

Réhabilitation par résine : présentation des technologies et exemple de mise en application

Y. GOURBEYRE^{*}, S. OBERTI^{*}, Y. JAEGER^{**}

^{*}Veolia Environnement, Centre de Recherche sur l'Eau, Chemin de la Digue, 78603 Maisons-Laffitte Cedex

^{**}Direction Technique Veolia Eau, Immeuble Giovanni Battista Pirelli B, rue G.B. Pirelli, 94417 Saint-Maurice Cedex

Résumé :

Les interactions entre l'eau transportée et les parois des canalisations sont nombreuses et dépendent du matériau qui constitue la canalisation. Les problèmes naturels de corrosion des canalisations métalliques et leur influence sur le goût et la couleur de l'eau sont une source fréquente de réclamation des consommateurs. En plus de la corrosion, d'autres phénomènes tels que les dégradations physico-chimiques, organoleptiques et bactériologiques de l'eau peuvent intervenir lors de la détérioration de la surface interne des canalisations.

L'emploi d'un revêtement interne en polymère permet d'améliorer la qualité de l'eau dans les canalisations corrodées et de restaurer l'efficacité hydraulique des canalisations. Sur les portions de réseaux en mauvais état, les opérations de réhabilitation par résine époxy présentent l'avantage d'être moins onéreuses que le remplacement traditionnel des canalisations. Elles permettent aussi de limiter les nuisances pour les riverains et pour les consommateurs.

Ce travail présente les différentes techniques de réhabilitation existantes, de la préparation de la surface à réhabiliter jusqu'au type d'application du polymère.

Par ailleurs, un exemple de mise en œuvre de réhabilitation par résine époxy est décrit par le biais d'une recherche sur l'utilisation d'une nouvelle résine pour améliorer la technique de réhabilitation mise en place par la SETHA. En effet, les résultats d'un suivi analytique de la qualité de l'eau, réalisé au cours d'un chantier de réhabilitation, ainsi que les conditions de mise en œuvre sont exposés ici permettant de conclure sur les avantages et inconvénients de la nouvelle résine.

Mots-clés : réhabilitation, canalisation, polymère, résine époxy

Abstract :

The interactions between transported water and the walls of the pipes depend on the material which constitutes the pipes. The natural problems of corrosion of the metallic pipes and their influence on the taste and the color of water are a source of complaint of the consumers. Moreover, other phenomena such as physicochemical, organoleptic and bacteriological degradations of water can deteriorate the internal surface of the pipes.

The use of an internal polymer coating improves quality of water in the corroded pipes and restores the hydraulic effectiveness. On bad parts of networks, the rehabilitations by epoxy resin have the advantage of being cheaper than the renewal of the pipes. They also limit injuries for the residents and the consumers.

This work presents different rehabilitation techniques, from the preparation of surface to be rehabilitated to the kind of polymer application.

Moreover, an example of rehabilitation setting by epoxy resin is described by a research study on the use of a new resin to improve the rehabilitation technique of SETHA. Indeed, results of an analytical follow-up of the water quality, realized during a rehabilitation work, and the setting conditions are exposed here leading to the conclusion on the advantages and disadvantages of the new resin.

Key-words : rehabilitation, pipe, polymer, epoxy resin

CONTEXTE

Les interactions entre l'eau transportée et les parois des canalisations, dans les réseaux de distribution d'eau potable sont nombreuses. Elles dépendent à la fois du matériau qui constitue la canalisation et des caractéristiques physico-chimiques de l'eau distribuée. La corrosion engendrée par ce type d'interactions peut entraîner une détérioration importante de la qualité de l'eau au robinet du consommateur, des risques de fuite ou de casses de la canalisation, ayant pour conséquence le nettoyage, la réhabilitation voire le remplacement de ces canalisations corrodées. En plus de la corrosion, d'autres phénomènes tels que les dégradations physico-chimiques et bactériologiques de l'eau, peuvent accélérer la détérioration de la surface interne des canalisations.

Afin de limiter les effets nuisibles de la corrosion et tout autre phénomène de détérioration des conduites, il est possible d'appliquer sur la surface interne des canalisations, des revêtements tels que des résines destinées à améliorer la qualité de l'eau et de restaurer l'efficacité hydraulique des canalisations. Dans une approche technico-économique de la réhabilitation des réseaux d'eau par résine, cette technologie est privilégiée car elle est moins onéreuse que le remplacement des canalisations sur des portions dégradées et présentent l'intérêt de limiter les nuisances pour les riverains (emprise de tranchées limitées) et les consommateurs (coupure d'eau d'une seule journée).

Forts de certaines expériences de gainage par des polymères déjà menées, nous pouvons reprendre le concept et établir un cahier des charges d'un revêtement de polymère chemisant l'intérieur d'une conduite :

- le procédé doit être le plus simple possible pour limiter les opérations successives accroissant le coût de l'opération, convenant pour l'application dans des tuyaux à la fois de petits et gros diamètres, et sur un réseau comportant raccords et branchements.
- le film doit être :
 - résistant chimiquement à l'eau et imperméable
 - adhérent à la canalisation usagée, c'est-à-dire déjà en place et ayant subi les « attaques » de l'eau potable.
 - suffisamment élastique pour supporter des torsions de tuyau.
 - d'une durée d'efficacité supérieure à 10 ans.
- le polymère doit être constitué à partir de composés chimiques (monomères, amorceurs, additifs) aux normes « qualité alimentaire »

1. PRESENTATION DES TECHNOLOGIES

a. TRAITEMENT DE LA SURFACE

L'efficacité et la durabilité d'un système de protection anticorrosion par revêtements organiques sont liées à de nombreux facteurs, tant propres à la nature et à la qualité des produits et de leur mise en œuvre, qu'aux contraintes que subira ce système de protection pendant son service. Le premier point important reste indiscutablement le traitement initial des supports. Dans la mesure où l'on s'oriente vers des systèmes de haute durabilité, il est essentiel de rechercher l'obtention de la meilleure préparation de surface possible [1].

Ainsi l'expérience montre clairement que la bonne tenue d'un revêtement ne dépend pas seulement de la qualité intrinsèque des films protecteurs utilisés avec leurs exigences techniques, mais est aussi largement tributaire de la préparation du support métallique.

L'adhésion au substrat métallique étant un facteur clé dans la durabilité d'un revêtement, le but du traitement de surface préalable est d'éviter toute influence négative sur le phénomène de l'adhésion par le biais de corps étrangers (graisse, produits de corrosion, produits organiques tels que le biofilm dans notre cas), et d'autoriser les diverses réactions d'adhésion, les théories traitant de ce phénomène étant nombreuses.

Les mécanismes d'ensemble de l'adhésion relèvent en fait, et dans le cas le plus général, de plusieurs phénomènes concomitants (de nature chimique, physique, électrique [2], [3]) mais quels que soient les modes d'adhésion, la liaison polymère / métal (acier, zinc...) ne peut valablement s'établir que si aucune barrière n'existe à l'interface.

Le traitement de surface généralement mis en œuvre avant application d'un revêtement peut être pratiqué de diverses façons [3] :

- a) Le dégraissage à lieu en premier lorsque la surface est souillée de graisse organique ou minérale
- b) Le décapage consiste ensuite à éliminer les couches superficielles d'oxydes plus ou moins adhérents (calamine, rouille) ainsi que tous les corps étrangers qui auraient résisté aux opérations préalables de nettoyage et dégraissage

Il en existe deux grands types :

- les **décapages mécaniques** : Ces techniques peuvent être réalisées par brossage (manuel, pneumatique ou électrique), grattage, martelage, ponçage et enfin par projection d'abrasif (sablage, grenailage...)
- les **décapages chimiques** : Ces procédés opèrent par dissolution au moyen d'un réactif chimique. Le mode d'application du produit varie avec la pièce à traiter : par immersion, par enduction de pâte, quelques fois par aspersion ou arrosage, par pulvérisation ou circulation. La nature et la composition des produits ou des bains de décapage dépendent avant tout de la nature du métal à traiter.

b. APPLICATION DU POLYMERE

Il existe différentes techniques, applicables à divers domaines, mises au point pour isoler un fluide du métal de la canalisation dans laquelle il circule, par le biais d'une couche de polymère. Certains brevets sont directement issus de l'application pour canalisations d'eau, d'autres plus généralement pour canalisations (eau, gaz) ou conteneurs [1].

Les brevets recensés peuvent être classés en trois catégories suivant la forme sous laquelle se présente le polymère : à l'état solide, on le trouve en effet soit sous forme de gaine préformée, soit sous forme de poudre. Il est également possible d'introduire le monomère sous forme de vapeur ; le polymère se forme alors in-situ. Enfin, le polymère peut être injecté sous forme de résine liquide.

POLYMERE SOLIDE

Gainage

Le brevet US 4233101 [4] propose le gainage d'une canalisation par un tuyau de diamètre inférieur en polymère thermoplastique. L'intérieur du tube en métal ou l'extérieur du tuyau en thermoplastique est enduit d'une couche d'adhésif. Une force exercée de façon radiale est appliquée pour plaquer le tube en matériau thermoplastique contre la paroi interne de la canalisation, et un système de chauffage déplacé suivant l'axe du tuyau assure le passage du

matériau polymère à son état caoutchouteux. La cohésion de l'ensemble est complétée par un chauffage supplémentaire pour rendre la couche d'adhésif active.

Le polyéthylène téréphtalate est préconisé dans la référence [5] pour des diamètres de ½'' à 1''. Après introduction du tube, celui-ci est chauffé à 82 °C par une circulation d'eau chaude. La circulation d'eau est ensuite arrêtée pour être mise sous une pression de 4,5 bars pendant 3 minutes. Le tuyau est ensuite refroidi à 60 °C.

Poudres

L'emploi de poudres sèches pour revêtir la surface interne d'une canalisation est également mentionné dans certains brevets :

Le US 3974306 [6] de la Kansai Paint Company présente une méthode pour les tuyaux de 1 à 15 cm de diamètre. Tandis que les tuyaux sont préchauffés entre les températures de ramollissement et de fusion de la composition du revêtement, la poudre est transportée au moyen d'un courant d'air tout le long des tuyaux de manière à obtenir un dépôt régulier. La fusion des particules déposées est assurée sous pression réduite pour former un film continu. Aucun type de matériau polymère n'est précisé.

La Dai Nippon Corporation propose dans le brevet US 3982050 [7] une méthode de revêtement des surfaces internes de canalisations de petits diamètres, en soufflant sous courant d'air ou de gaz inerte une résine en poudre mélangée à un agent véhiculant (qui ne sera pas incorporé au revêtement) dans la canalisation, préchauffée à une température de 20 à 70°C au-dessus de celle correspondant au ramollissement ou à la fusion des particules de résines. La résine revendiquée peut être du groupe des époxy, polyesters, acryliques, vinyliques, polyamides, cellulosiques, polyoléfines, fluorés ou polyéthers chlorés.

La Metallgesellschaft AG utilise dans la méthode décrite dans le brevet US 3869300 [8], le même principe de transport des particules de résine par courant d'air dans les canalisations, particulièrement de longs tuyaux en acier. La méthode de chauffage consiste en un collier chauffant par induction autour du tube et déplacé progressivement. Le matériau dont il est question est une résine synthétique.

SYSTEME VAPEUR

Le brevet US 4237172 [9] présente le bouchage des fuites d'un récipient, que ce soit une cuve ou un tuyau par revêtement d'aminosilane polymérisable en présence d'humidité. Le monomère est introduit sous pression pendant un temps suffisamment long pour permettre le dépôt d'aminosilane et sa polymérisation.

RESINE LIQUIDE

Dans les résines liquides, on distingue les applications en gouttelettes par système de spray, et les applications directes de la masse liquide.

Dans le brevet US 4505613 [10], la Hakko Company utilise des particules de « plastique » liquide sous forme de « brume », véhiculées par un courant d'air pour revêtir l'intérieur de canalisations destinées au transport du gaz.

Le principe de spray est également utilisé dans le brevet US 4057664 [11] de la Ciba-Geigy Corporation, avec une résine liquide d'époxy bicomposant. Les parties A (époxy) et B (durcisseur) sont mélangées peu avant l'utilisation. L'agent réticulant contient essentiellement du Zn(BF₄)₂, des éthers spécifiques ou des thioéthers, un acide estérifié de l'acide

phosphorique ou pyrophosphorique ou un ester de l'acide phosphonique, et de l'eau. Le système est caractérisé par un temps de réticulation court et un revêtement fortement adhérent et résistant aux produits chimiques. Si la partie A comporte un époxyde avec au moins 50 à 100 % en masse d'époxyde cycloaliphatique, le revêtement final est résistant au vieillissement climatique.

Suivant le brevet US 4327132 [12], les conduites d'eau de diamètre supérieur à ¼" sont également chemisées par une résine époxy bicomposant. Elle est atomisée par un courant d'air important, ce même courant d'air sèche ensuite le revêtement.

Le procédé suisse Intertechno [13] fait circuler, après un nettoyage abrasif (sablage), une résine époxy liquide dans les canalisations des plus petits vers les plus gros diamètres. La quantité de résine, calculée pour une canalisation ou un étage, forme une sorte de « bouchon » poussé par de l'air comprimé. Le chauffage de la résine est assuré par un courant d'air chaud. Le même type de procédé [5] précise que la résine doit avoir un pot-life d'environ 16 heures, pour les petits diamètres. Il a déjà été testé en Allemagne, aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne.

2. EXEMPLE DE MISE EN APPLICATION

La SETHA développe la technique d'enduction par revêtement de résine époxydique au sein des réseaux d'eau potable depuis 1995. Jusqu'à ce jour, elle a réhabilité plus de 200 kms de canalisation.

Le processus de réhabilitation comporte 4 phases :

Phase 1 - Préparation de l'état de surface

- Le nettoyage des conduites est réalisé par tringlage mécanique (un contre débit d'eau est nécessaire pour évacuer les débris).

Phase 2 - Essuyage et séchage de la conduite

- Elimination de l'eau à l'aide de tampons en mousse poussés par air comprimé
- La surface interne de la conduite est ensuite contrôlée par le passage d'une caméra.

Phase 3 - Application de la résine

- Avant application, les 2 constituants de la résine (base et durcisseur) doivent être maintenus à une température minimum de 50°C
- La résine est injectée dans la canalisation par une tête d'application qui pulvérise le mélange (2/3 base et 1/3 de durcisseur) par rotation, à l'extrémité d'un cordon ombilical chauffant pour faciliter le pompage
- La présence de brosses sur la tête de pulvérisation permet de lisser la résine appliquée après projection
- Le tractage du cordon se fait par enrouleur motorisé avec une vitesse telle que l'épaisseur d'époxy déposé sur la paroi de la canalisation est de 600 µm.

Phase 4 - Séchage à l'air chaud

- Après application du revêtement, un air chaud de 40°C est soufflé dans la conduite (2 heures à chaque extrémité de la conduite) afin de catalyser la réaction de polymérisation
- Après le raccordement et la remise en eau, une purge est réalisée pendant 12 heures sur un poteau d'incendie.

L'ensemble de ces opérations qui implique un arrêt d'eau de 10 heures, s'effectue sur des canalisations d'une longueur de 100 mètres et dont le diamètre est compris entre 60 et 300 mm.

Néanmoins, la recherche d'une formulation alternative de la résine jusqu'alors utilisée s'est imposée dernièrement en raison :

- Du **séchage inefficace** lors de son application sur la paroi de la canalisation et des délais de séchage associés important, représentant une gêne pour le consommateur.
- Des **problèmes de relargage de composés organiques** (essentiellement des composés organiques époxydiques) dans l'eau distribuée lors des premières 24 heures qui suivent la remise en eau. Pour autant, une étude toxicologique menée sur ces composés relargués a révélé qu'ils ne présentaient aucun risque pour la santé du consommateur.

Dans un souci du respect des normes en vigueur et afin d'améliorer son procédé, la SETHA a souhaité suivre qualitativement, avec l'aide du centre de recherche sur l'eau de Veolia Environnement, un chantier de réhabilitation afin d'observer le comportement de l'une de leur résine lors des jours qui suivent la mise en eau. En effet, la résine étudiée semble posséder de très bonnes propriétés thermodynamiques avec notamment un séchage très rapide après son application.

Afin de comparer in situ cette résine à celle actuellement utilisée, une campagne de mesures a été réalisée sur un site de Veolia Eau lors d'un chantier de réhabilitation. Au cours de cette campagne de mesures, les paramètres suivant ont été observés:

- Goût
- Odeur
- COT¹
- Empreinte spectrale²

a. MATERIELS ET METHODES

- **Les caractéristiques de la canalisation réhabilitée**

Au cours de la campagne de mesures, la canalisation a été réhabilitée par sections en 3 jours (une section par jour). Au cours de chaque remise en service, le jour même de la réhabilitation, le suivi analytique de la qualité de l'eau a été réalisé. Les caractéristiques de chaque section de la canalisation sont détaillées dans le tableau 1.

tableau 1 : Les caractéristiques techniques des sections de la canalisation réhabilitée

	Section 1	Section 2	Section 3
Longueur (m)	150	125	95
Diamètre (mm)	75	75	75
Volume (m3)	0,66	0,55	0,42
Type de matériau	Fonte grise	Fonte grise	Fonte grise

¹ Carbone Organique Total

² Analyse chromatographique semi-quantitative couplée à une spectrométrie de masse qui permet d'identifier les composés organiques dérivés de la résine époxy et susceptibles d'être relargués dans l'eau

- **Le déroulement de la réhabilitation par résine Epoxy**

La réhabilitation par résine époxy a duré trois jours. Elle s'est déroulée selon les étapes suivantes pour l'ensemble des sections :

1. Préparation de surface

Le premier jour, les sections 1, 2 et 3 ont été désincrustées par un tringlage mécanique afin d'éliminer les incrustations dures telles que les oxydes ferriques ou le tartre (Figure 1). Cette opération a nécessité toute la matinée à raison de 2 heures par section et de 2 équipes de 2 personnes sur le chantier.

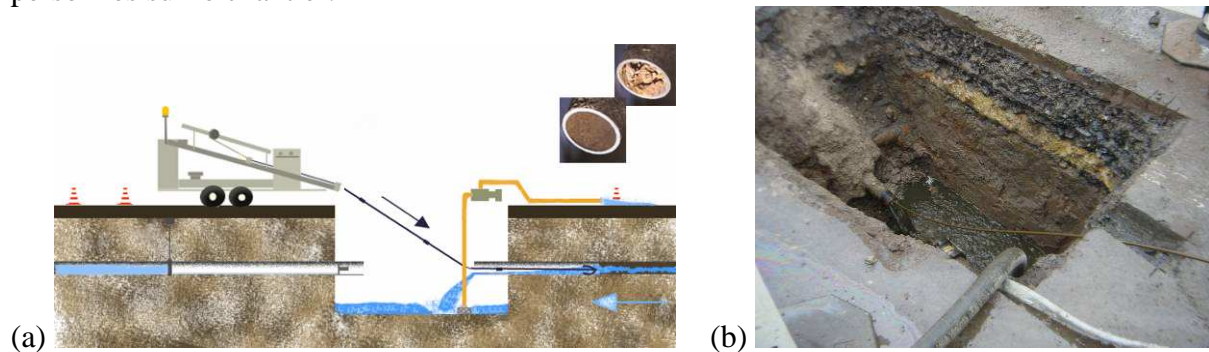


Figure 1 : (a) Schéma de principe du tringlage et (b) photo sur site de l'élimination des dépôts par une tringle rotative avec un contre-débit d'eau

2. Rinçage

Ensuite, la section 1 a été soigneusement rincée et nettoyée à l'aide de tampons en mousse afin d'éliminer les dépôts et l'eau susceptibles de gêner, par la suite, l'application de la résine. L'absence d'eau a été contrôlée à l'aide d'une caméra vidéo. Cette opération a duré 1 heure.

3. Application de la résine

La résine époxy a ensuite été projetée sur la surface intérieure du tuyau à l'aide d'une buse rotative dont le rôle est de réaliser le mélange entre la base et le durcisseur (Figure 2). Après 10 minutes de séchage à l'air libre (la température extérieure était de l'ordre de 2°C), un passage caméra a été réalisé afin de vérifier la bonne application de la résine(Figure 3).

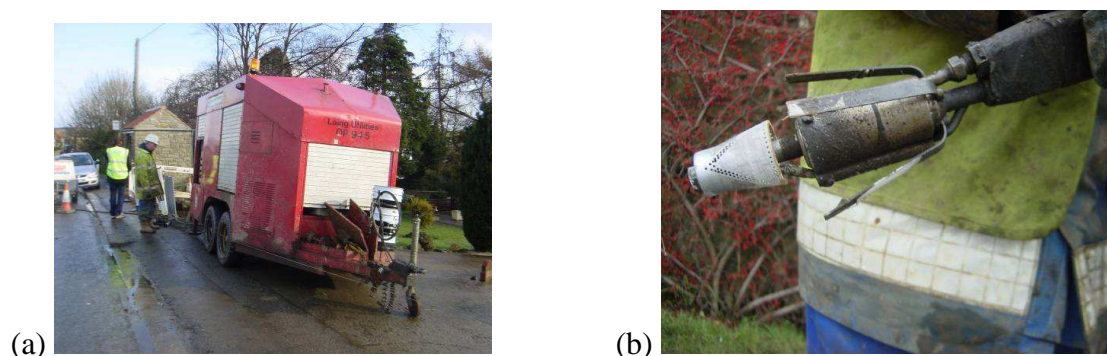


Figure 2 : (a) Machine d'application de la résine époxy et (b) buse rotative permettant l'injection du mélange base/durcisseur dans la canalisation



Figure 3 : Section de conduite après réhabilitation par résine époxy

4. Désinfection

La conduite a été ensuite désinfectée au chlore puis rincée pendant 5 minutes afin d'une part, d'éliminer le chlore et d'autre part, de minimiser le relargage des constituants du revêtement lors de la remise en eau. La remise en eau a eu lieu à en fin de journée. L'ensemble de ces opérations a nécessité une coupure d'eau de 9 heures (entre 8h et 17h).

Puis, la section 2 a été enduite de résine époxy suivant le même procédé que celui utilisé lors de la réhabilitation décrite ci-dessus. La remise en eau a eu lieu à 12h. Enfin, la section 3 a été réhabilitée puis remise en eau à 13h.

- **Le planning de la campagne d'échantillonnage**

Un suivi à court terme de la qualité de l'eau a été effectué le jour même de chacune des trois réhabilitations et pendant les 3 jours qui ont suivi. Les prélèvements ont été réalisés à $T = 0$ (remise en eau de la conduite), 1, 3, 19, 24, 45, 52, 64 et 86 heures. Le planning de la campagne de mesures ainsi que les analyses réalisées sont récapitulés dans le tableau 2.

tableau 2 : Planning des prélèvements lors de la campagne de mesures

Type de prélèvement	Heure	Saveur/odeur	COT	CPG/SM
Eau témoin*		X	X	X
Eau après remise en eau de la section 1	T = 0	X	X	X
	T = 1 H	X	X	X
	T = 3 H	X	X	X
<i>Arrêt d'eau entre T = 15 H et T = 19 H lors de l'application de la résine</i>				
Eau après remise en eau de la section 2	T = 19 H	X	X	X
	T = 24 H	X	X	X
<i>Arrêt d'eau entre T = 41 H et T = 45 H lors de l'application de la résine</i>				
Eau après remise en eau de la section 3	T = 45 H	X	X	X
	T = 52 H			
	T = 64 H			
	T = 72 H	X	X	X
	T = 86 H	X	X	X

* Echantillon d'eau prélevé avant la réhabilitation de la canalisation (analyse de l'équilibre calco-carbonique en sus)

b. RESULTATS ET DISCUSSION

- **Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau distribuée**

Les propriétés physico-chimiques de l'eau distribuée dans le réseau de distribution d'eau potable sont exprimées dans le tableau 3. Deux prélèvements ont été réalisés (avant réhabilitation et 86 heures après la réhabilitation) afin de voir l'impact éventuel de celle-ci sur la qualité de l'eau distribuée. On constate que l'eau distribuée a une légère tendance à être agressive. Aucune différence notable n'a été constatée entre les deux prélèvements.

tableau 3 : Les caractéristiques physico-chimiques de l'eau distribuée

	Avant la réhabilitation	86h après la réhabilitation
pH	7,65	7,5
TAC (°F)	9,3	8,4
Calcium (mg/l)	53,3	53,6
Potassium (mg/l)	1,8	2,4
Magnésium (mg/l)	4,9	4,8
Sodium (mg/l)	16,5	22,5
Nitrates (mg/l)	13,7	13,5
Type d'eau (calcul LPL)	Eau agressive	Eau agressive
COT	1,9	2,0
CPG-SM	Traces de HAP + THM + phtalate	Traces de HAP + THM + phtalate

- **Mesures des paramètres organoleptiques et de la matière organique**

Les résultats des analyses de la saveur, de l'odeur et du COT sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous.

tableau 4 : Résultats des analyses des paramètres organoleptiques et du COT sur les eaux prélevées en sortie de la canalisation réhabilitée

Type de Prélèvement	Odeur	COT (mg C/l)
Eau témoin	Néant	1,9
T = 0	Néant	2,2
T = 1 H	Néant	2,1
T = 3 H	Néant	1,9
T = 19 H	Néant	1,9
T = 24 H	Néant	Non réalisé
T = 45 H	Néant	2,1
T = 52 H	Néant	2,3
T = 64 H	Néant	2,3
T = 72 H	Néant	2,3
T = 86 H	Néant	Non réalisé

En raison de nombreux dépôts au fond des échantillons, les analyses de la saveur n'ont pas pu être réalisées. Ces dépôts, essentiellement d'origine ferrique (dépôts de corrosion), n'ont pas été décelés lors des prélèvements car ils se trouvaient encore en suspension.

Hormis ces analyses de saveur, les analyses d'odeur et du COT ont pu être réalisées sans problème. Celles-ci montrent des résultats comparables entre l'avant et l'après réhabilitation. Aucune odeur suspecte n'a été identifiée lors des analyses que ce soit avant et surtout après la réhabilitation. On ne constate pas de croissance de la valeur du COT lors des différentes remises en eau de la conduite réhabilitée. Le COT varie seulement de $\pm 0,2$ mg/l tout au long du réseau et ce, quel que soit le type de prélèvement. Cela semble déjà indiquer une absence de relargages de composés organiques présents dans la résine époxy vers la phase eau. Ce paramètre est très important pour l'observation de la présence de composés organiques indésirables dans l'eau et d'après la circulaire du 25 novembre 2002 [14], de la direction générale de la santé, l'augmentation de la concentration en COT doit être inférieure à 1 mg C/l dans tout le réseau de distribution d'eau potable. Dans le cas de cette campagne de mesures, **on ne constate pas d'augmentation du COT** alors que trois réhabilitations successives ont été réalisées.

- **Les empreintes chromatographiques**

L'analyse de chacun des échantillons d'eaux prélevés a été réalisée après extraction liquide - liquide au dichlorométhane, puis séparation des différents composés par chromatographie en phase gazeuse. La détection et l'identification ont ensuite été effectuées par spectrométrie de masse.

Afin d'évaluer la concentration des composés susceptibles de se trouver dans les échantillons analysés, une analyse semi-quantitative a été réalisée. Pour cela, des étalons internes ont été introduits lors de l'extraction liquide - liquide. Ces étalons internes ont des temps de rétention voisins de ceux des composés de type époxydique (dérivés d'oxyrane notamment) susceptibles de se trouver dans la résine. En cas de présence de l'un de ces composés, sa semi-quantification peut ensuite être effectuée en faisant le rapport (en %) entre ses ions trouvés dans les échantillons analysés et les ions de ses étalons internes respectifs. Le nom et la concentration des étalons internes introduits dans chacun des échantillons étaient :

- Chloro-1 octane = 20 μ g/l
- Bromo-1 tétradécane = 20 μ g/l

L'ensemble des résultats des analyses CPG-SM sur les échantillons d'eau prélevés avant et après réhabilitation sont récapitulés dans le tableau 5.

tableau 5 : Résultats des analyses semi-quantitatives CPG-SM sur les eaux prélevées en sortie de la canalisation réhabilitée

Type de prélèvement	Composés identifiés
Eau témoin	Présence de sous-produits de chloration, traces non quantifiables de composés dérivés du goudron* et présence de bis(2-ethylhexyl)phtalate de l'ordre de 39 μ g/l
T = 0	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 1 H	Présence de sous-produits de chloration, traces non quantifiables de composés dérivés du goudron* et traces de dibenzofuran (pesticide)
T = 3 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 19 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non

	quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 24 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 45 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 52 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 64 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 72 H	Présence de sous-produits de chloration et traces non quantifiables de composés dérivés du goudron (HAP)*
T = 86 H	Présence de sous-produits de chloration, traces non quantifiables de composés dérivés du goudron* et présence de bis(2-ethylhexyl)phtalate de l'ordre de 22 µg/l

*Pyrène, Fluorène, Fluoranthène, Phénanthrène, Anthracène et leurs dérivés

Les analyses CPG-SM sur les eaux prélevées avant et après la réhabilitation montrent l'absence de composés organiques de type époxy (oxyrane, Bisphénol A, etc.) ainsi que l'absence d'alcool benzylique. Ces divers composés sont les principaux indicateurs d'un mauvais séchage de la résine sur la paroi de la canalisation réhabilitée en raison de leur relargage quasi immédiat dans l'eau distribuée.

Néanmoins, ces analyses CPG-SM ont révélé la présence de composés organiques dérivés du goudron (HAP) mais seulement à l'état de traces (< 1µg/l) ainsi que la présence d'un phtalate dans deux échantillons (eau de référence + eau après 86h). La présence de phtalate n'ayant été décelée que sur deux échantillons, on ne peut conclure qu'à une pollution accidentelle du prélèvement (analyses probablement faites à partir des flacons en plastique ayant servi à faire les analyses de l'équilibre calco-carbonique pour ces deux échantillons (voir tableau 3).

CONCLUSIONS

Différents brevets ont été déposés concernant la réhabilitation par des polymères de canalisations d'eau et de gaz.

Les techniques in-situ les plus répandues pour la réhabilitation des canalisations d'eau potable sont le gainage et l'aspersion d'une résine époxydique.

Lors des chantiers de réhabilitation par application de résine époxy, différentes phases sont à maîtriser pour assurer une bonne tenue du polymère, à savoir :

- La préparation de la surface à réhabiliter
- Les conditions d'application de la résine (température, mélange, temps de séchage..)

Par ailleurs la nature de la résine appliquée doit être hautement prise en considération pour éviter des problèmes sanitaires de relargages de composés organiques, mais aussi faciliter les conditions de mise en œuvre.

Afin d'améliorer son procédé ainsi que son offre de service, la SETHA a souhaité tester une nouvelle résine dont les caractéristiques semblaient prometteuses.

Le tableau 6 résume les avantages et inconvénients de la nouvelle résine par rapport à la résine usuelle de la SETHA.

tableau 6 : Avantages et inconvénients de la résine usuelle et de la résine à prise rapide

Type de résine	Avantages	Inconvénients
Nouvelle résine	<ul style="list-style-type: none"> - Séchage rapide (< 20 minutes) à la température ambiante - Dispose de l'ACS* - Immobilisation de la canalisation sur une durée < 1 jour 	<ul style="list-style-type: none"> - Séchage long (≈ 4 heures)
Résine usuelle	<ul style="list-style-type: none"> - Facilité d'application - Dispose de l'ACS* - Coût du produit 	<ul style="list-style-type: none"> - Température de séchage > 45 °C : difficultés de mise en œuvre sur site - Risques de relargages de composés organiques

*ACS : Accréditation de Conformité Sanitaire

Les résultats obtenus lors du suivi analytique de cette réhabilitation par résine époxy sont très intéressants, notamment pour une utilisation future de cette nouvelle résine. En effet, les analyses réalisées après la remise en eau de la conduite n'ont révélé aucune présence de composés organiques dans l'eau distribuée et ce, malgré trois réhabilitations successives. Ces résultats montrent un séchage complet de la résine après son application.

Au-delà de l'absence de relargage de composés organiques dans l'eau lors de l'utilisation de cette résine, l'un des principaux avantages de cette résine est son séchage extrêmement rapide en moins de 20 minutes et ce, quelle que soit la température extérieure. A titre de comparaison, il faut plus de 4 heures de temps de séchage à la résine utilisée par la SETHA avant sa mise en contact avec l'eau. Ce gain de temps au niveau opérationnel est loin d'être négligeable car il pourrait permettre la réhabilitation de deux canalisations par jour par une même équipe.

Afin de mesurer éventuellement l'impact de cette résine sur la qualité bactériologique de l'eau, des campagnes de mesures complémentaires sont à envisager sachant que peu d'améliorations ont besoin d'être apportées sur les machines actuellement utilisées par la SETHA car le mode d'application de la nouvelle résine est sensiblement le même que celui de la résine usuelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **H. Graftiaux**, « *Réhabilitation des conduites d'eau potable en plomb par revêtement d'un polymère en dispersion aqueuse* », Rapport interne Ajou-Recherche
- [2] **F. Varenterghem**, « *Synthèse et caractérisation de l'adhésion humide de revêtements organiques appliqués sur substrat métallique et réticulables par cuisson flash* », Thèse de l'Université de haute Alsace (1998)
- [3] **D. Gaucher**, « *Revêtements organiques et peintures anticorrosion* » Innovation 128, Centre de Prospective et d'étude. Ministère de la recherche et de l'espace (1992)
- [4] **F. Scragg, P. Marschman**, « *Method of lining a pipe* », US 4,233,101 ; 23 May 1979
- [5] **International Water Supply Association et l'International Society for Trenchless Technology**, Conférence « *Lead Pipe '95 : The rehabilitation and replacement of lead water Pipes* », Antwerpen, Belgique (21-22 mars 1995)
- [6] **K. Inamura, T. Tatsuno, T. Okoshi** (Kansai Paint Company), « *Method for coating the inner surface of metal pipes* », US 3,974,306 ; 4 Oct 1973

- [7] **H. Kato, T. Toyoda, H. Tanabe** (Dai Nippon Co), « *Method for coating inner faces of metal pipes of small diameter* », **US 3,982,050** ; 16 May 1974)
- [8] **W. Scheiber** (Metallgesellschaft AG), « *Method of internally coating ducts with synthetic resin* », **US 3,869,300** ; 22 Oct 1971
- [9] **J.J Packo, D.L. Bailey**, « *Sealing leaks by polymerisation of volatilized aminosilane monomers* », **US 4,237,172** ; 4 Dec.1978
- [10] **M. Koga** (Hakko Co), « *Method for lining pipes in pipelines* », **US 4,505,613** ; 29 Apr 1983
- [11] **T. Audykowski** (Ciba-Geigy Corp), « *Process for the production of quick-curing epoxide resin coating wich are resistant to chemicals and weathering* », **US 4,057,664** ; 18 Aug 1975
- [12] **K. Shinno**, « *Method for lining of inner surface of a pipe* », **US 4,327,132** ; 5 Mar 1981
- [13] **W. Naf** (Intertechno AG), « *Method for the cleaning of the interior of installed conduits* », **US 5,007,461** ; 7 Jun 1988
- [14] Circulaire DGS/SD n°2002-571 relative aux modalités de vérification de la conformité sanitaire des matériaux constitutifs d'accessoires ou de sous-ensembles d'accessoires, constitués d'éléments organiques entrant au contact d'eau destinée à la consommation humaine.