fortement, surtout pour la cendre volante.

Étanchéité cristalline

Une autre méthode éprouvée pour augmenter la durabilité des ouvrages en béton est l'étanchéité cristalline. Celle-ci est disponible sous forme d'adjuvants ou d'enduits cimentaires. En remplissant et bouchant les pores, les capillaires et les microfissures avec une formation non soluble, résistante et cristalline, on réduit la perméabilité du béton et on augmente sa durabilité. La plupart des substances pouvant causer des dommages empruntent ces voies pour s'infiltrer dans le béton. Cette forme d'étanchéité réagit avec les sous-produits de l'hydratation du ciment et bouche les pores, les capillaires et les microfissures (fig. 2 et 3). L'infiltration et la diffusion de liquides et de gaz est ainsi réduite dans une large mesure, ce qui protège le béton contre les attaques par des acides, des sulfates et du chlorure.

Innovation antimicrobienne

Depuis 1970, la société Xypex Chemical Corporation de Vancouver au Canada fabrique des produits d'étanchéité cristalline et de protection et les distribue dans plus de 80 pays via un réseau de service. La société a récemment lancé sur le marché un nouveau produit de protection double dénommé Xypex Bio-San C500, ce produit combine une étanchéité cristalline avec une substance antimicrobienne à base minérale. Ce produit tue les bactéries Thiobacillus responsables de la corrosion microbiologique.

Le Xypex Bio-San C500 est une poudre qui est ajoutée au béton lors du malaxage. L'ajout peut être manuel ou commandé par un système de dosage informatisé. Dans des centrales à béton, il peut être ajouté directement dans le malaxeur ; il peut également être ajouté sous forme sèche directement dans le camion-malaxeur avant l'ajout des différents matériaux de base.

Avec le Xypex Bio-San C500, les fabricants d'éléments préfabriqués et de béton prêt à l'emploi disposent d'un produit unique et simple à utiliser, compatible avec des projets ou produits qui nécessitent un haut niveau de résistance à la corrosion, d'étanchéité à l'eau et de protection antimicrobienne. Les composants antimicrobiens Bio-San sont fixés dans une matrice minérale qui fait partie intégrante du béton. Les ingrédients antimicrobiens agissent en permanence pour détruire les bactéries nocives au niveau cellulaire, cela en libérant des ions métalliques qui percent des trous dans la membrane cellulaire de la bactérie et détruisent la cellule de l'intérieur. Ces ingrédients ne peuvent pas être lavés ni s'user.

Bio-San dans un rôle majeur

Le Roaring Fork Club est un club privé exclusif de 383 acres à Basalt, ville de l'état américain du Colorado. Situé à quelque

20 minutes du domaine skiable de renommée mondiale Aspen, le club a été construit à la fin des années '90 et offre de nombreuses possibilités de loisirs comme par ex. le golf, la pêche dans la rivière Roaring Fork, du sport pour toute la famille et d'autres activités de plein air.

Les schémas d'extension actuels prévoient la construction de 13 nouveaux immeubles et d'un village pour les employés comprenant 43 unités. Le traitement des eaux usées pour cette extension est assuré par le Basalt Sanitation District, via un agrandissement du réseau d'égout gravitaire. La construction de l'extension a été confiée à Sopris Engineering LLC, une société privée régionale qui propose ses services de consultance, d'exécution des travaux et de mesurage.

Une conduite collectrice gravitaire en tuyaux PVC de 8 pouces est actuellement installée pour les nouveaux bâtiments et le village des employés, débouchant sur une station de relevage d'une hauteur de 14 pieds (env. 4,3 m) dotée de pompes submersibles et posée sous le niveau du sol. Les pompes refoulent les eaux usées vers une conduite de refoulement de 500 pieds (env. 150 m) de long, jusqu'à l'égout collecteur du Basalt Sanitation District.

L'ingénieur d'étude de Sopris Paul Rutledge souligne que le concept de sa société pour le système d'égout relatifs à l'extension du club prévoyait d'emblée l'étanchéité cristalline Xypex. « Lorsque l'on planifie une station de relevage pour une conduite d'eaux usées, une des questions-clés est de savoir comment concevoir cette station de relevage de manière qu'elle résiste aussi longtemps que possible, surtout si l'on sait qu'elle sera construite en béton coulé sur place et soumise à un environnement agressif de sulfure d'hydrogène et à un pH variable. »

Paul Rutledge ajoute que dans le passé, la société aurait probablement opté pour un revêtement en résine époxy pour

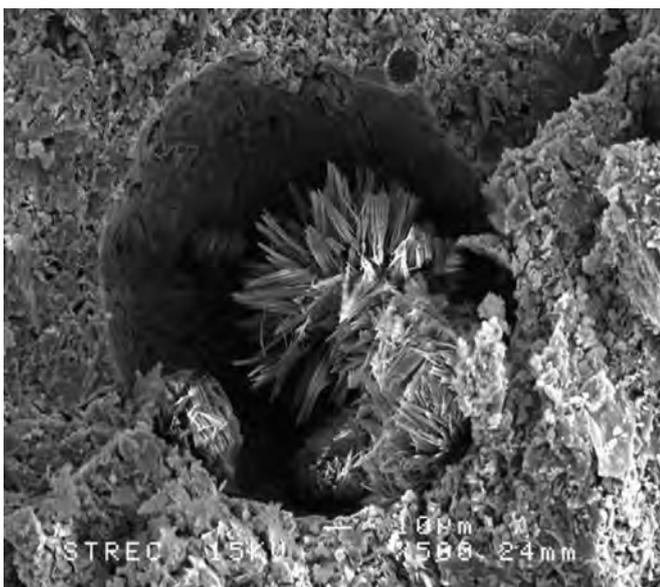


Fig. 2 : développement d'une structure cristalline au sein de pores dans la matrice de béton.

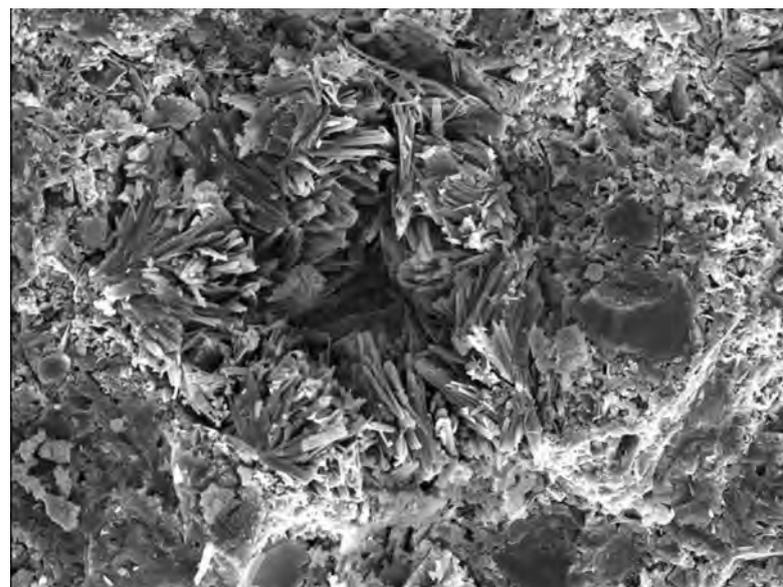


Fig. 3 : la formation cristalline remplit ici complètement le pore et empêche l'infiltration ou la fuite d'humidité et de substances diffusantes potentiellement nocives.

l'intérieur de la station de relevage. Cette option n'est toutefois actuellement plus le premier choix. « Lorsque nous ne connaissons pas encore les adjuvants pour béton de type Xypex, nous aurions prévu une résine époxy ou un autre revêtement similaire pour une station de relevage ou un puits nécessitant une protection spéciale », explique-t-il. « Avec l'étanchéité Xypex et maintenant le Bio-San antimicrobien, la protection fait d'emblée partie intégrante de l'ouvrage. Non seulement ces produits corrigent les fissures et les fuites, ils empêchent également la formation de mucilage. »

La station de relevage en béton coulé sur place (fig. 4) du club Roaring Fork présente une hauteur de 14 pieds (env. 4,3 m), une largeur de 12 pieds (env. 3,6 m) et une longueur de 14 pieds (env. 4,3 m), sa dalle de fondation a une épaisseur d'env. 45 cm (fig. 5) et son couvercle a env. 25 cm d'épaisseur (fig. 6). L'enceinte de la station de relevage présente trois passages sous le niveau du sol - un pour le tuyau d'alimentation en PVC de 8 pouces, un pour le tuyau d'écoulement de 2 pouces et un passage de 4 pouces pour les câbles de commande et d'électricité.

United Companies, un sous-traitant pour le béton prêt à l'emploi de West-Colorado a livré pour la station de relevage env.

32 m3 de béton prêt à l'emploi. United Companies a reçu le Xypex Bio-San C500 dans des seaux de 50 livres (22,7 kg) et a ajouté ce produit au béton pour le club Roaring Fork. Le Xypex Bio-San C500 a été dosé à 1% en poids de tous les liants minéraux.

« La décision en faveur du Xypex Bio-San était relativement facile puisque nous avons déjà spécifié l'ajout du produit d'étanchéité Xypex », ajoute Paul Rutledge. « Lors d'une de nos réunions de travail avec l'équipe d'étude, j'avais expliqué les avantages liés à la mise en œuvre du nouveau Xypex Bio-San. Je leur ai dit que nous avions maintenant une occasion unique d'utiliser un produit ultra moderne et ils étaient d'accord. »

Il continue : « En utilisant le Xypex Bio-San, il ne faut plus de revêtement supplémentaire ni à l'intérieur (fig. 7), ni à l'extérieur. Nous ne devons donc plus nous concerter avec un partenaire séparé pour les travaux de revêtement, il n'y a donc plus de risques de retards ni de préparatifs spéciaux. La protection fait déjà « partie intégrante » de l'ouvrage et nous épargne bien de soucis. Par exemple, il n'y a plus aucun problème lié aux vis qui traversent une surface revêtue de résine époxy. Nous pouvons donc visser les échelles à l'intérieur



Fig. 4 : la nouvelle station de relevage en béton coulé sur place fait partie du réseau d'égout pour l'extension du club exclusif Roaring Fork à Basalt dans l'état américain du Colorado. Le produit d'étanchéité cristalline et adjuvant antimicrobien Xypex Bio-San C500 a été ajouté au béton prêt à l'emploi pour la nouvelle station de relevage. On distingue à droite le tuyau d'alimentation de 8 pouces (voir petite photo) vers la station de relevage, ainsi que la conduite d'écoulement de sortie de 2 pouces.

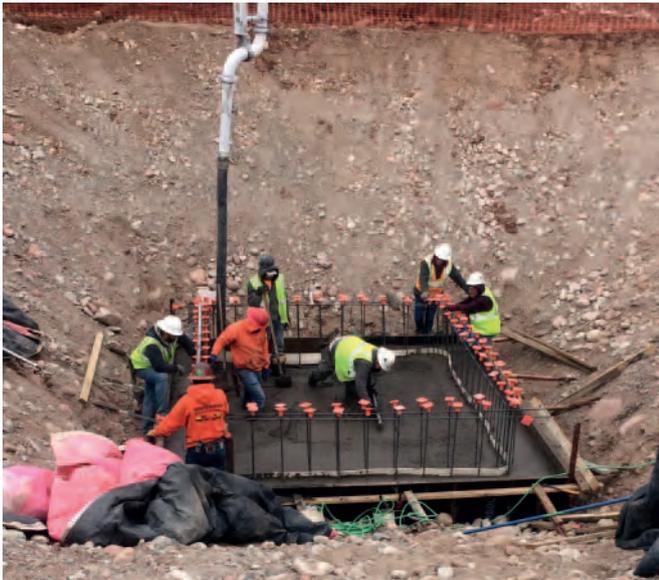


Fig. 5 : une dalle de fondation d'env. 45 cm d'épaisseur est coulée pour la nouvelle station de relevage.



Fig. 6 : un couvercle d'env. 25 cm d'épaisseur doté de trappes d'accès est réalisé en béton coulé sur place.

sans aucun souci, de même pour les câbles en fibre de verre pour les pompes et autres matériaux. »

Suite à son durcissement, la station de relevage fut soumise à un essai hydrostatique d'exfiltration (fig. 8). Les passages furent obturés, la station de relevage fut remplie d'eau jusqu'au bord puis surveillée pendant 7 jours - il n'y a eu aucune fuite d'eau... « L'essai de la station de relevage de Roaring Fork fut couronné de succès », constate Paul Rutledge. « Dès le premier essai, on n'a constaté aucune fuite d'eau, il ne fallait donc rien réparer. Cela nous a largement facilité la tâche. À partir du moment où un ouvrage est étanche, rebouche automatiquement les fissures et empêche la formation de mucilage, on peut supposer à juste titre qu'il est durable et n'exigera que peu de maintenance dans le long terme. Personne ne

s'amuse à déterrer un réseau d'égout après 10 ans à cause d'une usure prématurée, personne ne s'amuse à descendre dans un tel réseau pour poser un nouveau revêtement suite à la rupture du revêtement de surface initial. »

Réparations planifiées pour la station de relevage

La cité rurale de Lamar dans le Colorado compte quelque 8.000 habitants et est située sur les rives de la rivière Arkansas, à environ 6 heures au sud-est du club Roaring Fork. Lamar dispose d'un réseau d'égouts avec des conduites 6 - 24 pouces de 56 miles, trois stations de relevage en bordure est de la cité et une station de pompage principale qui refoule les eaux usées dans le bassin de traitement.

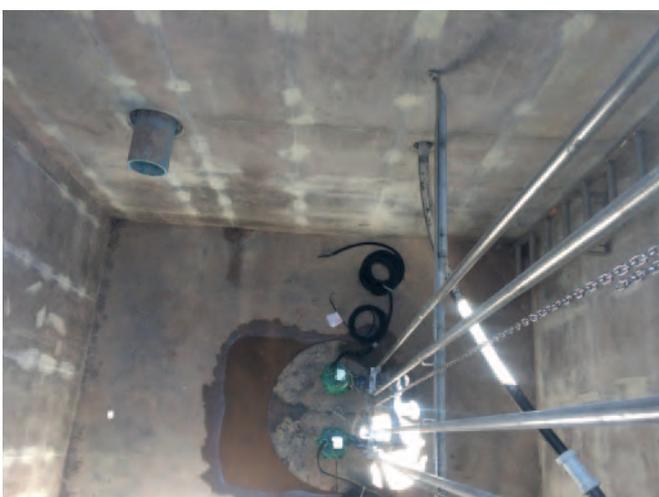


Fig. 7 : vue du dessus dans la nouvelle station de relevage en béton coulé sur place, élément-clé de l'infrastructure d'égout pour l'extension du club exclusif Roaring Fork à Basalt dans l'état américain du Colorado.



Fig. 8 : l'essai hydrostatique a réussi du premier coup.

Une nouvelle station de relevage fut construite en 2011 afin de remplacer l'ancienne station devenue désuète. Malheureusement, celle nouvelle station de relevage subit une corrosion prématurée en raison de la forte teneur des eaux usées en gaz de sulfure d'hydrogène (H₂S). La corrosion microbologique a rongé l'intérieur de la station de relevage à un point tel que l'on puisse arracher sans effort jusqu'à 5 cm de béton, surtout dans le puisard en bas de l'ouvrage.

Adam Teunissen, ingénieur et chef de projet chez JVA, Inc. - bureau d'ingénieurs à Boulder dans le Colorado - explique : « L'ouvrage n'a même pas 10 ans et il présente déjà une corrosion d'une ampleur que je n'ai jamais vue dans ma carrière professionnelle. » La cité de Lamar a mandaté JVA pour réparer le puisard de la station de relevage rongée et tenter de contrer les causes de cette corrosion - la teneur anormalement élevée en H₂S et la corrosion microbologique.

« Nous avons recommandé de réparer les surfaces endommagées au sein de la station de relevage avec du Xypex Megamix II et Bio-San. Il s'agit là d'un nouveau mortier de réparation spécial pour les cas de MIC », explique Adam Teunissen. « Nous voulions également tenter d'abaisser le niveau d'H₂S dans l'installation en injectant un agent biocide en plusieurs points de celle-ci. »

Double protection pour les réparations

Le Xypex Megamix II avec Bio-San est un nouveau mortier de réparation de surfaces qui combine la technique d'étanchéité cristalline Xypex avec des matières solides bioactives minérales Bio-San. Le Megamix II avec Bio-San résiste donc aux attaques chimiques des acides, des sulfates et du chlorure, il assure l'étanchéité, il limite la MIC et il comble les pertes sur le plan de l'épaisseur de paroi - tout cela avec un seul produit. Il est simplement appliqué au pistolet ou à la main, il se laisse lisser facilement et n'exige pas de procédures complexes comme par ex. le séchage de la surface, comme dans le cas de la plupart des revêtements.

« Nous pensons que la mise en œuvre du nouveau Megamix avec Bio-San représente la meilleure solution pour ce cas de figure », pense Adam Teunissen. « Par rapport à de la résine époxy ou un autre revêtement similaire, nous avons moins de travail pour préparer la surface. La cité avait déjà fait pose un revêtement de résine époxy dès qu'elle avait constaté pour la première fois la rapidité des dégradations. Ce revêtement n'a pas tenu longtemps. J'avais déjà utilisé du Megamix lorsque je travaillais pour une autre société. Ce produit nous avait déjà fait gagner du temps et de l'argent, avec de bons résultats. En utilisant le Megamix avec Bio-San, nous gagnons encore plus de temps et d'argent avec comme résultat une résistance accrue à la MIC, surtout en combinaison avec les agents biocides que nous injectons dans les eaux usées. Dans le cadre du programme de surveillance suite aux travaux de réparation, JVA souhaite introduire des éprouvettes de béton traité et non traité dans le puisard et contrôler ces éprouvettes à intervalles réguliers, cela afin de mesurer l'efficacité du Megamix II avec Bio-San.

Ce n'est pas la première fois que ce produit fait l'objet d'une évaluation dans un environnement à forte teneur en H₂S. Dans le cadre d'une étude indépendante sur l'effet antimicrobien du Xypex Bio-San C500, le composant actif fut dosé à 1% du poids du mortier de ciment de Portland avant d'être comparé avec des éprouvettes de contrôle non traitées. Les éprouvettes cylindriques furent suspendues pendant 10 ans dans une station d'épuration sélectionnée spécialement pour sa forte teneur en H₂S (env. 50 ppm). Les essais ont montré que les éprouvettes traitées avaient 9 fois moins de perte de masse de béton que les éprouvettes de contrôle non traitées. Même après 10 ans, la concentration des bactéries sur les éprouvettes traitées était restée minimale.

« Nous avons quelques appréhensions en raison de la teneur anormalement élevée en H₂S au sein de l'installation, celle-ci étant largement supérieure aux 50 ppm de l'essai du Bio-San », avoue Adam Teunissen. « Nous pensons toutefois qu'avec l'agent biocide, nous parviendrons à ramener cette teneur à un niveau de 50 ppm voire moins, le Xypex avec Bio-San s'occupera du reste. » ■

AUTRES INFORMATIONS



Xypex Chemical Corporation
13731 Mayfield Place, V6V 2G9, Richmond BC, Canada
T +1 604 273 5265
enquiry@xypex.com, www.xypex.com

Technologie Cristalline Antimicrobienne

pour une protection maximale du béton dans des conditions sévères de traitement des eaux usées

**NO
EQUAL**



Les images au microscope électronique sont la propriété et le copyright de Xypex Chemical Corporation.



Béton
(non traité)



Cristallisation Xypex
(début)



Cristallisation Xypex
(achevée)

Xypex Bio-San C500 est un adjuvant spécialement conçu pour la protection intégrale et à long terme du béton dans des conditions sévères de traitement des eaux usées, avec des niveaux élevés de H_2S provoquant la corrosion microbienne. Bio-San C500 associe une puissante protection antimicrobienne à la technologie cristalline unique de la série C de Xypex Admix. Bio-San C500 empêche toute corrosion microbienne, stoppe l'infiltration/l'exfiltration de l'eau et offre une résistance aux acides et aux sulfates, tout en prolongeant considérablement la durée d'utilisation des systèmes de collecte des eaux usées en béton et des infrastructures de traitement.

Composez le +1-604-273-5265
ou consultez notre site xypex.com/france

XYPEX[®]