

Étude de la durabilité des travaux de réhabilitation des canalisations d'assainissement non visitables en Seine-Saint-Denis

■ C. ZAETTA¹, O. BROWNE²

Mots-clés : assainissement, gestion patrimoniale, durabilité, réhabilitation

Keywords: sewerage network, network management, life expectancy, rehabilitation

Introduction

Depuis plusieurs années, les exigences de réception des travaux en réseau d'assainissement sont en constante évolution. La progression de ces démarches est marquée par des événements majeurs tels que l'imposition de l'accréditation Cofrac des organismes de contrôle lors des opérations préalables à la réception.

Cette démarche de contrôle associée à un diagnostic rigoureux préalable sont les étapes permettant de bien choisir les techniques de réhabilitation des réseaux d'assainissement. Les techniques de travaux sans tranchée sont de plus en plus souvent mises en œuvre pour des raisons de coût et de limitation des nuisances pour les riverains. Cependant, la question de la durabilité des travaux réalisés se pose aujourd'hui. Il semble donc pertinent de réaliser une analyse de l'évolution de l'état des réseaux réhabilités grâce à ces techniques.

Cette étude est réalisée par la direction de l'eau et de l'assainissement (DEA) du conseil général de Seine-Saint-Denis. Elle complète le travail en cours sur les réseaux visitables. Ses principaux objectifs sont les suivants :

- développer la connaissance sur la durabilité des réhabilitations en fonction des techniques employées, des ouvrages concernés, des types de sollicitation... ;
- déterminer des critères pour le choix des techniques de travaux afin d'améliorer la prise de décision.

L'étude consiste à examiner l'évolution d'un échantillon de 25 tronçons de 100 mètres de canalisations non visitables ayant été réhabilitées par chemisage interne, en cherchant à caractériser le comportement du chemisage sur site au cours du temps. Des inspections télévisées ont été réalisées, puis comparées aux inspections télévisées effectuées avant travaux et après réception des travaux. Différents constats ont ainsi pu être posés sur la pérennité de ces travaux. L'étude a été réalisée par le groupe d'entreprises CAE et Avitek qui possède une bonne expertise dans ce domaine : CAE pour la partie inspection, Avitek pour la partie analyse.

Ce rapport expose la méthode de sélection de l'échantillon, de construction de la base de données et présente ensuite l'analyse des résultats des inspections réalisées sur site.

1. État des lieux des connaissances

1.1. Réhabilitation

Les réhabilitations sont des travaux de rénovation de réseau. Il en existe plusieurs types tels que le chemisage continu polymérisé en place, le chemisage ponctuel, l'injection ponctuelle d'étanchement, le tubage...

D'après le recensement réalisé dans le cadre de cette étude sur le réseau géré par la DEA, le type de réhabilitations le plus utilisé en réseau non visitable est le chemisage continu polymérisé en place.

1.1.1. Chemisage continu polymérisé en place

Le chemisage continu polymérisé en place consiste à introduire un tube souple enduit de résine dans une canalisation existante puis, après plaquage sur le collec-

¹ Concept Assainissement Environnement – 34, avenue du Général-Leclerc – 94440 Santeny.

² Direction de l'eau et de l'assainissement – Conseil général de Seine-Saint-Denis – Hôtel du Département – 93006 Bobigny cedex.

teur, de le durcir par polymérisation de la résine. Cette polymérisation est réalisée à l'aide d'exposition de la gaine à la chaleur ou à la lumière en ultraviolet (UV). Ce nouveau tuyau est dimensionné dans le but de reprendre les efforts soumis à la canalisation d'origine.

Une gaine est constituée d'un assemblage de plusieurs constituants. Les deux principaux sont la matrice et le liant. En plus de ces deux éléments, deux autres films, en polyéthylène (PE), polyuréthane (PU), polyamide ou polychlorure de vinyle (PVC), peuvent y être ajoutés : film de protection intérieur et/ou extérieur. Le film protecteur intérieur est parfois retiré après travaux [1].

Les différents procédés de chemisage continu peuvent se différencier grâce aux principaux paramètres qui sont :

- technique de pose : inversion, traction ;
- technique de gonflage : eau, air ;
- technique de polymérisation : eau chaude, vapeur, résistance chauffante, lampe UV, préprogrammé ;
- liant (résines) : polyester, époxydique, vinylester, méthacrylate ;
- matrice : tissu de fibres de verre, feutre polyester, fibre de verre et feutre ;
- films de protection : intérieur, extérieur.

D'autres données telles que l'imprégnation de la résine en usine ou sur chantier, la stœchiométrie du mélange, la viscosité, la dureté peuvent aussi caractériser le gainage [2-4].

1.1.2. Chemisage partiel

Le chemisage partiel est une réparation qui permet de corriger localement les défauts. Il a pour objectif principal l'étanchement de la conduite. Il peut de plus être structurant. Comme le chemisage continu, il est constitué d'un tissu en fibre de verre et/ou de feutre et de résine (protégé ou non par un film PVC, PU ou PE). Il est mis en place sur tout le périmètre de la canalisation à l'aide d'un manchon, sous surveillance d'une caméra. Une fois la gaine plaquée sur la paroi, la résine est polymérisée.

1.1.3. Historique

Le premier chemisage en égout a été réalisé en 1971 dans un collecteur de forme ovoïdale (1175 mm × 610 mm) à Londres par l'entreprise Institutform. Il s'agit d'une gaine thermodurcissante, c'est-à-dire durcie à l'aide de chaleur, introduite par

traction. Des essais de flexion sont régulièrement effectués dans le but de suivre son évolution dans le temps. À chaque intervention, deux morceaux sont découpés, puis des essais de flexion sont réalisés sur ces échantillons. Les dernières mesures datant de 2001 (soit 30 ans après la pose) ne montrent aucune détérioration du module de flexion et de la contrainte de flexion. Les valeurs mesurées en 2001 sont même supérieures à celle de 1991 [5]. Dans cette étude, il aurait été intéressant d'analyser l'environnement du collecteur. En effet, une minoration des contraintes extérieures telle que l'absence de nappe dans l'environnement du collecteur pourrait améliorer la durabilité de la réhabilitation.

Depuis cette époque, les entreprises ont développé et amélioré le procédé de chemisage tel que la modification de composition du film intérieur d'étanchement en polyuréthane dans les années 1990 ou encore avec l'apparition des gaines photodurcissantes, c'est-à-dire polymérisées à l'aide de lampes UV. Cette dernière technique a été développée dans un premier temps, en Europe, par l'entreprise Inpipe en 1986. Puis Brandburger a développé ce même procédé dans les années 1990 [6].

De nos jours, les techniques évoluent encore. Actuellement, un groupe de travail de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement (Astee) est mis en place dans le but de réaliser une mise à jour de la note de calcul du chemisage continu polymérisé en place pour les tubages avec espace annulaire par tuyaux continus ou courts, ou par enroulement hélicoïdal. Cette mise à jour pourrait permettre la prise en compte de différents paramètres tels que l'état d'accueil, ou encore les formes non circulaires de certains collecteurs.

En Seine-Saint-Denis, la réhabilitation en réseau non visitable a débuté dans les années 1990 avec le premier chantier réalisé par Institutform, avenue Stalingrad à Stains.

1.2. Vieillesse des réseaux et des techniques de rénovation

Le vieillissement des réseaux est une problématique primordiale pour les gestionnaires tant du point de vue de l'investissement que sur le choix des techniques.

De nos jours, la durée d'amortissement des canalisations neuves comme pour les travaux de réhabilitation est de 60 ans en Seine-Saint-Denis. Cette estimation suppose donc que la durée de vie d'une canalisation est en moyenne d'au moins 60 ans. Cependant, le vieillissement d'une canalisation est un élément difficilement mesurable. Il a déjà fait l'objet d'une étude sur le bassin Seine-Normandie entre 2006 et 2008. Se basant sur des tests d'étanchéité et des inspections télévisées, elle a montré que les trois principales causes identifiées du vieillissement prématuré des canalisations neuves sont : le mode d'entretien, c'est-à-dire la mauvaise manipulation d'hydrocurage sans poulie de déportement, l'évolution des réseaux due à une mauvaise mise en œuvre de branchements particuliers et la réalisation du réseau avec la présence de « petits défauts » lors de la réception des travaux, défauts non repris et s'aggravant au cours du temps [7].

En ce qui concerne la réhabilitation, les contextes géologiques et hydrogéologiques sont des éléments intervenant dans la mise en place. Des paramètres tels que la hauteur de couverture, le trafic routier, la hauteur de la nappe ou encore le groupe de sol sont pris en compte dans la note de calcul du chemisage continu polymérisé en place des tubages avec espace annulaire par tuyaux continus ou courts ou par enroulement hélicoïdal. De plus, une étude sur le vieillissement des travaux de réhabilitation d'injection ponctuelle d'étanchement, réalisée sur le bassin Rhin-Meuse, montre l'importance du contexte géologique et hydrogéologique dans la pérennité de ce type de travaux. Certains tronçons situés en présence de la nappe et avec une composition du sol faite de sable et d'alluvions présentent 100 % d'emboîtements non étanches [8].

Par ailleurs, le département de la Seine-Saint-Denis a estimé la durée de vie des réhabilitations de collecteurs d'assainissement visitables grâce à l'exploitation d'essais de vérinage interne mis en place, depuis plus de 20 ans, dans le cadre de contrôle qualité de l'état des ouvrages après travaux. Une loi d'évolution de l'indice structurel est déterminée sur la base d'une analyse statistique. Grâce à cet indice et à une mesure de raideur, la durée de vie d'une réhabilitation peut être estimée. Sur l'échantillonnage testé, la durée de vie moyenne s'élève à 104 ans, mais avec de grandes variations. De plus, 70 % des portions de l'étude sont

estimées avec une durée de vie supérieure à 50 ans [9]. Finalement, cette étude montre une durabilité des travaux de réhabilitation en réseaux visitables supérieure à 50 ans.

Pour ce qui concerne le chemisage polymérisé en place, une étude visant à dresser un état des lieux des connaissances en matière de durabilité et de vieillissement de la réhabilitation a été réalisée par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB). Elle indique les différents mécanismes physico-chimiques, mécaniques, biochimiques... pouvant intervenir dans les réseaux d'assainissement sur les matériaux composant un chemisage. Finalement, il est montré que de nombreuses réactions dégradant les constituants sont possibles. Pour finir, cette étude préconise de réaliser des expérimentations pour confirmer ces analyses bibliographiques [10].

Par ailleurs, une récente étude américaine a testé des chemisages continus polymérisés prélevés sur quatre sites différents, en mesurant de nombreux paramètres tels que l'épaisseur, la densité, l'espace annulaire, la porosité, le module de flexion, les caractéristiques du sol... Ces travaux de réhabilitation datant de 25, 23, 21 et 5 ans ne présentaient de manière générale aucune détérioration préoccupante. Cependant, une variation de certains paramètres tels que le module d'élasticité ou l'épaisseur a été mesurée sur certains échantillons. Cela est expliqué par le non-respect sur tout le linéaire des spécifications d'origine lors de la mise en place des travaux. De plus, les deux chemisages ayant un film de protection intérieur (épaisseur d'imperméabilité) en polyuréthane présentaient de l'érosion sur les zones exposées aux effluents [6]. Il est à noter que les chemisages continus polymérisés en place ont subi des évolutions depuis quelques années, notamment le remplacement de ce film de protection intérieur en PU par un autre film plus durable en PE. Finalement, d'après cette étude, la durabilité des chemisages continus polymérisés en place sur 50 ans est bien vérifiée.

2. Méthodologie

La première étape consistait à recenser les travaux de réhabilitation de canalisations non visitables réalisés dans le département de Seine-Saint-Denis : 129 chantiers ont ainsi été identifiés de 1988 à 2011.

La deuxième étape a permis de sélectionner un échantillon de 25 portions de 100 m. Seuls les chantiers ayant un dossier de suivi relativement complet ont été retenus. L'échantillon a été réalisé en sélectionnant la plus grande diversité possible des caractéristiques des chantiers. Les critères examinés sont les caractéristiques de l'ouvrage, des travaux de réhabilitation et de l'environnement, caractéristiques susceptibles de varier dans le temps. Les travaux de réhabilitation sélectionnés sont le chemisage continu polymérisé en place et le chemisage ponctuel, car il s'agit des travaux les plus utilisés par la DEA. Au final, les 25 chantiers retenus ont été réalisés entre 1992 et 2007.

La troisième étape consistait à réaliser les inspections télévisées de ces 25 portions dans le but de comparer l'état actuel des canalisations avec l'état avant travaux et l'état après travaux.

La quatrième étape consistait à analyser les résultats, à élaborer des préconisations et à dresser des perspectives.

3. Résultats et analyses

3.1. Défauts observés

Sur 25 chantiers, 23 présentent des désordres gênant plus ou moins le bon fonctionnement du réseau. Les désordres les moins importants sont des plis ou des renflements intérieurs du revêtement. Par opposition, sur certains tronçons, des détachements importants du revêtement de la canalisation sont visibles. Les photos des principaux désordres observés sont présentées en *annexe 1*.

3.2. Chemisage continu polymérisé en place

Dans le but d'analyser les différentes données, les chantiers de chemisage continu polymérisé en place sont examinés suivant deux paramètres :

- l'état actuel : analyse des caractéristiques observées en 2013 ;
- l'évolution dans le temps : analyse de l'évolution de la canalisation suivant les trois états des lieux (inspection avant travaux, après travaux, actuel).

3.2.1. Caractérisation de l'état actuel

Après visualisation des inspections télévisées effectuées en 2012-2013, l'état des portions est noté selon trois niveaux de dégradation :

- correct : pas ou peu de défauts observés et n'ayant aucune incidence visible sur l'écoulement, l'étanchéité ou la structure de la conduite ;
- acceptable : quelques désordres ponctuels ;
- médiocre : défauts présents sur plusieurs mètres, pouvant aller jusqu'au détachement du chemisage. Cette hiérarchisation a pour but de faire apparaître une ou plusieurs caractéristiques intervenant sur l'état du chemisage. La synthèse de l'état des réhabilitations inspectées est présentée dans le *tableau II*.

État correct	État acceptable	État médiocre
9	11	5

Tableau II. État actuel des 25 réhabilitations inspectées en 2013

On peut remarquer que les cinq chantiers qualifiés comme médiocres sont des gaines en feutre polyester et de résine époxydique et polyester. Pour quatre de ces chantiers, de légers problèmes ponctuels de

Paramètre	Variations
Type d'eau	Eaux usées / Eaux pluviales / Réseaux unitaires
Diamètre	200 à 800 mm
Hauteur de couverture	0,70 à 6,65 m
Type de travaux	Chemisage continu polymérisé en place / Chemisage partiel
Type de procédé	Institutform Scott Bader / Copeflex / Liner Brandenburger / Inpipe / Retroflex / Nordwall / Phoenix / Flexojoint / ASS
Année des travaux	1992 à 2007
Groupe de sol	GS1 à GS4
Présence de charge routière	Oui / Non
Matériaux d'origine	Béton / Grès / Fibre-ciment / Amiante-ciment / Gaine
Épaisseur du chemisage	4,5 à 10,5 mm

Tableau I. Variation des paramètres de l'échantillonnage

polymérisation de la gaine avaient été signalés lors des travaux et n'ont pas été réparés par la suite.

De plus, pour leur majorité, la nappe est présente autour de la canalisation et le groupe de sol de dimensionnement du chemisage indiqué est GS2 ou GS3. Les défauts peuvent donc provenir soit de la composition de la gaine, soit de la mise en place, soit d'une mauvaise estimation du groupe de sol ou encore de la présence de la nappe. Dans l'hypothèse où ces 25 chantiers ont été réceptionnés dans un état correct, les désordres des 16 chantiers « acceptables » ou « médiocres » sont apparus entre la réception et aujourd'hui. Il s'agit donc d'une détérioration des matériaux du chemisage. Cependant, la qualité du rapport de la réception des travaux n'étant pas assurée, il est difficile de valider cette hypothèse de façon formelle.

L'analyse trouve ses limites dans l'appréciation qualitative des observations puisqu'elles concernent des défauts observés visuellement. De plus, l'analyse prend en compte un grand nombre de variables et peu de données. Enfin, il est important de rappeler que la durée d'amortissement comptable de la DEA pour ce type de travaux est de 60 ans. Or les travaux des chantiers inspectés datent au maximum de 21 ans. Malgré l'échantillon restreint étudié, il est difficile d'imaginer une pérennité du chemisage continu polymérisé en place de 60 ans sans la mise en œuvre de nouvelles mesures.

3.2.2. Analyse de l'évolution

On peut d'abord noter qu'aucune corrélation n'a pu être mise en évidence entre la présence des défauts et l'âge des travaux. L'origine des défauts est indépendante du temps écoulé. Même s'il est très probable que le temps a aggravé des défauts déjà présents, cela n'a pu être démontré clairement dans cette étude.

Au vu des différentes inspections réalisées à plusieurs périodes de la vie de la canalisation, il est possible de classer les observations en différentes catégories :

- anomalies présentes à la mise en place du chemisage, ne gênant pas le fonctionnement de l'ouvrage (donc pas de réparation supplémentaire), n'évoluant pas au cours du temps ;
- anomalies présentes à la mise en place du chemisage, ne gênant pas le fonctionnement de l'ouvrage (donc pas de réparation supplémentaire), mais évoluant au cours du temps ;
- anomalies apparues après la réception des travaux.

Chaque désordre, observé lors de l'inspection, est donc caractérisé par son évolution. Cependant, cette analyse repose sur l'hypothèse que tous les désordres ont été recensés lors des inspections précédentes. Sinon, plusieurs défauts ont pu être indiqués par erreur comme « apparus », c'est-à-dire présents actuellement et non indiqués lors de la réception des travaux.

Chaque chantier étudié au cas par cas a mis en avant des causes particulières intervenant à différentes étapes des travaux.

• La géométrie de l'ouvrage d'origine

Lorsque les défauts modifient la géométrie de l'ouvrage (c'est-à-dire décentrages, déboîtements, déviations angulaires, ovalisations, observés avant les travaux), la mise en place d'un chemisage entraîne l'apparition de plis. Les plis et renflements observés et signalés lors de la réception ne présentent aucune évolution supplémentaire. Peu importants, ils n'entravent pas le fonctionnement du réseau.

• Mise en place du chemisage

Deux types de défauts sont dus à la réalisation des travaux :

- des trous (appelés aussi percements ou entailles) : le mauvais repérage des branchements et les erreurs de fraisage sont à l'origine des percements. À la suite des travaux, suivant les indications des inspections télévisées et le choix du maître d'ouvrage, ces défauts peuvent être réparés par la mise en place de chemisages partiels. Le non-traitement entraîne une perte d'étanchéité ponctuelle permettant l'infiltration d'eau venant de la nappe ou l'intrusion de racines ;
- des zones de gaine molle accompagnées de cloquage mou : ils sont dus à un problème de polymérisation. Pour trois cas sur quatre, le défaut du cloquage mou ou zone de gaine molle a évolué en un détachement et un déchirement du revêtement de la canalisation.

• Défauts apparus pour une raison indéterminée

Certains défauts sont apparus sur l'inspection télévisée réalisée en 2013 et aucune observation des inspections précédentes ne justifie ces nouveaux désordres. Ils se sont donc formés entre la fin des travaux et aujourd'hui. Les raisons possibles sont les suivantes :

- sur deux chantiers, une attaque chimique peut expliquer des dégradations de type : décoloration du revêtement, trou dans le revêtement accompagné de suintement ;

– sur un chantier, l'utilisation d'un curage particulier peut expliquer des dégradations de type « trou du revêtement » (seule une épaisseur interne au chemisage semble affectée).

D'autres paramètres aggravants, comme la présence de la nappe, accélèrent probablement les détériorations.

3.3. Réparations ponctuelles

Le chemisage partiel et le traitement des branchements sont des travaux complémentaires au chemisage continu polymérisé en place et ils ne sont pas systématiquement utilisés. Dans le but de différencier ces types de réparations du chemisage, ils sont traités indépendamment.

3.3.1. Caractérisation de l'état actuel des raccordements et analyse de leur évolution

Le traitement des raccordements après chemisage de la canalisation est un procédé qui n'est pas systématiquement réalisé. Il est mis en place après la réouverture des branchements par fraisage de la gaine. Il permet un bon étanchement de la liaison entre le raccordement de branchement, la canalisation d'origine et le chemisage mis en place. La réalisation de ces travaux est décidée par le maître d'ouvrage. Les techniques utilisées sont nombreuses, mais celles observées sur les chantiers de réhabilitation de cette étude sont les suivantes :

- chapeau ;
- chemisage partiel Flexojoint ;
- chemisage partiel ASS.

Lors de ces inspections, certains raccordements traités et non traités sont devenus défectueux. Le manque d'étanchéité entre la gaine et le raccordement a permis l'intrusion de racines et les infiltrations. Le tableau III montre les résultats observés sur les 95 raccordements inspectés. On distingue alors trois niveaux de raccordements :

- correct : étanchéité assurée par le traitement ;
- acceptable : pas de traitement, pas de désordre

	Raccordements traités	Raccordements non traités
Raccordements corrects	18	–
Raccordements acceptables	–	73
Raccordements devenus défectueux	8	9
Nombre de raccordements inspectés	26	82

Tableau III. État actuel des raccordements de branchements sur les tronçons inspectés

supplémentaire visible, mais l'étanchéité n'est pas assurée ;

- défectueux : apparition depuis les travaux de désordres supplémentaires dus aux manques d'étanchéité.

Les huit raccordements devenus défectueux avaient été réparés par la pose de manchettes. Cinq manchettes ASS situées sur un même chantier se décollent en extrémité et trois manchettes Flexojoint ont disparu. Pour la technique ASS, la zone concernée correspond à la première utilisation en France de cette technique. Il est donc possible que ce nouveau procédé n'ait pas été correctement mis en œuvre du fait du peu d'expérience de l'entreprise. Les trois manchettes disparues correspondent à un même tronçon de canalisation pour lequel on peut supposer que la cause de la disparition est le fort débit transité. Sur cette même portion, dix autres manchettes sont encore en place à ce jour. Cependant, le nombre de raccordements traités étant peu important et les techniques de réparation n'étant pas toutes représentées dans cette analyse, il est nécessaire de confirmer ces chiffres par d'autres observations.

Par ailleurs, les raccordements non traités devenus défectueux sont répartis sur quatre chantiers différents. Pour ces chantiers, l'inspection télévisée avant travaux montre la présence d'eaux dans l'environnement proche de la canalisation (eau de ruissellement ou nappe). Ainsi, le manque d'étanchéité des conduites avant chemisage était déjà visible par des infiltrations et parfois par la présence de racines. Ces données peuvent expliquer qu'après chemisage les points localement non étanches tels que les raccordements présentent des désordres supplémentaires de type pénétration de racines et infiltrations. De plus, il faut noter que dans le cas des raccordements non traités, l'étanchéité de la jonction canalisation-branchement n'est pas assurée.

3.3.2. Caractérisation de l'état actuel des chemisages partiels et analyse de leur évolution

Le chemisage partiel est utilisé dans le cadre de défauts ponctuels. Sur les inspections réalisées au cours de cette étude, il est possible de distinguer trois types de traitement :

- traitement des raccordements après ouverture des branchements (§ 3.3.1) ;
- traitement des défauts ponctuels apparus lors de la pose d'un chemisage continu polymérisé en place ;

	Chemisage ponctuel seul	Chemisage ponctuel sur chemisage continu	Chemisage ponctuel pour traitement des raccordements	Total
Réparations correctes	7	9	11	27
Réparations devenues défectueuses	0	4	8	12

Tableau IV. État actuel des chemisages partiels sur les tronçons inspectés

– traitement des défauts ponctuels d'une canalisation peu dégradée.

Le premier cas, spécifique aux raccordements, a déjà été étudié dans le chapitre précédent. Pour les deux autres traitements, les réparations ponctuelles ont été effectuées par le procédé Flexojoint.

Quatre chemisages ponctuels (répertoriés sur quatre chantiers différents) sont notés comme défectueux. D'après les données ci-dessus, il est possible que le support de la réparation (ici béton armé ou gaine) soit un élément important quant à la tenue du traitement. D'autres causes, telles que la fréquence du curage ou le débit dans le réseau, influent sur la pérennité de la réparation comme nous l'avons vu sur les chemisages ponctuels utilisés dans le cadre de traitement de raccordements. Cependant, les données étant peu nombreuses, ces affirmations auraient besoin d'être vérifiées par l'analyse d'un plus grand nombre de chantiers.

4. Synthèse

Le tableau de synthèse indique pour chaque désordre recensé le nombre de chantiers concernés, ainsi que les causes déterminées lors de la phase d'analyse (tableau V). Ces défauts sont plus ou moins importants, ponctuels ou continus sur plusieurs mètres. Les causes ont été déterminées à partir de l'analyse des données du suivi de travaux. Les raisons des dégradations n'étant pas systématiquement évidentes, des causes possibles ont été suggérées.

Les défauts observés semblent provenir de causes intervenant lors des trois grandes étapes du chantier :

• Lors du choix du type de travaux :

– le traitement des raccordements n'est pas systématiquement réalisé. Dans l'étude, 87 branchements sur 113 n'ont pas été traités et 11 présentent à ce jour des défauts d'étanchéité supplémentaires visibles (racines ou infiltrations). Lorsque la canalisation montre avant travaux des racines et des infiltrations (pré-

sence d'eau autour de la canalisation), le non-traitement des branchements engendre des défauts d'étanchéité supplémentaires ;

– les traitements de raccordement observés sont : la pose d'un chapeau ou d'un chemisage ponctuel (manchette). Sur les six chemisages ponctuels ASS, cinq sont devenus défectueux. Sur les 13 chemisages ponctuels Flexojoint, trois ont disparu. Enfin, les deux traitements avec chapeau ne présentent pas de défaut visuel.

• Lors de la mise en place du chemisage :

– sur 16 chantiers, des plis ou légers renflements sont observés et causés par la géométrie de l'ouvrage (ou défaut d'assemblage de la canalisation). Ces désordres sont peu importants et sont difficilement évitables lors de la pose du chemisage ;

– sur trois chantiers, un décollement du chemisage est observé et situé dans une zone de gaine molle (ou cloquage mou) détectée lors de la réception. Ce désordre est probablement dû à un problème de polymérisation ;

– sur quatre chantiers, des trous causés par fraisage sont présents, engendrant une perte d'étanchéité localisée. Il s'agit alors d'une erreur de repérage des branchements. Sur décision du maître d'ouvrage, ces désordres auraient pu être réparés par la pose d'un chemisage ponctuel ;

– sur trois chantiers, des petites taches noires sont visibles. La polymérisation de ces gaines a été effectuée par résistance chauffante ou lampe UV. Une trop forte chaleur de ces dispositifs est probablement à l'origine de ces désordres.

• Entre la réception des travaux et aujourd'hui : des défauts sont apparus lors des inspections réalisées en 2013 et ne sont pas signalés dans le rapport de réception. Les causes possibles avancées sont les suivantes : une dégradation chimique dans le temps, un curage particulier, une fréquence élevée de curage. Il peut aussi s'agir d'un manque de qualité des rapports de contrôle après travaux.

Un tableau d'analyse rassemblant les défauts et les causes est présenté *tableau V*.

Conclusions

Cette étude réalisée pour la DEA concerne la durabilité des réhabilitations en réseau non visitable. Elle dresse un premier bilan des connaissances et un état

des lieux de l'évolution visible des chemisages à partir d'une comparaison entre les inspections télévisées d'un même tronçon réalisées avant travaux, à la réception des travaux et aujourd'hui.

L'échantillon de 25 tronçons sélectionné pour réaliser l'étude s'est révélé insuffisant pour obtenir de larges préconisations dans le choix et la mise en

Défauts	Nb de chantiers	Caractérisations supplémentaires	Causes éventuelles
Ondulation, cloquage et renflement du revêtement (< 5 %)	16	Défauts peu importants n'entravant pas le fonctionnement du réseau	– Principalement présent lors de la réception – Géométrie de l'ouvrage (courbure/décentrage/déboîtement/déviation angulaire)
Décoloration du revêtement	3	Petites taches noires entre 9 h et 3 h (effet crêpe)	– Probablement présent lors de la réception – Mode de polymérisation trop chaude ? : résistance chauffante et lampe UV
	1	Décoloration localisée sur un assemblage de la canalisation d'origine	– Assemblage non étanche lors de la mise en place (infiltration) entraînant un défaut de polymérisation ?
	1	Décoloration de quelques centimètres en voûte	– Causes indéterminées
Détachement du film intérieur	1	Détachement du film protecteur intérieur en PE	– Ce film est normalement retiré dans la phase de travaux, mais il arrive qu'il reste en place
Détachement du couvre-joint	3	Léger détachement en voûte	– Présent lors de la réception ? – Causes indéterminées
Trou dans le revêtement	4	Petits trous entraînant une perte d'étanchéité localement avec parfois des infiltrations	– Erreur de repérage des branchements lors du fraisage – Autres causes indéterminées
	1	Petits trous sur la couche intérieure se répétant sur la longueur	– Causes possibles : curage particulier ?
	2	Trous circulaires de quelques centimètres de diamètre	– Causes possibles : en l'absence d'image lors de la réception, on peut supposer que la cause provient de l'évolution d'un cloquage
Décoloration et trou dans le revêtement	2	Dégradations ponctuelles se répétant sur deux tronçons et accompagnées de suintement	– Causes possibles : dégradation chimique ou liées à la présence d'eau autour de la canalisation
Détachement du revêtement intérieur parallèle à l'axe de la conduite	1	Le revêtement intérieur présente un détachement longitudinal	– Causes possibles : grande incertitude sur les causes possibles : curage particulier, problème de polymérisation...
Le revêtement de la canalisation s'est détaché	4	La gaine s'est détachée et déchirée sur plusieurs mètres	À la réception, problème de polymérisation à l'origine : – Composition du gainage ? – Détachement en extrémité de la canalisation dû à un problème de mise en place – Cloquage mou présent lors de la réception : problème survenu lors de mise en place (exemple : panne de chaudière...) – Gaine molle en voûte lors de la réception : problème survenu lors de mise en place Paramètres d'évolution : – Présence de la nappe
Raccordement devenu défectueux	11	Intrusion de racines et infiltration localisée ponctuellement au niveau de raccords de branchement	– Hauteur ou présence d'eau dans l'environnement proche de la canalisation – Arbre à proximité de la canalisation – Procédé de traitement mal posé
	8	Décollement du traitement de raccordement	– Chemisage ponctuel non adapté au traitement des raccords ?
Extrémité devenue défectueuse	4	Décollement du chemisage partiel à ses extrémités	Causes possibles : – Support d'origine ? – Défaut de pose ? – Hauteur de nappe ? – Fort débit ? – Nature des effluents ?

Tableau V. Synthèse des causes observées

œuvre de certains procédés. L'étude de cet échantillon a cependant permis de faire apparaître :

- neuf chantiers satisfaisants : aucun désordre visible sur la vidéo de l'inspection. Il serait alors intéressant de vérifier l'étanchéité de ces chemisages afin de confirmer leur pérennité ;
- onze chantiers acceptables : quelques désordres ponctuels tels que des trous, des décolorations du revêtement sont présents à ce jour. Ces désordres n'entravent pas le fonctionnement et ne semblent pas avoir évolué depuis les travaux. Cependant, ils peuvent être à l'origine d'une perte ponctuelle d'étanchéité et de structure ;
- cinq chantiers médiocres : sur ces chantiers, les désordres se répètent sur plusieurs mètres. De plus, ils n'étaient pas présents lors de la réception des travaux, il s'agit d'une détérioration au cours du temps. Quatre de ces chantiers présentent un décollement du chemisage. Un problème de polymérisation lors des travaux en est la cause.

On peut donc émettre des réserves quant à la poursuite des travaux de chemisage si un certain nombre de précautions n'est pas mis en œuvre. Notamment, lorsque certains désordres ont été observés à la réception des travaux, ils ont systématiquement évolué vers une dégradation de la gaine. C'est le cas des zones de « gaine molle » ou de « cloquage mou ». Il est donc impératif de faire reprendre ce type de défaut lorsqu'ils sont observés à la réception.

Par ailleurs, un grand nombre de défauts sont localisés au niveau des raccordements, en particulier lorsqu'ils n'ont pas été traités de façon spécifique ou lorsque le traitement a été mal réalisé. On observe

alors souvent des infiltrations d'eau, voire un écoulement, et l'intrusion de racines, désordres qui évoluent systématiquement et rapidement.

On peut noter qu'il n'a pas été possible de sélectionner des chantiers très anciens, soit du fait de la disparition des dossiers de suivi de travaux, soit du fait de l'absence de données de contrôle à la réception des travaux, comme des inspections télévisées. Notre première recommandation concerne donc la nécessité :

- de définir et de mettre en œuvre une politique d'archivage rigoureuse. En effet, les dossiers de suivi de travaux sont des données nécessaires pour une bonne gestion patrimoniale des ouvrages et la réalisation de telles études ;
 - la nécessité de constituer des dossiers de suivi de travaux comprenant la totalité des études, la description précise des travaux avec les caractéristiques de la réhabilitation, et les contrôles, c'est-à-dire les pièces suivantes :
 - avant travaux : inspection TV, diagnostic et préconisation, note de dimensionnement ;
 - pendant les travaux : suivi qualité et prélèvement d'échantillon ;
 - après travaux : vérification de la note de calcul, inspection télévisée, test d'étanchéité, essais de flexion.
- Pour finir, cette étude pourrait être complétée par l'examen de nouveaux tronçons pour poursuivre et confirmer l'analyse des causes de dégradation des réhabilitations. Une analyse complémentaire pourrait être obtenue par la réalisation de tests d'étanchéités et d'essais de flexion pour affiner les résultats en matière d'évolution des désordres et caractériser l'évolution des matériaux constituant la gaine.

Bibliographie

- [1] RESEAU d'Île-de-France (2000) : *Catalogue des procédés de réhabilitation en assainissement*, Groupe de travail Réhabilitation, décembre 2000.
- [2] CSTB, *Document technique d'application Liner Brandenbuger*, mars 2012.
- [3] CSTB, *Document technique d'application Liner Nordiwall*, mars 2012.
- [4] CSTB, *Document technique d'application Liner Retroflex*, février 2012.
- [5] BODYCOTE MATERIALS TESTING Ltd., *An Insituform cured-in-place pipe (CIPP) continues to exceed industry performance standards after 30 years in service*, 2001.
- [6] ALLOUCHE E., ALAM S., SIMICEVIC J., STERLING R., CONDIT W., HEADINGTON B., et al. (2012) : « A retrospective

evaluation of cured-in-place pipe (CIPP) used in municipal gravity sewers ». *Science*. Téléchargeable sur : <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100DQFP.pdf>

[7] FOUILLOUX R.C., GUILLOSSOU A. (2011) : « Le vieillissement des réseaux d'assainissement sur le bassin Seine-Normandie ». *TSM* ; 11 : 91-97.

[8] AGENCE DE L'EAU RHIN-MEUSE (2006) : *Projet national Rerau, Étude de la pérennité des injections de résines d'étanchement en réseau d'assainissement*.

[9] RERAU, CSTB (2004) : *Contribution à l'étude de la durabilité des réhabilitations de réseaux d'assainissement*.

[10] NORME NF EN 1358-2 (2011) : *Investigation et évaluation des réseaux d'assainissement à l'extérieur des bâtiments*.

Résumé

C. ZAETTA, O. BROWNE

Étude de la durabilité des travaux de réhabilitation des canalisations d'assainissement non visitables en Seine-Saint-Denis

La gestion patrimoniale de tous types de réseaux urbains repose sur une politique de réhabilitation cohérente fondée sur une analyse de la pathologie des ouvrages et des équipements. Dans le domaine de l'assainissement, la direction de l'eau et de l'assainissement (DEA) du conseil général de Seine-Saint-Denis cherche à évaluer la pérennité des travaux de réhabilitation des collecteurs visitables et non visitables. Une première étude commencée en 2010 porte sur les ouvrages visitables réhabilités par des techniques lourdes. La présente étude complète le travail en cours sur les réseaux visitables en analysant la durabilité des travaux de réhabilitation des canalisations non visitables. Ces techniques sans tranchées sont fréquemment utilisées pour la rénovation des réseaux d'assainissement. Cette analyse est basée sur des résultats collectés par des inspections télévisées des canalisations réhabilitées. Finalement, elle vise à développer la connaissance sur la durabilité des réhabilitations en fonction des différents paramètres tels que : les techniques employées, les ouvrages concernés et l'environnement.

La méthode consiste à comparer l'état de la réhabilitation au moment de la pose à celui actuel afin

de déterminer les facteurs influençant la durabilité des travaux. Pour ce faire, un échantillon de 25 portions de 100 m est sélectionné.

Finalement, cette étude dresse un premier bilan des connaissances et un état des lieux de l'évolution visible des chemisages. Aujourd'hui, aucune comparaison ne relie l'âge du chemisage et les défauts observés. Ces anomalies semblent provenir de causes intervenant lors des trois grandes étapes du chantier : lors du choix du type de travaux, lors de la mise en place du chemisage et entre la réception des travaux et aujourd'hui. Cinq des 25 portions inspectées sont classées comme ayant un état médiocre et présentent un détachement de la rénovation. Ainsi, plusieurs recommandations semblent nécessaires pour garantir la durabilité des chemisages. Pour finir, cette étude pourrait être complétée par l'examen de nouveaux tronçons pour poursuivre et confirmer l'analyse des causes de dégradation des réhabilitations. Une analyse complémentaire quantitative pourrait être obtenue par la réalisation de tests d'étanchéités et d'essais de flexion pour affiner les résultats en matière d'évolution des désordres et caractériser l'évolution des matériaux constituant la gaine.

Abstract

C. ZAETTA, O. BROWNE

Evaluation of cured in place pipe life expectancy in non-man-entry sewer on Seine-Saint-Denis County

Network management is based on coherent rehabilitation policy and upon pipe pathology analyze. The "Sewage management agency" (DEA), from the Seine-Saint-Denis County, wants to estimate the expecting life of sewer rehabilitation technologies. A first study dealing with renovated man-entry pipes started in 2010 using heavy methods. The present study completes the current effort about entry-man network. This study consists in determining the life expectancy of cured-in place pipe (CIPP) for non-man-entry sewer. This renovation is part of trenchless technologies which are widely used to reform sewer. This analyze is based on visual data collected thanks to closed-circuit television (CCTV) inspection. Therefore, the aim is to develop knowledge on CIPP durability with various parameters (such as used technology and material, environment, and characteristic of old pipe...) which could impact on life of the pipe rehabilitation system.

The experimentation consists in evaluating the degradation evolution during rehabilitation life. 25 samples of 100 m each are selected for CCTV

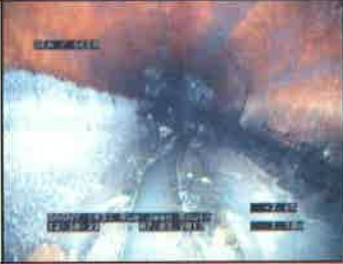
inspection. Comparison of this last inspection with results of the quality control report realized after rehabilitation work could help to determine the most influential factors for the ageing of those technologies.

Finally, this study gives a first approach of visual renovation behaviour over time. No impact between visual defects and liner age is established. Anomalies come from three different steps of liner life: at the time of renovation choice, during liner installation, and between installation and nowadays. Five out of 25 samples are considered to be in a high level of degradation and present a liner ripping. Thus, some recommendations need to be organized for liner durability guaranty. In pursuing this study, liners which have not any apparent tightness deterioration could be tested with pressure-test. Likewise, cured-in-place (CIPP) liner samples could be taken and the flexural modulus could be measured. Those results could give quantitative data about the ageing of liner and help to determine the evolution of mechanical characteristics of liner over time.

Annexe

Photographies des défauts observés sur les tronçons

Dans ce tableau, quelques observations sur les revêtements recensés au cours des inspections sont présentées suivant la norme 13508-2.

Défaut du revêtement	Photographie illustrative	Défaut du revêtement	Photographie illustrative
BAKD – Revêtement ondulé		BAKJ – Trou dans le revêtement	
BAKB – Décoloration du revêtement		BAKJ – Trou dans le revêtement	
BAKB – Décoloration du revêtement (effet crêpe)		BBFA – Suintement	
BAKG – Détachement du revêtement intérieur parallèle à l'axe de la conduite		BAKA – Le revêtement de la canalisation s'est détaché	
		BAKK – Défaut de raccordement du revêtement (raccordement défectueux)	