

Réhabilitation de canalisations d'assainissement sans tranchée

par **Francis BUTHIER**
Chargé d'affaires chez Insituform

1. Un patrimoine à préserver.....	C 5 230 - 2
1.1 État des collecteurs : constat	— 2
1.2 Qu'entend-on par réhabilitation ?	— 2
1.3 De quelles solutions dispose-t-on ?	— 2
1.3.1 Remplacement.....	— 2
1.3.2 Réhabilitation depuis l'intérieur	— 2
2. Procédé de chemisage.....	— 2
2.1 Introduction.....	— 2
2.1.1 Principe.....	— 2
2.1.2 Application	— 2
2.1.3 Étude de faisabilité. Calcul.....	— 3
2.2 Description du procédé	— 3
2.2.1 En usine	— 3
2.2.2 <i>In situ</i>	— 3
3. Caractéristiques de la nouvelle canalisation.....	— 4
3.1 Caractéristiques techniques.....	— 4
3.2 Fiabilité. Garantie.....	— 5
3.2.1 Contrôle qualité	— 5
3.2.2 Éprouvettes	— 5
3.2.3 Avis technique.....	— 5
3.2.4 Durée de vie	— 5
3.2.5 Essais	— 5
3.2.6 Garantie	— 6
3.2.7 Expérience.....	— 6
3.2.8 Références.....	— 6
3.3 Coût.....	— 6

Le **chemisage de canalisation** consiste à reconstruire un tuyau neuf dans un tuyau ancien et cela sans faire de tranchée ouverte.

Les travaux ne se font que par l'intérieur en passant par les ouvrages existants d'un diamètre nominal de 100 à 2 000 mm à ce jour, en France.

Exemple réalisé en France : un chemisage d'un diamètre nominal de 600 mm sur 650 m de longueur, en une seule inversion.

1. Un patrimoine à préserver

1.1 État des collecteurs : constat

Une enquête de l'Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux (AGHTM) et du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), réalisée en octobre 1989, a permis de poser le problème : sur un patrimoine national estimé à 160 000 km, environ 10 % du linéaire serait à réhabiliter (soit 4 800 km de réseaux visitables d'un diamètre supérieur à 800 mm et 8 000 km de réseaux non visitables d'un diamètre inférieur à 800 mm).

1.2 Qu'entend-on par réhabilitation ?

La réhabilitation des réseaux d'assainissement consiste à rétablir, dans son état ou dans sa condition, un égout détérioré, afin qu'il puisse à nouveau remplir sa fonction qui est de véhiculer des eaux usées dans certaines conditions d'écoulement, sans qu'il y ait de fuites ou d'infiltrations.

Donc la réhabilitation a pour but :

- de restaurer la structure de l'ouvrage lorsqu'elle est déficiente (cassures, fissures longitudinales, corrosion) ;
- d'assurer l'étanchéité de la conduite pour éviter les fuites d'eaux usées dans le milieu naturel et les infiltrations d'eau de nappe (par les joints déboîtés, les fissures, etc.) ;
- de rétablir les conditions d'écoulement dans la conduite (élimination des radicales, racines, laitance, branchements pénétrants).

1.3 De quelles solutions dispose-t-on ?

1.3.1 Remplacement

La méthode traditionnelle consiste à changer les tronçons détériorés après ouverture de fouilles.

Ces travaux, outre le problème des coûts, induisent des nuisances telles que la gêne du trafic, l'arrêt de la production industrielle, le bruit, la poussière, l'insécurité des riverains et du personnel. La durée des travaux ne fait qu'augmenter les désagréments occasionnés.

1.3.2 Réhabilitation depuis l'intérieur

Les nuisances liées à l'ouverture de tranchées ont conduit à la mise au point de techniques de réhabilitation depuis l'intérieur des canalisations.

Ces méthodes peuvent être ponctuelles et non structurantes (injection de résine) ou continues et structurantes (tubage, chemisage).

■ **Injection de résines** : il s'agit de créer un anneau étanche à l'extérieur de la canalisation par injection de résine au travers du joint défectueux ou de la fissure circulaire à traiter. Cet anneau étanche sera d'épaisseur variable en fonction de la nature du sol rencontré. Un manchon gonflable est positionné au droit du défaut à l'aide d'une caméra. Le manchon est gonflé sous pression (eau, air) de part et d'autre du joint de manière à créer, au niveau de celui-ci, une chambre d'injection annulaire. Le produit colmatant, envoyé sous pression à partir de l'extérieur, remplit la chambre d'injection et pénètre dans le joint puis se répartit à l'extérieur de la conduite en empruntant les voies d'infiltrations pour former, après la prise en masse, un magma de terre et de coulis qui adhère à la canalisation

et en assure l'étanchéité. Après l'étanchement du joint, le manchon est dégonflé, puis retiré. L'injection ne peut être employée que ponctuellement au niveau des défauts d'étanchéité circulaires.

■ **Tubage** : un tuyau, de diamètre inférieur à celui de la canalisation, est tracté ou poussé depuis les fouilles d'introduction et de tirage. Il est formé d'éléments assemblés (soudure, emboîtement). Un coulis de ciment est injecté dans l'espace annulaire compris entre la conduite existante et le nouveau tuyau.

■ **Chemisage** : cette technique consiste à construire un nouveau tuyau dans la canalisation existante, celle-ci servant de moule. Cette technique fait l'objet du présent article.

2. Procédé de chemisage

2.1 Introduction

En 1971, plutôt que d'ouvrir une tranchée pour remplacer une canalisation vétuste, un ingénieur anglais imagina d'en construire une nouvelle à l'intérieur de la conduite existante.

Les propriétés des nouveaux matériaux issus de l'industrie du plastique conjuguées à une technique de mise en place allaient permettre de concrétiser l'invention de la façon suivante :

- une **enveloppe souple, tubulaire, en feutre** se met en place sous pression sur une très grande longueur par retournement sur elle-même ;
- une **résine liquide thermodurcissable**, dont est imprégnée sous vide l'enveloppe, durcit en polymérisant.

La canalisation existante sert alors de coffrage.

La nouvelle canalisation est ainsi construite en place, formée « *in situ* », d'où le nom d'*Insituform* donné au procédé.

2.1.1 Principe

C'est la construction d'une canalisation neuve à l'intérieur d'une canalisation dégradée, sans ouverture de tranchée.

Une enveloppe souple est préfabriquée et préimprégnée sous vide de résine, en atelier. Elle est ensuite transportée sur chantier pour y être mise en place dans la conduite existante. L'originalité de ce procédé réside dans la méthode de mise en œuvre par inversion de l'enveloppe, c'est-à-dire par retournement sur elle-même. Le passage de la phase souple à celle du durcissement se fait par polymérisation commandée et contrôlée par élévation de la température de l'eau.

Après polymérisation, la nouvelle canalisation en résine armée est parfaitement plaquée contre l'ancienne canalisation. Il n'y a pas d'espace interannulaire.

2.1.2 Application

On peut rénover les canalisations :

- **de toute nature** : grès, ciment, amiante-ciment, acier, fonte, polychlorure de vinyle, ouvrages maçonnés ;
- **de toute section** : ovoïde, circulaire ou rectangulaire, de 100 à plus de 2 000 mm de diamètre ;
- **de tout fluide** : eaux usées, pluviales, effluents industriels, eau potable, gaz, air comprimé, hydrocarbures, etc.

C'est une solution globale aux problèmes de toutes sortes rencontrés dans les canalisations, même si celles-ci sont fortement dégradées ; car elle assure :

- l'étanchéité (absence de joint sur toute la longueur du tronçon, suppression des fissures circulaires ou longitudinales) ;

- la résistance à la corrosion et à l'abrasion (H_2S , acide lactique, eau déminéralisée, etc.), du fait de l'emploi de matériaux composites ;

- la résistance mécanique (la canalisation a retrouvé sa résistance mécanique).

2.1.3 Étude de faisabilité. Calcul

2.1.3.1 Hydrocurage et inspection télévisée

La canalisation est soigneusement nettoyée par hydrocurage.

Une inspection télévisée par caméra-vidéo permet d'étudier la faisabilité du chantier.

En cas d'effondrement ou de cavité trop importante (supérieure au diamètre du tuyau), il est nécessaire de remplacer la canalisation sur la longueur du défaut par ouverture de tranchée.

Branchements pénétrants, excroissances, racines sont éliminés par fraisage.

La longueur de chaque gaine est adaptée à l'état du réseau et aux contraintes de l'environnement. Un tronçon peut faire jusqu'à **500 m d'un seul tenant**.

2.1.3.2 Choix du matériau

Le choix de la résine (époxy, polyester ou vinylester, etc.) est fonction des caractéristiques des effluents :

- nature, pH ;
- concentration et température ;
- éléments abrasifs en suspension, etc.

2.1.3.3 Calcul de résistance mécanique

L'épaisseur de la canalisation, et donc sa résistance mécanique, sont calculées pour chaque tronçon. Deux cas peuvent se présenter : le gainage est réalisé soit pour simplement étancher le réseau, soit pour étancher et restaurer la structure mécanique.

Un gainage étanche et structurant est calculé pour reprendre les charges supportées par l'ancienne canalisation.

Le calcul est alors basé sur les hypothèses suivantes :

- ne pouvant évaluer la résistance mécanique résiduelle de l'ancien tuyau, celle-ci est considérée comme nulle ;
- il y a plaquage et non pas collage sur la conduite existante, la surface intérieure de celle-ci ne pouvant être préparée suivant les règles imposées en matière de collage. L'éventuelle adhérence ponctuelle ne peut donner lieu à des valeurs quantifiables, et donc être garantie. L'ancienne canalisation sert de coffrage perdu.

La nouvelle canalisation en matériaux composites, qui se substitue à l'ancienne, est calculée pour être autostructurante et reprendre l'intégralité des efforts supportés par l'ancien tuyau (charges statiques et roulantes).

Le calcul est basé sur la valeur du **module de flexion à long terme (50 ans en laboratoire)**. À ce jour, après 32 ans d'expérience, le module de flexion à long terme est encore supérieur de 30 % à ce qu'il avait été annoncé à cette époque). Un coefficient de sécurité de 2 est appliqué.

Les valeurs du remblai et des charges roulantes prises en compte sont celles de l'annexe IV du fascicule 70 (Cahier des Clauses Techniques Générales. Canalisations d'assainissement et ouvrages annexes). Le calcul est basé sur le cas le plus défavorable :

- ovalisation de 5 % (formule de Spangler) ;
- flambage (formule de l'AWWA : *American Water Works Association*).

Le calcul permet de déterminer l'épaisseur de l'enveloppe souple. Celle-ci peut varier de 3 à 40 mm.

2.2 Description du procédé

2.2.1 En usine

2.2.1.1 Préfabrication

La gaine est composée d'un **film en polyuréthane doublé d'un feutre polyester** dont l'épaisseur est déterminée par le calcul de résistance mécanique. Ce film imperméable ne sert que pour la mise en œuvre par inversion.

Les tissus ou feutres sont cousus de façon à réaliser une enveloppe tubulaire étanche et souple dont la longueur, le diamètre et l'épaisseur correspondent à ceux du tronçon à traiter.

2.2.1.2 Imprégnation en atelier

Après mise sous vide, l'enveloppe est saturée de résine. Elle passe ensuite entre les rouleaux d'une calandre assurant ainsi une imprégnation homogène et contrôlée. La mise sous vide et le calandrage permettent d'éviter le bullage lors de la polymérisation et de faciliter l'inversion.

L'imprégnation en atelier permet de fabriquer et de poser l'enveloppe quelles que soient les conditions atmosphériques (vent, température, pluie, etc.).

Les résines utilisées étant thermodurcissables, elles sont stables à température ambiante et permettent de disposer d'un délai d'une dizaine de jours pour la mise en œuvre.

2.2.2 In situ

2.2.2.1 Mise en place par inversion

Sur chantier, l'enveloppe souple est introduite dans le tronçon à reconstruire à partir d'un regard (ou autre accès).

Auparavant, une extrémité de l'enveloppe, retournée sur quelques mètres, (colonne d'inversion) est fixée sur la plate-forme d'inversion. Un **apport continu d'eau**, dans l'espace annulaire ainsi formé, exerce une poussée provoquant le déroulement de l'enveloppe par inversion dans la canalisation à reconstruire. La pression de l'eau dilate légèrement l'enveloppe et la plaque parfaitement sur les parois de la conduite existante, qui sert momentanément de coffrage externe (figure 1).

La hauteur de la colonne d'inversion est fonction du diamètre à traiter. Pour vaincre les pertes de charge et frottements engendrés par les petits diamètres (100 à 200 mm), la colonne d'eau est remplacée par un caisson surpresseur.

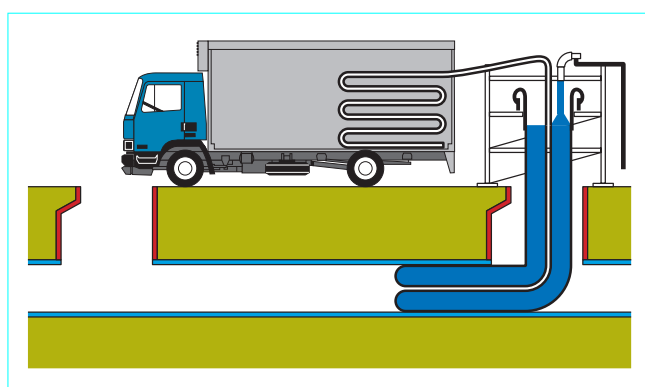


Figure 1 – Mise en place par retournement sur elle-même d'une enveloppe souple préimprégnée de résine (doc. Insituform)

Lorsque l'enveloppe se trouve à mi-parcours, son extrémité commence à pénétrer dans la colonne d'inversion. À ce stade, on fixe à l'extrémité de l'enveloppe un tuyau de caoutchouc souple, qui servira à la circulation de l'eau chaude, ainsi qu'un filin permettant de maîtriser la mise en place.

Il peut être nécessaire, avant le déroulement de l'enveloppe, de mettre en place un film en polyane afin d'éviter tout contact nuisible entre la résine et les effluents qui peuvent saturer les conduites en place.

L'inversion terminée, le film de polyuréthane se trouve tourné vers l'intérieur de la conduite et en contact avec l'effluent. Le feutre quant à lui est plaqué contre la paroi interne de l'ancienne conduite.

La technique d'inversion pendant la phase souple (avant polymérisation) évite :

- les tractions excessives ;
- les déchirures ;
- le ressuyage et le lessivage des résines ;

et permet :

- d'assurer une progression contrôlée de la gaine sur plusieurs centaines de mètres (par exemple : 475 m de Ø 500 mm à Metz, 350 m de Ø 800 mm à Carrières-sous-Poissy) ;
- de prendre des coudes allant jusqu'à 90° ;
- de passer des siphons ;
- de franchir d'éventuels obstacles ;
- ou d'obturer certains vides de l'ouvrage à rénover.

2.2.2.2 Durcissement de l'enveloppe souple

La phase d'inversion de l'enveloppe étant terminée, le processus de polymérisation peut alors être déclenché. La résine étant thermodurcissable, il suffit de faire une **élévation contrôlée de la température de l'eau** ayant servi à la mise en place de l'enveloppe.

L'eau pompée dans la colonne d'inversion est recyclée dans la chaudière puis refoulée à l'extrémité de la gaine par le tuyau souple introduit préalablement (figure 2).

Après durcissement et vidange de l'enveloppe, les extrémités sont découpées. À ce stade, le réseau est remis en service.

Le principe de polymérisation à haute température, par le choix de résines appropriées, est très important. Il permet :

- de travailler indépendamment des conditions atmosphériques ;
- de maîtriser le déclenchement et le déroulement de la phase de polymérisation ;
- de ne pas être pris de vitesse par le temps de prise des résines polymérisables à froid ;
- et donc d'avoir la tranquillité d'esprit nécessaire à la bonne exécution du chantier.

2.2.2.3 Réouverture des branchements intermédiaires

Deux solutions sont possibles par l'extérieur ou par l'intérieur.

La **réouverture depuis l'extérieur** permet de garantir l'étanchéité absolue du piquage et de reprendre les derniers décimètres du branchement généralement les plus touchés (cassures, fissures, déjointement). Inconvénient : cela nécessite l'ouverture d'une tranchée, ce qui est plus coûteux et gêne le voisinage.

L'autre solution consiste à remettre en service le branchement depuis **l'intérieur par un robot** opérant sous contrôle vidéo.

L'ensemble caméra-robot est amené au droit du branchement préalablement repéré lors de l'inspection télévisée initiale. L'opérateur dirige, depuis la surface, l'outil de coupe et procède ainsi au découpage de l'enveloppe (figure 3).

La remise en service des branchements depuis l'intérieur est rapide, moins coûteuse, sans gêne pour le voisinage et sans reprise du revêtement de chaussée.

En 24 h, une canalisation neuve est ainsi mise en service à l'intérieur de la canalisation dégradée.

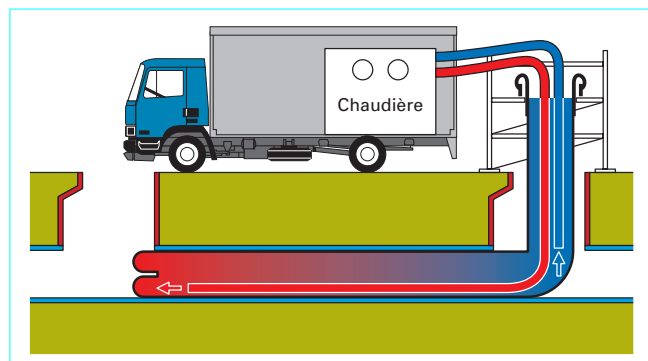


Figure 2 – Durcissement par polymérisation de l'enveloppe souple préimprégnée (doc. Insituform)

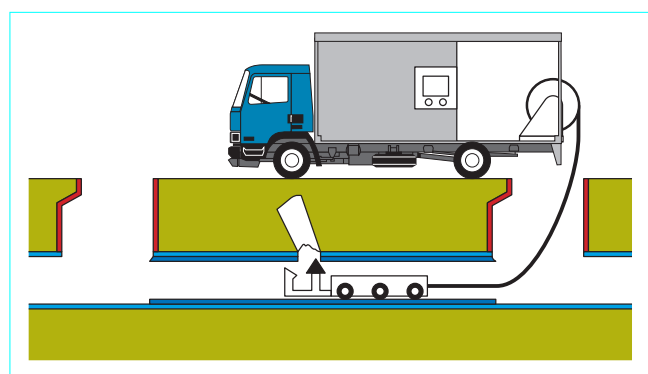


Figure 3 – Réouverture des piquages par robot (doc. Insituform)

3. Caractéristiques de la nouvelle canalisation

3.1 Caractéristiques techniques

La **résistance mécanique** est donnée dans le tableau 1.

Tableau 1 – Résistance mécanique de la nouvelle canalisation

Propriétés	Polyester isophthalique	Époxy	Vinylester
Module de flexion (MPa)	2 200	2 000	3 000
Résistance à la flexion (MPa)	50	52	75
Résistance à la traction (MPa)	25	29	30
Allongement à la rupture (%)	1,5	1,9	1,5
Résistance à la compression.. (MPa)	60	70	60
Résistance au cisaillement..... (MPa)	50		
Dureté Barcol.....	35		35
Température maximale de déformation sous charge..... (°C)	75	75	102

Tableau 2 – Tenue chimique de la résine polyester de base en fonction de sa concentration et de la température

Produits chimiques	Concentration (% en masse)	Température maximale (°C)		
		Polyester isophtalique	Époxy	Vinyl- ester
Acide chlorhydrique	5	50		
	10	40	50	82
	15	40		82
	20	35	20	82
	25	30	NR	
	35		NR	65
Acide nitrique	5	45	20	65
	10	25	NR	
	20	NR	NR	49
	40	NR	NR	NR
Acide sulfurique	10	50		
	25		50	99
	50	60	20	
	65	30	NR	
	70	NR	NR	82
	75	NR	NR	38
	90	NR	NR	NR
Acide lactique	90	50	NR	99
Soude	< 1	NR	70	
	5	NR	70	82
	10	NR	70	82
	25	NR	70	99
	30	NR	70	99
	50	NR	NR	99
Potasse	10	NR	70	65
	25	NR	70	65
	30	NR	70	
	45	NR	NR	82
Trichloréthylène		NR	NR	NR
H ₂ S	65	60		82
Eau de mer	100	50	70	82
Eau déminéralisée	100	45	70	82
Fuel	100	35		82
Essence (sans plomb) (sans alcool)	100	NR		49
Essence (avec plomb) (sans alcool)	100	25		82
Kérozène	100			82

NR = non recommandé.

Une des caractéristiques des composites est leur **excellente résistance chimique à la corrosion et à l'abrasion** (tableau 2). Le type de résine choisi est adapté à l'effluent véhiculé (nature, pH, concentration, température, etc.).

Des études particulières sont nécessaires dans des cas exceptionnels (produits très corrosifs, température très élevée, pression très importante, etc.).

Il est alors souhaitable d'exposer un échantillon de stratifié aux conditions d'utilisation réelles pour contrôler le bon choix de la résine.

3.2 Fiabilité. Garantie

3.2.1 Contrôle qualité

Chaque étape du procédé fait l'objet d'un processus de contrôle-qualité consigné sur fiches :

- a) sur les matières premières : feutres et résines ;
- b) à l'imprégnation : qualité du vide et de l'imprégnation ;
- c) sur chantier :
 - le passage d'une caméra permet de s'assurer de la propreté de l'état d'accueil ;
 - en présence de nappe phréatique ou en milieu chimique défavorable, la pose préalable d'une enveloppe tubulaire en polyane évite tout contact nuisible pour la résine ;
 - la polymérisation (chauffe et refroidissement) se fait suivant un cycle préconisé par le fabricant de résines ; son suivi est assuré par la mesure et l'enregistrement des paramètres suivants :
 - température d'aspiration et de refoulement de l'eau,
 - pression et débit des pompes d'aspiration,
 - température en différents points de l'enveloppe,
 - hauteur de la colonne d'inversion ;
 - avant de découper les extrémités, le chemisage fait l'objet d'un test d'étanchéité ;
 - une fois en service, un contrôle visuel se fait par passage de la caméra.

3.2.2 Éprouvettes

Pour chaque tronçon posé, une éprouvette est confectionnée. Prélevée sur l'enveloppe souple, elle est soumise aux mêmes conditions de transport et de polymérisation que celle-ci.

Un test mécanique, suivant la norme NF EN ISO 14125 (*Composites plastiques renforcés de fibres. Détermination des propriétés de flexion*, Juin 1998), permet de vérifier que le module de flexion de l'éprouvette est supérieur ou égal à l'hypothèse retenue pour le calcul.

3.2.3 Avis technique

L'ensemble du processus fait l'objet de l'Avis technique n° 17/00-115 du CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment).

3.2.4 Durée de vie

La durabilité de la canalisation est comparable à celle des tuyaux en matériaux composites de même nature.

Des essais de vieillissement accéléré (50 ans sous charge) ont été menés au *Water Research Center* en Grande-Bretagne.

Ce sont leurs résultats, caractéristiques mécaniques à long terme – 50 ans –, qui sont pris en compte pour calculer la conduite.

3.2.5 Essais

Flexibilité, rigidité et abrasion ont été testées au CSTB.

Des tests de résistance mécanique et de vieillissement ont été réalisés en Grande-Bretagne au *Water Research Center*.

D'autres essais ont été conduits dans des pays comme les États-Unis à l'université de l'Utah et en République fédérale d'Allemagne à l'université de Berlin.

3.2.6 Garantie

La garantie de bonne tenue pendant 10 ans assure le remplacement gratuit à l'identique ou la réparation des parties défectueuses.

Elle est donnée quant à la tenue des produits aux effluents et à la température pour lesquelles elle a été étudiée ainsi qu'à la tenue mécanique propre du nouveau tuyau.

Elle exclut toute autre cause de détérioration, telle qu'usure prématurée ou écrasement entraîné par un phénomène naturel ou accidentel trouvant son origine ailleurs que dans l'ouvrage.

3.2.7 Expérience

Plus de 420 km de canalisations ont été reconstruites en France pour les collectivités locales et les industries depuis 1979.

Chaque année, 52 pays se réunissent pour partager leur expérience (plus de 11 500 km réalisés).

3.2.8 Références

Des industries nucléaires comme la Cogema à La Hague, le Centre d'études nucléaires de Cadarache, des papeteries (Alicel, Cellulose du Rhône et d'Aquitaine, Papeteries de Gascogne), des industries chimiques (Rhône-Poulenc, Société Chimique de la Grande Paroisse), Peugeot, des industries alimentaires comme Gervais- Danone ont déjà fait appel à la technique.

De très nombreuses villes ont protégé leur environnement avec le concours de leurs services techniques ou de la Direction départementale de l'Équipement et de la Direction départementale de l'Agriculture.

3.3 Coût

Le prix se décompose essentiellement en deux parties :

- les frais de mise en place d'équipements, de main-d'œuvre, d'études, de contrôle-qualité ; ces frais sont fixes, la durée d'intervention étant sensiblement la même pour un tronçon de 50 ou 500 m (24 à 48 h) ;
- les fournitures ; elles sont proportionnelles à la longueur, au diamètre et à l'épaisseur de la nouvelle canalisation.

Les grandes longueurs (de l'ordre de 300 m) permettant une meilleure répartition des frais fixes de mise en place, le coût au mètre linéaire peut se trouver réduit de moitié.

Des coûts indirects, liés à la durée du chantier et à l'encombrement au sol (avec en sus le dépôt de matériels, de matériaux), sont dus à la gêne de la circulation automobile, de la vie commerciale ou de la production dans les usines, aux nuisances sonores, aux poussières, etc., à la sécurité des piétons, aux réseaux et ouvrages d'art dont la proximité rend difficile, voire dangereuse les travaux.

Dans ce bilan souvent très favorable, il faut aussi tenir compte des nouvelles caractéristiques de l'ouvrage :

- résistance mécanique accrue ;
- bonne flexibilité ;
- excellente tenue aux agents agressifs ;
- suppression des problèmes dus aux joints (infiltration, exfiltration, pénétration de racines), aux fissures longitudinales ou aux casses circulaires ;
- capacités d'écoulement sensiblement améliorées même par rapport à une canalisation neuve. La forte diminution de la rugosité des parois internes ainsi que l'absence de joint font plus que compenser la très faible perte de section ;
- garantie de 10 ans.

Le réseau ainsi traité se retrouve à l'état neuf.