

Les effluents, riches en composés soufrés, peuvent provoquer des attaques acides sur les réseaux d'assainissement en béton. Christophe Carde, directeur technique du LERM¹ nous en explique les mécanismes.

Pathologie Dégradations des réseaux d'assainissement

1 > Comment sont nés les réseaux d'assainissement ?

Les Romains ont, les premiers, attaché une grande importance à la qualité de l'eau en construisant des aqueducs, des thermes, des égouts ou encore des latrines. En effet, une ville romaine était en premier lieu bâtie sur l'établissement de ces services d'évacuation qui, avec le temps, furent couverts et enterrés pour des raisons d'odeur et de salubrité.

Au Moyen-Age, tous les déchets domestiques solides et liquides sont jetés dans les rues et dispersés au hasard, provoquant ainsi de nombreuses épidémies de peste, de choléra ou de typhus qui ont tué chaque année en Europe, essentiellement en ville, des milliers de personnes, et ce jusqu'au XVIII^e siècle.

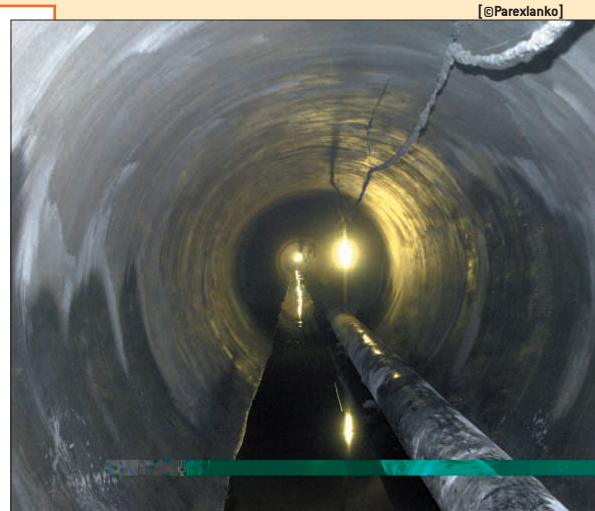
Ce n'est qu'au cours de la moitié du XIX^e siècle que s'élabore la conception moderne de l'assainissement qui, dans un premier temps, consiste à collecter les eaux urbaines et à les évacuer en milieu naturel à l'aide de réseaux de canalisations enterrées ou d'égouts. Cependant, la croissance continue de l'urbanisation (accroissement démographique et développement industriel) entraînant une dégradation importante des milieux naturels se trouvant en aval des sites de rejets, la nécessité d'assainir les eaux usées des villes avant leur restitution au milieu naturel s'est finalement imposée. Dans cette optique, la démarche suivie est passée d'une logique d'éloignement de l'eau usée à une logique de collecte et de traitement de cette eau.

Aujourd'hui, la France compte environ 250 000 km de canalisations d'eau usée qui drainent 50 millions d'usagers. Le taux de collecte est estimé à environ 70 %. Les eaux usées sont collectées, puis acheminées vers des stations d'épuration où elles sont assainies avant leur rejet en milieu naturel. Il existe des réseaux unitaires, qui évacuent dans les mêmes canalisations les eaux usées et les eaux pluviales, et des réseaux séparatifs qui, comme leur nom l'indique, collectent les deux types d'eaux dans des réseaux différents et séparés. La plupart des ouvrages de ces réseaux étant construit en béton armé, la question de leur vieillissement s'est imposée afin de donner au prescripteur, des outils permettant de formuler des bétons durables dans cet environnement particulièrement agressif pour le béton.

2 > Quelles sont les pathologies des bétons dans les réseaux d'assainissement ?

La durabilité des bétons dans les réseaux d'assainissement est pour l'essentiel liée à la présence d'effluents riches en composés soufrés qui entraînent, d'une part, une attaque acide et, d'autre part, des réactions d'expansion. Le dégagement d'hydrogène sulfuré peut se produire dans des ouvrages tels que les fosses septiques, les stations d'épuration ou les réseaux d'assainissement. Ce dégagement a pour origine la décomposition, en milieu anaérobie (environnement dépourvu d'oxygène), des composés du soufre contenus dans les effluents brassés ou circulant dans les ouvrages. Les composés soufrés proviennent des sulfates et des produits organiques de type protéines végétales et animales ou de type sulfonates contenus dans les produits détergents. La réduction de ces composés, en sulfures, est due à l'action de bactéries anaérobies sulfato-réductrices et nécessite un milieu pauvre en oxygène ($O_2 < 0,1 \text{ mg/l}$). L'accroissement de la concentration en sulfures solubles conduit alors à un dégagement d'hydrogène sulfuré gazeux. Par consommation de ce dernier au cours de leur métabolisme, les sulfato-bactéries rejettent de l'acide sulfurique H_2SO_4 . Tous les matériaux à base de liants hydrauliques calciques sont très sensibles au contact de ces acides (formation d'un bio-film : dépôt gélatineux superficiel permettant à l'activité bactérienne de se dérouler directement au contact du béton). Les acides sécrétés peuvent correspondre à des solutions dont le pH est parfois proche de zéro. Dans ces conditions, l'action de l' H_2S (sulfure d'hydrogène) se réduit principalement à une attaque par H_2SO_4 qui se décompose en :

- un phénomène d'attaque acide, qui conduit à une dégradation du béton, dont le pH naturel de la solution interstitielle est de l'ordre de 13, par dissolution des constituants de la pâte de ciment (portlandite et silicates de calcium hydratés essentiellement),
- une réaction sulfatique qui conduit à la formation d'ettringite pouvant être expansive, qui entraîne elle aussi une décohérence du béton.



Ouvrage ancien, l'émissaire général permet de transporter les eaux usées parisiennes en direction de Triel-sur-Seine [78]. Sa construction date de la fin du XIX^e siècle et du début du XX^e.

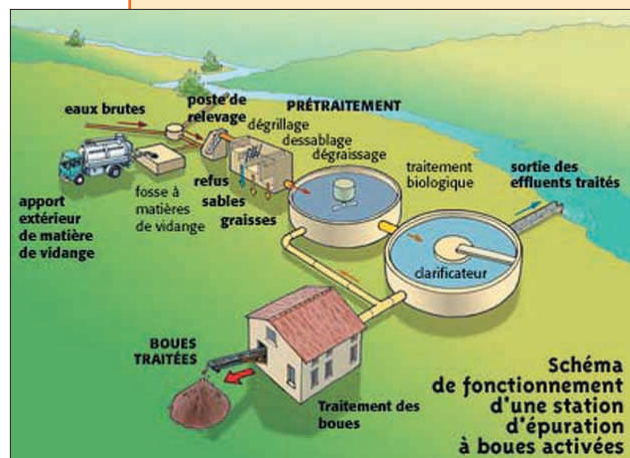
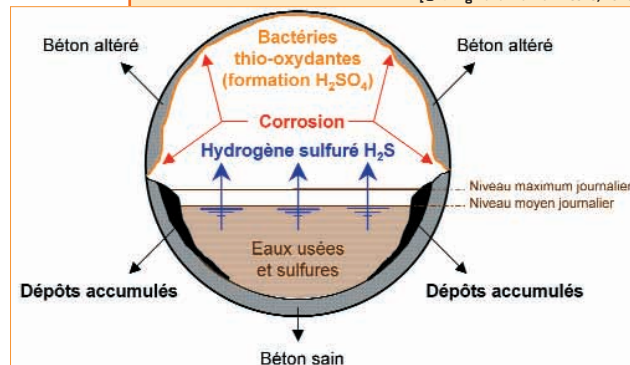


Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration

[@E. Dugniolle/ Revue du CSTC, 1973]



Représentation schématique des altérations du béton dans une canalisation



Altération du béton en zone émergée (en haut) alors que le béton de la zone immergée (en bas) apparaît sain.



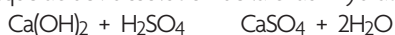
Altération du béton par attaques acide et sulfatique avec traces de corrosion.

Réhabilitation d'un réseau d'assainissement.



Ce double mécanisme d'attaques acide et sulfatique peut s'écrire, de façon simplifiée, de la manière suivante :

A – Attaque acide : dissolution de la chaux hydratée avec formation de gypse



B – Attaque sulfatique : réaction entre les aluminates du ciment et le gypse pour former de l'ettringite



Ces réactions n'ont lieu que dans les parties émergées ou situées en zone de marnage de l'ouvrage. Elles sont d'autant plus fortes que l'humidité de l'air ambiant et la température sont élevées et que l'environnement est peu ventilé. Elles progressent de la face exposée au milieu agressif (paroi interne de la canalisation) vers le cœur du béton. La présence d'acide peut aussi provoquer la dépassivation des armatures et conduire ainsi à leur corrosion.

3 > Comment limiter les risques d'apparition de ces pathologies ?

Pour limiter les risques de développement de pathologies physico-chimiques dans les réseaux d'assainissement, il est essentiel de formuler des bétons compacts, peu perméables et chimiquement résistants au milieu acide et chargé en sulfates.

Dans cette optique, la norme béton NF EN 206-1 donne des spécifications sur les caractéristiques des bétons à mettre en œuvre en fonction de la classe d'exposition des bétons. Les pathologies mises en jeu dans les réseaux d'assainissement justifient des classes d'exposition liées à des environnements contenant des substances chimiques agressives (classes XA1 à XA3 définies par cette même norme). Le choix de la classe d'exposition est conditionné par une analyse du milieu, en particulier : sa teneur en sulfates SO_4^{2-} , son pH, sa quantité de CO_2 agressif et sa teneur en ions nitrates NH_4^+ .

Spécifications de la norme NF EN206-1 pour une durée de vie de 50 ans

	Classe d'exposition	Dosage en liant équivalent	Rapport $\frac{w}{E_{int}/Liant_{total}}$	Classe de résistance minimale
Bétons coulés sur chantier	XA1 (faiblement agressif)	$\geq 330 \text{ kg/m}^3$	$\leq 0,55$	C30/37
	XA2 (moyennement agressif)	$\geq 350 \text{ kg/m}^3$	$\leq 0,50$	C35/45
	XA3 (fortement agressif)	$\geq 385 \text{ kg/m}^3$	$\leq 0,45$	C40/50
Bétons préfabriqués	XA1 (faiblement agressif)	-	$\leq 0,50$	C35/45
	XA2 (moyennement agressif)	-	$\leq 0,45$	C35/45
	XA3 (fortement agressif)	-	$\leq 0,40$	C40/50

4 > Spécifications de la norme NF EN 206-1 pour une durée de vie de 50 ans

Par ailleurs, en raison du type de mécanismes mis en jeu, les bétons formulés avec des ciments riches en C_3A et/ou dont l'hydratation de la pâte de ciment libère beaucoup de portlandite, sont particulièrement sensibles aux agressions chimiques impliquant l'hydrogène sulfuré. Par conséquent, le choix du ciment peut permettre d'accroître de manière significative la durabilité du béton dans de tels milieux. Dans cette optique, l'utilisation de ciments de type ES (ciment résistants aux environnements riches en sulfates), imposée par la norme NF EN 206-1 dans le cas des classes d'exposition XA2 et XA3, comme celle de ciments renfermant des additions minérales telles que les laitiers de haut fourneau ou les cendres volantes par exemple, sont recommandées (fascicule de documentation P 18-011).

5 > Que faire lorsque les pathologies sont avérées ?

En premier lieu, les réseaux doivent faire l'objet d'un suivi régulier, visant à diagnostiquer les altérations de façon préventive, avant la rupture des éléments. Actuellement, les dysfonctionnements du réseau en relation avec l'altération des matériaux représentent environ 25 % des défauts recensés. Dans la mesure où ces altérations progressent de la surface des parements vers le cœur des pièces en béton, les ouvrages peuvent être réparés de façon traditionnelle par purge du béton altéré, mise en œuvre d'un produit de réparation adapté, éventuellement complété par une protection de surface. Néanmoins, ces réparations se limitent aux ouvrages facilement accessibles, pour lesquels des diagnostics préalables peuvent être établis. Dans le cas d'ouvrages peu accessibles, comme les canalisations, le remplacement des éléments s'avère être généralement la solution la plus réaliste d'un point de vue technique.

Christophe Carde

Directeur technique du LERM¹
Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux

¹En tant que laboratoire conseil indépendant spécialisé dans la caractérisation des matériaux de construction et de leurs pathologies, le LERM (Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux) est chaque jour confronté à l'étude des problématiques liées aux bétons. Les phénomènes de dégradations des réseaux d'assainissement font partie des pathologies étudiées et maîtrisées par le laboratoire.