

Techniques de réhabilitation des collecteurs d'assainissement visitables

-

Application par béton projeté fibré renforcé de fibres métalliques amorphes

par

Julien Legoux
Département Fibraflex

SAINT-GOBAIN SEVA
43, Rue du Pont de Fer
BP 176
71105 CHALON SUR SAONE FRANCE

Starý Smokovec
21 - 23 mai 2008
CEOCOR – GROUPE D

**Technique de réhabilitation des collecteurs d'assainissement visitables
Application par béton projeté fibré renforcé de fibres métalliques amorphes**

**Corrosion resistance of amorphous metallic fibres
Use for repair of waste and rainwater sewers by fibre reinforced shotcrete**

Julien Legoux – Service Fibriflex – SAINT-GOBAIN SEVA
43 rue du pont de fer, BP 176, 71105 Chalon sur Saône, France
Tél. : +33 3 85 47 25 88 - Fax : +33 3 85 47 25 99

Résumé

La réhabilitation des réseaux d'assainissement pose des problèmes de plus en plus cruciaux pour de nombreuses collectivités territoriales (importance et diversité des travaux à réaliser, coût et niveau de performances à respecter), ainsi que des problématiques nouvelles comme la sécurité des opérateurs, la limitation de la gêne occasionnée pour les usagers, le respect des normes environnementales,...

L'article suivant présente les différentes techniques de réhabilitation de collecteurs visitables, sans ouverture de tranchée, utilisées en France.

Dans une première partie, l'article présente la réhabilitation des collecteurs par des éléments préfabriqués en PRV puis par projection de béton sur treillis.

Dans une deuxième partie est développée la technique de projection de mortiers renforcés des fibres métalliques amorphes en revenant à titre d'exemple sur des chantiers en cours actuellement.

L'objectif est de dresser un bilan sur une technique en expansion constante depuis 1990, qui répond aux nouveaux enjeux de la réhabilitation des collecteurs visitables.

Abstract

Rehabilitation of waste and rainwater sewer networks creates more and more crucial problems for many local authorities (importance and diversity of job sites, target cost and level of performance, as well as new problems like safety of operators, limitation of nuisances for neighbourhood, respect of environmental standards...

The following article presents trenchless technologies for rehabilitation of mains sewer.

In a first part, the article presents rehabilitation of mains rainwater by GRP (Glassfibre Reinforced Plastics) precast elements and spraying mortar on a wire mesh.

In the second part, the method of spraying of mortars reinforced with amorphous metal fibres is developed, with examples of different job site.

The aim is to draw an assessment about a technique which constantly expands since 1990, and which answers the new stakes of the rehabilitation of main sewers.

1. Introduction

La fonction d'un collecteur consiste à assurer un écoulement optimal des effluents. Sa stabilité à assurer cette fonction dépend de sa capacité à répondre à deux types de contraintes :

- Contrainte de structure

Les collecteurs sont des ouvrages souterrains soumis à de nombreuses contraintes mécaniques. La principale d'entre elles est la poussée du terrain environnant qui va créer des déformations de structure au niveau de l'ouvrage que celui-ci doit pouvoir encaisser. La deuxième contrainte est la poussée en interne des effluents à écouler. Les réseaux d'assainissement sont régulièrement mis en pression en cas de fortes pluies.

- Contrainte d'étanchéité

L'étanchéité du réseau est un point fondamental pour son fonctionnement : en cas de dégradation des matériaux le constituant (porosité, discontinuités...), différentes pathologies peuvent se présenter : soit des infiltrations lorsque les éléments du terrain se déversent dans le collecteur, créant ainsi des problèmes de traitement en station d'épuration, soit des exfiltrations, ayant pour conséquence un déversement des effluents dans le terrain environnant.

Nous traiterons dans cet article des collecteurs présentant des désordres de structure et nécessitant une réhabilitation leur permettant la reprise de charge.

2. Les techniques de réhabilitation

Dans le cadre de cet article, différentes techniques de réhabilitation structurelle de collecteurs visitables seront présentées. Les techniques d'injection, de gainage polymères (réhabilitation de structure et d'étanchéité pour réseaux non-visitables) et de tubage par enroulement hélicoïdal ne seront pas développées.

a) Tubage par éléments préfabriqués en PRV

Principe

Cette technique consiste à introduire des sections de tube en résine aux dimensions proches de l'ouvrage à réhabiliter, puis à caler les sections par un coulis de remplissage.

Matériaux

Les coques préfabriquées en PRV sont constituées d'une résine de polyester, de sable de quartz et de fibres de verre. Chaque composant est sélectionné pour améliorer la résistance mécanique et la durabilité de l'ensemble.

Le coulis de remplissage est constitué de ciment classique, dosé à 400 kg/m³. Le paramètre le plus important recherché ici est la capacité à être pompé et injecté.

Procédé de mise en place

Avant la fabrication, des opérateurs passent un gabarit au sein du collecteur à réhabiliter pour dimensionner la coque. Fabriquées sur mesure en usine, les coques sont acheminées au sein du collecteur par un puits d'accès qui aura été creusé au préalable.

La deuxième étape correspond à l'injection de coulis par l'intermédiaire de regards d'injection. Le coulis est alors injecté en trois étapes :

- radiers
- piédroits
- voûtes

Le coulis de remplissage est injecté en aveugle jusqu'à ce qu'il ressorte par le regard d'injection. Le regard est ensuite rebouché avec un béton à base HSR (hautes résistances aux sulfates).

Figure 1. Aspect coque terminée



Figure 2. Mise en place du tubage



b) Béton projeté sur treillis soudé

Principe

Cette technique consiste à fixer des armatures métalliques sur la paroi de l'ouvrage à réhabiliter (via des ancrages scellés), puis à recouvrir ces armatures d'un chemisage par béton. Le béton est pompé puis projeté sur la paroi.

Les armatures structurales dans le béton projeté ont le même rôle que dans le béton armé coulé. Elles participent à la reprise des efforts.

Matériaux

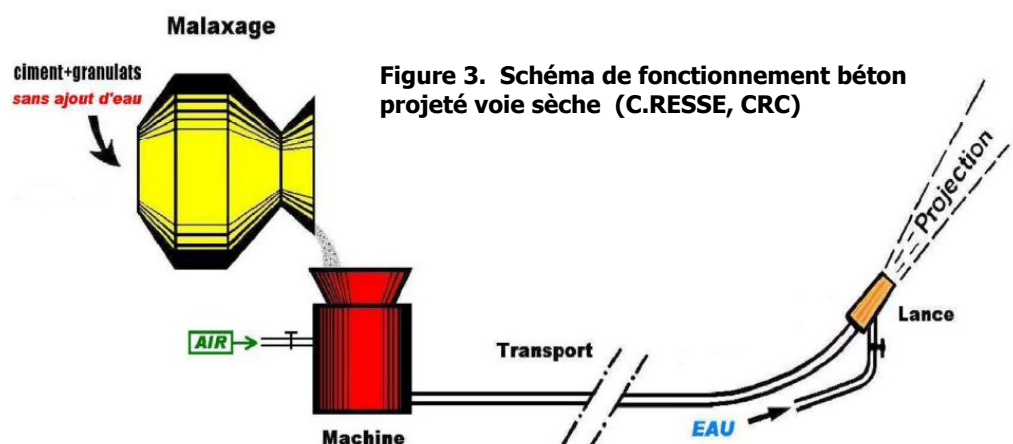
Il s'agit des constituants traditionnels des bétons classiques, qui doivent être conformes aux normes en vigueur :

- Granulats : le diamètre du plus gros granulats est sensiblement plus élevé en projection par voie sèche (< 15mm) qu'en projection par voie mouillée (< 10mm). Ces deux méthodes sont détaillées ci-dessous.
- Ciment : tous les ciments à base ciment de Portland sont couramment utilisés en béton projeté
- Eau : elle doit être réduite pour la voie sèche.

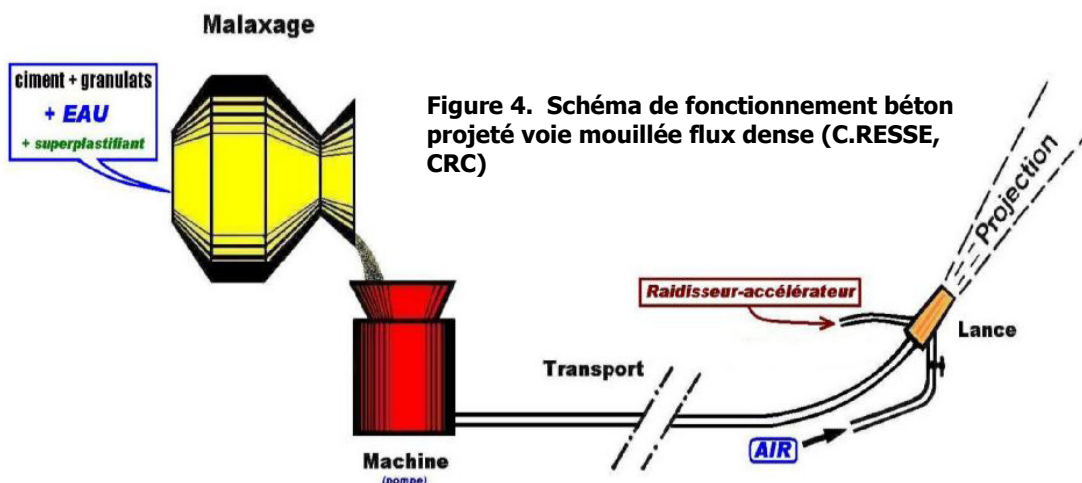
- Adjuvants : on a recours essentiellement à des superplastifiants, réducteurs d'eau, pour améliorer la maniabilité. Des adjuvants spécifiques de projection, raidisseurs (amélioration de la tenue sur la paroi à l'état frais) peuvent également être utilisés.
- Fillers, cendres volantes, fumées de silice... : leur emploi se justifie dans les mêmes cas que les bétons classiques, principalement pour améliorer la compacité, et donc la résistance.
- Armatures : Les armatures structurelles dans le béton projeté ont le même rôle que dans le béton armé coulé. Elles participent à la reprise des efforts, que ce soit en phase provisoire ou en phase définitive. Il est déconseillé d'utiliser des barres de diamètre supérieur à 25 mm. Les armatures sont façonnées à la demande. Leur mise en place nécessite une grande rigueur de pose.

Description des méthodes

La distinction entre les deux grandes techniques de projection est déterminée par le point d'introduction de l'eau. Dans la plus ancienne des méthodes, l'eau n'est ajoutée qu'au niveau de la lance, le mélange ciment + granulats étant sec pendant son transport dans le tuyau ; la méthode est alors appelée « projection par voie sèche ».



Avec cette méthode, l'air comprimé n'est utilisé que pour créer le jet de projection, le transport dans le tuyau étant obtenu par pompage du béton.



Le choix de la technique de projection se définit en fonction des contraintes du chantier. L'utilisation d'éléments secs -dans le cadre de la projection voie sèche- crée, en sortie de lance, une émission de poussières qui rend difficiles les travaux en espaces confinés comme les réseaux d'assainissement.

La voie mouillée est la plus couramment utilisée car elle permet de diminuer l'émission de poussières et de réduire la distance de projection (lance-paroi) : le recul nécessaire est de 20 à 40 cm (alors qu'il est de 80 à 120 cm en projection par voie sèche). Une bouche de ventilation est néanmoins essentielle pour le déroulement du chantier.

Le principe de projection permet d'obtenir une couche de béton dont l'épaisseur et le comportement varient en fonction de la technique utilisée. Le béton de structure peut être retravaillé en surface ; en revanche, il est assez fréquent de projeter une couche de finition de l'ordre du centimètre à vocation esthétique ou sécuritaire (fibres métalliques rigides). Le béton, une fois projeté, est régulièrement taloché à la règle pour obtenir un béton le plus lisse possible.



Figure 5. Comparatif béton projeté brut et béton projeté taloché



Figure 6. Phase de talochage

c) Béton projeté avec fibres métalliques amorphes

Les fibres métalliques amorphes se présentent sous la forme d'un ruban étroit (1 à 1,6 mm de large), de longueur comprise entre 5 et 30 mm suivant l'utilisation. Ces rubans métalliques sont obtenus par trempe d'un jet de métal liquide sur une roue en rotation à grande vitesse. Cette technique permet de refroidir très rapidement l'alliage, à une vitesse de l'ordre du million de degrés par seconde. Ce refroidissement fige le métal liquide dans l'état amorphe (non cristallin), qui lui confère trois propriétés intéressantes :

- une résistance mécanique exceptionnelle : dans le cas des fibres métalliques amorphes, la résistance en traction est de l'ordre de 1400 MPa ;
- une souplesse dans le sens transversal : une fibre peut aisément se plier entre deux doigts ;
- une très grande résistance à la corrosion.



Figure 7. Aspect général des fibres

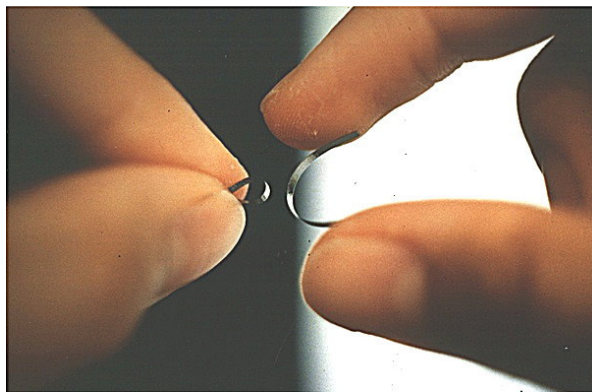


Figure 8. Photographie montrant une fibre métallique amorphe pliée entre deux doigts

Les fibres métalliques amorphes sont utilisées depuis 1987 comme renforcement des réseaux d'assainissement ([2]). Cette technique est une variante régulièrement choisie lorsque les cahiers des charges des marchés publics préconisent un béton projeté.

Les fibres permettent le remplacement d'un treillis soudé et ainsi de s'affranchir des contraintes liées à l'utilisation de ce dernier (descente dans le collecteur, cintrage, enrobage des armatures, corrosion...).

Mise en place du matériau

Les fibres métalliques amorphes peuvent s'ajouter au moment de la préparation du mortier en centrale à bétons (mortier pré-fibré) ou alors au niveau du malaxeur de la machine à projeter.

Mélangées au mortier, les fibres sont alors projetées sur la structure à réhabiliter en passes successives. Des guides permettent alors de contrôler les épaisseurs de projection. Ces mêmes guides serviront d'appui pour le talochage à la règle en phase de finition.

La souplesse des fibres métalliques amorphes permet une facilité de mise en œuvre et une sécurité accrue sur le chantier. En effet, un béton projeté –surtout en voie mouillée- doit être pompable sur de longues distances. La pompabilité ne sera pas ou peu altérée par l'adjonction de fibres, d'où un risque mieux maîtrisé pour les opérateurs en cas d'implosion des tuyaux d'alimentation en mortier suite à une formation de bouchon.

3. Dimensionnement

Plusieurs méthodes existent pour justifier l'apport structurel d'une technique de réhabilitation ([1]).

Nous présenterons ici la méthode proposée par le Water Research Council, ou « WRc ». Cette technique prend en considération :

- les dimensions du collecteur (hauteur, largeur, épaisseur de maçonnerie...),
- l'environnement de l'ouvrage (géologie du terrain, présence de nappes, trafic en surface),
- éléments concernant le chemisage (résistance à la traction effective à long terme, épaisseur,...).

Elle peut s'appliquer pour les chemisages PRV ainsi que pour le béton projeté. Par contre, elle ne peut pas être utilisée pour toutes les formes d'ouvrages : Par exemple, seuls les collecteurs ovoïdaux en forme d'œuf sont concernés.

Les différents paramètres permettent de calculer un moment fléchissant maximum au cœur du chemisage et d'aboutir à un coefficient de sécurité.

La connaissance du comportement des mortiers et bétons renforcés de fibres métalliques amorphes permet aujourd'hui de corrélérer l'épaisseur et la densité de renforcement fibré avec les conditions présentées par le WRc. En résumé, il est possible de fixer le meilleur compromis entre le dosage en fibres et l'épaisseur du chemisage, tout en se rapprochant au mieux des conditions réelles de l'ouvrage.

Dans le cas présenté en figure 10, on peut voir qu'il suffit de 7 cm de mortier projeté renforcé à 15 kg/m^3 de fibres métalliques amorphes pour renforcer un ovoïde de type T180 soumis à sollicitations classiques. Il serait également possible de projeter uniquement 4 cm de mortier renforcé à 30 kg/m^3 .

Ces hypothèses ont pu être validées par des essais « grandeur nature » d'écrasement d'ovoïdes préfabriqués de même section : les points verts présents sur le graphique montrent les essais où l'ouvrage renforcé a résisté aux sollicitations externes appliquées tandis que le point rouge montre un résultat d'essai où le renforcement du chemisage était insuffisant.

Dans le cas d'un chemisage très faible (3 cm à 30 kg/m^3), on peut noter que la modélisation WRc montre un coefficient de sécurité trop faible alors que des essais réels ont prouvé que le renforcement apporté était suffisant. Il sera important de compléter ces essais et de préciser ces résultats car l'intérêt économique et technique de faibles épaisseurs projetées est indiscutable.

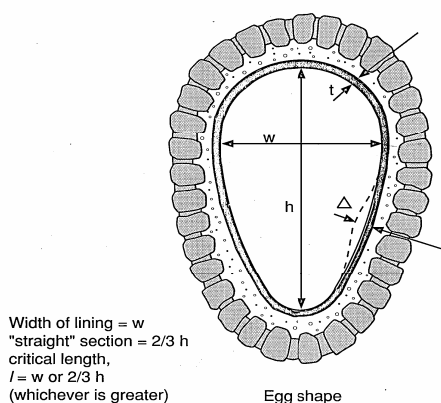


Figure 9. Type d'ouvrage concerné par la méthode WRc

Kg de fibres métalliques amorphes / m³

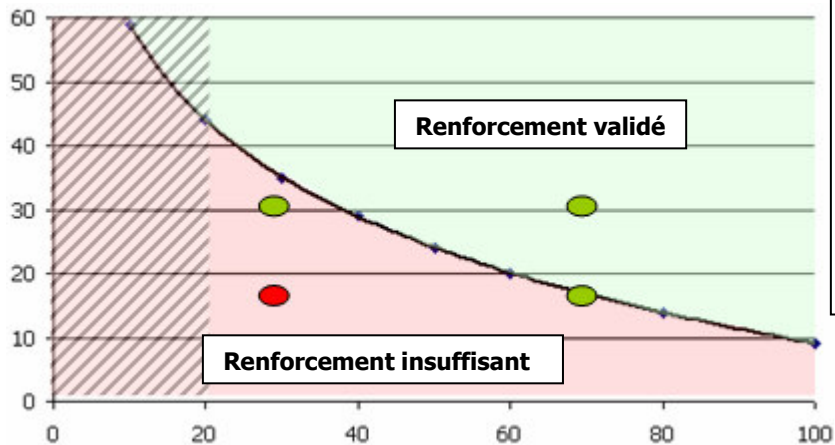


Figure 10.
Abaque « épaisseur et densité de renforcement fibré » pour satisfaire aux conditions WRC

Hypothèses : Type 1
Ovoïde de type T180
Épaisseur 200 mm
Trafic Type A
Profondeur 3 m
Facteur sécurité 2

Épaisseur de la couche projetée en mm

○ Essais grandeur nature d'ovoïdes préfabriqués renforcés d'un mortier fibré avec des fibres métalliques amorphes.

COMPARATIF DES TECHNIQUES DE REHABILITATION

Technique de réhabilitation	Coques PRV	Béton projeté sur treillis	Béton projeté renforcé avec Fibraflex
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Renfort structurel mince (7 cm) - Dimensionnement via WRC - Coefficient hydraulique - Etanchéifie - Résistance à l'abrasion 	<ul style="list-style-type: none"> - Retour d'expérience 	<ul style="list-style-type: none"> - Chemisage structurel mince (7cm) - Souplesse du chantier - Rapidité d'exécution (7 à 10m/j) - Pas de trace de corrosion - Retour d'expérience de 20 ans (le collecteur est toujours comme neuf et en service)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Avancée du chantier (3m/j) - Variations de section - Coût élevé - faible retour d'expérience 	<ul style="list-style-type: none"> - Corrosion des armatures - Enrobage des armatures - Cintrement du treillis 	<ul style="list-style-type: none"> - Couche de finition peut-être nécessaire (selon maître d'ouvrage) - Coefficient de rugosité du béton

4. Retour d'expérience de chantiers

- Ville de Lens

Le chantier consistait à réhabiliter un collecteur d'assainissement visitable T180 sur 220 mètres de long par mortier fibré en fibres métalliques amorphes et projeté en voie mouillée. L'ouvrage présentait une fissure transversale en voûte qui menaçait la pérennité de l'ouvrage. La communauté urbaine Lens-Liévin a donc prescrit une réhabilitation sur l'intégralité de la longueur par 7 cm de béton projeté renforcé avec 15 kg/m³ de fibres métalliques amorphes.

Pour pouvoir réaliser ce chantier, il n'a pas été nécessaire de fermer la route aux usagers. Trois accès étant disponibles pour permettre la projection du béton, le mortier était pompé sur 50 mètres. La machine à projeter (à vis, marque LANCY) permettait la projection du mortier sur 80 mètres.



Figure 11. Plan de situation chantier



Figure 12. Bouche d'accès du collecteur

- Bruxelles

Réhabilitation d'un collecteur visitable T3000 sur 500m.

Préconisation de réhabilitation : Chemisage béton projeté VS sur 10 cm à 15 kg/m³.

Il s'agissait de la réhabilitation d'un collecteur en béton non armé en plein cœur de Bruxelles. Celui-ci présentait un gros problème de structure en voûte, avec la présence d'une fissure transversale significative.



Figure 13. Fissure transversale du collecteur



Figure 14. Gunitage du collecteur

5. Conclusion

Les retours d'expérience positifs sur l'utilisation des fibres métalliques amorphes pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement en font une technique de choix pour répondre aux problématiques actuelles des collectivités.

Un effort tout particulier a été apporté ces dernières années sur les justifications mécaniques qui permettent à la fois d'assurer une durabilité de la réparation, tout en cherchant un optimum économique.

Les essais futurs porteront sur les chemisages minces (< 3 cm), défi technique et économique à relever.

Bibliographie

[1] - Restructuration des collecteurs visitables - Guide technique - Tome 1 & 2. Editions TEC&DOC - Lavoisier.

[2] - Résistance à la corrosion des fibres métalliques amorphes, Jérémie CATALOT - 7ème Congrès International CEOCOR, Mondorf-les-Bains (Luxembourg), 30 mai 2006 - 2 Juin 2006

[3] – Claude Resse.

[4] – Asquapro- www.asquapro.asso.fr