

**MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DE
L'ALIMENTATION, DE LA PECHE ET
DES AFFAIRES RURALES**

**Direction Générale de la forêt et des
affaires rurales**

DOCUMENT TECHNIQUE

FNDAE

Hors Série n° 10

Réhabilitation / remplacement des réseaux d'eau potable en zone rurale

**Cécile AJUSTE
Jean-Marc BERLAND
Jean-Luc CELERIER**

Octobre 2004

**FONDS NATIONAL POUR LE
DEVELOPPEMENT DES
ADDUCTIONS D'EAU**



**Office International de l'Eau
SNIDE**

Le présent document a fait l'objet d'une relecture par :

Monsieur **DEPPNER Damien**, Attaché Technique à la société REHAU.

Monsieur **DUPONT Jean-Dominique**, Chef de Bureau, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales – Direction Générale de la forêt et des affaires rurales - Sous-direction du soutien aux territoires et aux acteurs ruraux – Bureau de l'aménagement rural.

Madame **ELOY-GIORNI Catherine**, responsable commerciale à la société AXEO.

Monsieur **GONZALES Alain**, Chargé de Formation et d'Etudes, Office International de l'Eau – Centre National de Formation aux Métiers de l'Eau.

Madame **THUAULT Maryline**, Chargée de Mission, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires Rurales – Direction Générale de la forêt et des affaires rurales - Sous-direction du soutien aux territoires et aux acteurs ruraux – Bureau de l'aménagement rural.

Nous souhaitons les remercier pour leurs conseils et les précisions techniques qu'ils nous ont apportés.

Sommaire

1	Introduction	6
	PARTIE I : CONNAISSANCES TECHNIQUES NECESSAIRES A L'EVALUATION DES BESOINS EN REHABILITATION / RENOUVELLEMENT DES RESEAUX D'EAU POTABLE	10
2	RISQUES DE DEGRADATION DU RESEAU	11
2.1	Facteurs de désordres	11
2.2	Age des canalisations	12
2.3	Matériaux en contact avec l'eau potable	13
2.3.1	Cadre réglementaire	13
2.3.1.1	Définition et réglementation sur les matériaux en contact avec l'eau potable :	13
2.3.1.2	Réglementation sur l'emploi du plomb :	15
2.3.1.3	Réglementation des conduites en amiante-ciment :	16
2.3.1.4	Objectifs de la future réglementation française :	16
2.3.1.5	Normalisation :	17
2.3.2	Caractéristiques des matériaux	17
3	DEFAILLANCES POSSIBLES ET CONSEQUENCES ASSOCIEES A LA DEGRADATION DU RESEAU	20
3.1	Dégradation de la qualité de l'eau	20
3.1.1	Phénomène de corrosion	20
3.1.1.1	Corrosion interne :	20
3.1.1.2	Corrosion externe :	21
3.1.2	Phénomène d'entartrage	22
3.1.3	Les phénomènes biologiques	22
3.2	Défaillances du régime hydraulique	25
3.2.1	Diminution de la capacité de transport	25
3.2.2	Fuites	26
4	MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE DE RENOUVELLEMENT	28
4.1	Diagnostic du réseau d'eau potable	29
4.1.1	Connaissance des canalisations	29
4.1.2	Enregistrement des données	30
4.1.2.1	Différents types de supports :	30
4.1.2.1.1	Utilisation des plans :	30
4.1.2.1.2	Utilisation des fiches d'intervention	30
4.1.2.1.3	Utilisation d'une base de données informatisée / SIG	32
4.1.2.2	Exploitation des données	32
4.1.2.3	La recherche sur des systèmes d'aide à la décision pour la programmation des besoins en renouvellement des réseaux d'eau potable	33
4.2	Utilisation de techniques d'auscultation	38
4.2.1	Détection de la corrosion :	38
4.2.2	Détection des défaillances hydrauliques	39
4.2.2.1	Détection d'une diminution de capacité de transport	39
4.2.2.2	Détection des pertes :	39
4.2.2.2.1	Le bilan d'eau préconisé par l'International Water Association	39

4.2.2.2.2	La détection des fuites	42
4.2.3	Détection de l'usure	43
4.3	Détermination des critères de renouvellement	44
5	<i>TECHNIQUES DE NETTOYAGE ET DE CURAGE</i>	45
5.1	Purge	46
5.2	Nettoyage par introduction d'un mélange air-eau	47
5.3	Hydrocurage par tête rotative	47
5.4	Nettoyage par racleur souple	47
5.5	Nettoyage mécanique	49
5.5.1	Tringlage mécanique	49
5.5.2	Raclage mécanique	50
6	<i>PROCEDES DE REHABILITATION DES CANALISATIONS</i>	52
6.1	Réhabilitation des réseaux	52
6.1.1	Définition et objectifs	52
6.1.2	Techniques de réhabilitation	52
6.2	Remplacement des réseaux	61
6.2.1	Définition et objectifs	61
6.2.2	Techniques de remplacement	61
6.3	Synthèse sur les techniques de réhabilitation et de renouvellement : arbre de décision	67
7	<i>PROCEDES DE REHABILITATION DES BRANCHEMENTS</i>	68
7.1	Techniques de rénovation	68
7.2	Techniques de remplacement	70
<i>PARTIE II : LE FINANCEMENT DU RENOUELEMENT DES RESEAUX D'EAU</i>		75
8	<i>RENOUELEMENT : UNE DEFINITION PRECISE... UN CONTOUR FLOU</i>	76
9	<i>Renouveler : quand et pourquoi ?</i>	77
9.1	Les raisons du renouvellement	77
9.1.1	Causes techniques	77
9.1.2	Causes économiques	77
9.1.3	Causes technologiques	78
9.1.4	Causes sociales ou réglementaires	78
9.1.5	Causes contractuelles	79
9.2	La gestion patrimoniale des réseaux comme modèle à suivre	79
10	<i>LE FINANCEMENT DU RENOUELEMENT DES RESEAUX D'EAU POTABLE</i>	82
10.1	Le cadre budgétaire et comptable défini par différentes instructions	82
10.1.1	L'obligation d'individualisation budgétaire	82
10.1.2	Le cadre pour la présentation des budgets des services publics d'assainissement et de distribution d'eau potable.	85
10.2	Les différents moyens de financement du renouvellement des réseaux d'eau	86
10.2.1	La voie à privilégier pour le renouvellement des conduites d'eau potable : l'autofinancement local	86
10.2.1.1	L'amortissement des immobilisations	86
10.2.1.1.1	Les différentes notions d'amortissement	86

10.2.1.1.2	Les conditions de mise en œuvre de l'amortissement	89
10.2.1.1.3	La pratique de l'amortissement	93
10.2.1.1.4	La reprise des subventions	95
10.2.1.2	L'autofinancement complémentaire de la section d'investissement	96
10.2.1.3	Les réserves	98
10.2.1.4	Les provisions	98
10.2.1.5	Conclusion sur les différentes possibilités comptables d'autofinancement	100
10.2.1.6	Le financement du renouvellement par le gestionnaire délégué	101
10.2.1.6.1	La provision pour renouvellement	102
10.2.1.6.2	La provision pour risque de renouvellement	103
10.2.1.6.3	L'amortissement de caducité	103
10.2.1.7	Les clauses de renouvellement possibles	104
10.2.1.7.1	La Garantie de Renouvellement	104
10.2.1.7.2	Le compte de renouvellement	104
10.2.1.7.3	Tendance liée à chaque clause de renouvellement	105
10.2.1.7.4	L'amortissement de caducité	105
10.2.1.7.5	Un contrôle par la collectivité nécessaire	106
11	<i>Financement du renouvellement des réseaux d'eau potable : d'autres formes de solidarité</i>	107
11.1	Le système de la Vendée.	107
11.2	Le système de l'Aude	108
11.3	Le système du conseil général du Rhône	108
12	CONCLUSION	110
13	<i>Annexe: définitions des termes utilisés pour le bilan des volumes d'eau en réseau d'eau potable (IWA – 2003)</i>	111
14	BIBLIOGRAPHIE	113
15	INDEX DES TABLEAUX	117
16	INDEX DES PHOTOGRAPHIES	117
17	INDEX DES GRAPHIQUES	118

1 Introduction

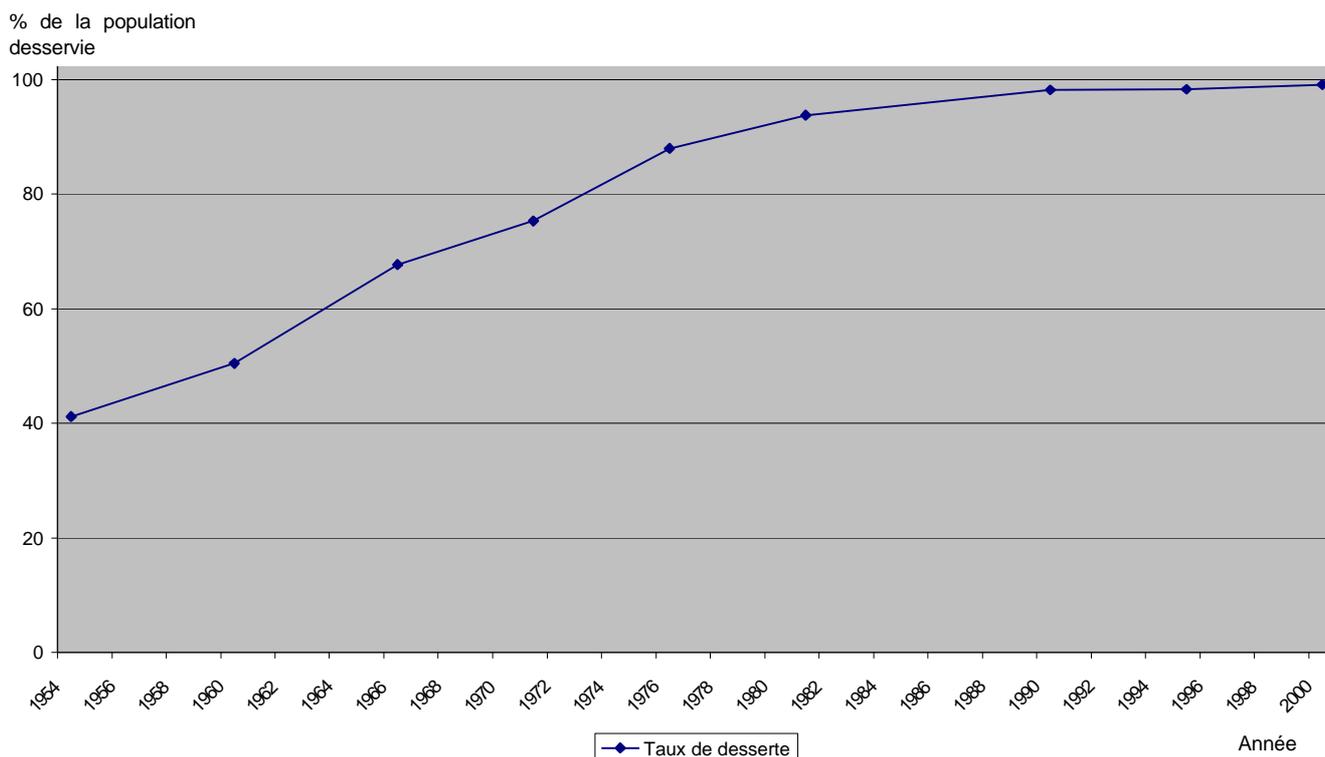
Pour la France entière (métropole et département d'outre mer), le nombre de communes rurales s'élevait à 34647 en 2000 contre 34609 en 1990. L'accroissement de communes s'explique principalement par des séparations de communes anciennement fusionnées.

La population des communes rurales est passée de 24.394.000 à 25.498.543 entre 1990 et 1999 (FNDAE-2004).

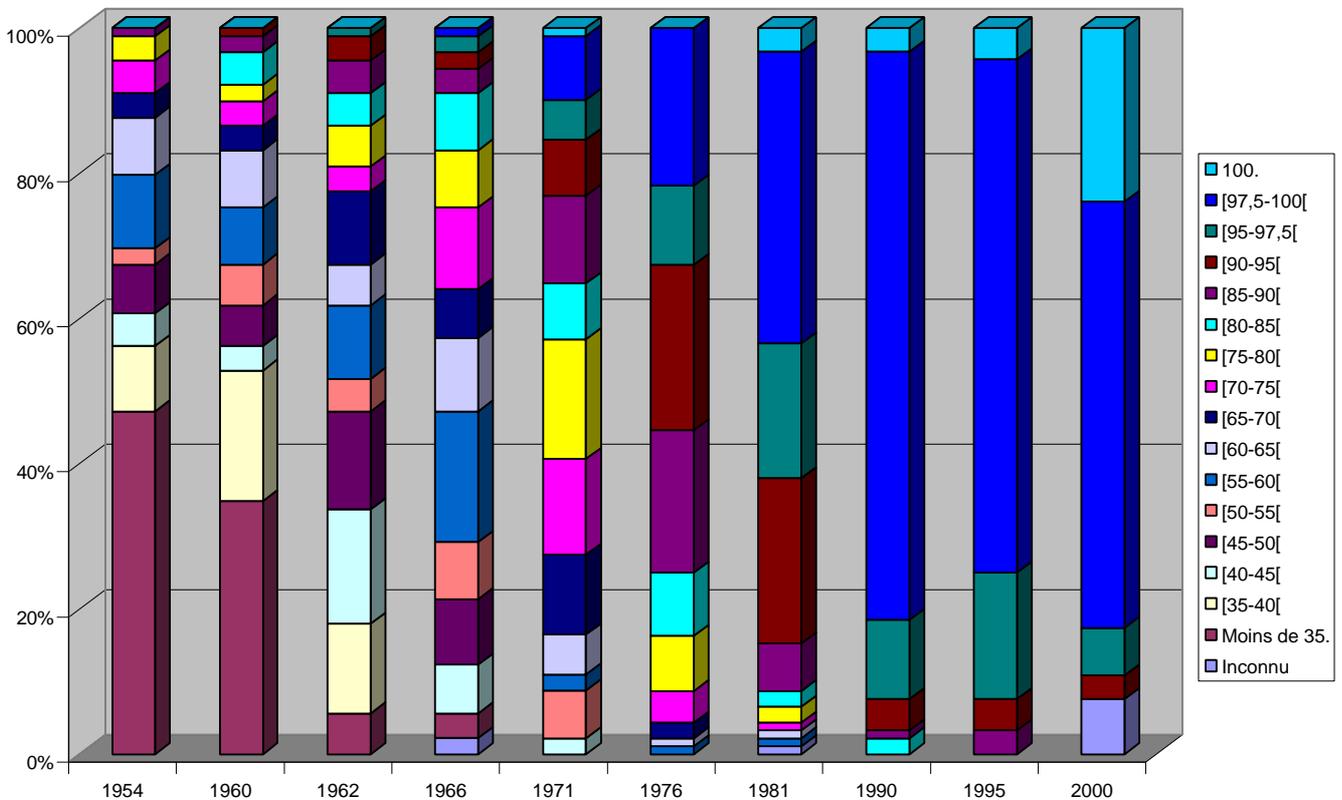
Contrairement à l'assainissement en zone rurale, le réseau de distribution d'eau potable dessert la quasi-totalité de la population rurale qu'elle soit permanente ou saisonnière. En effet le taux de desserte était en 2000 de 99,1 %.

Il ressort de l'analyse des graphiques ci-après (cf. Graphique 1 et Graphique 2) qu'une forte phase d'équipement des zones rurales en infrastructure pour la distribution d'eau potable a eu lieu entre la fin des années 50 et le début des années 80.

Graphique 1. Evolution du taux de desserte par le réseau de distribution d'eau potable



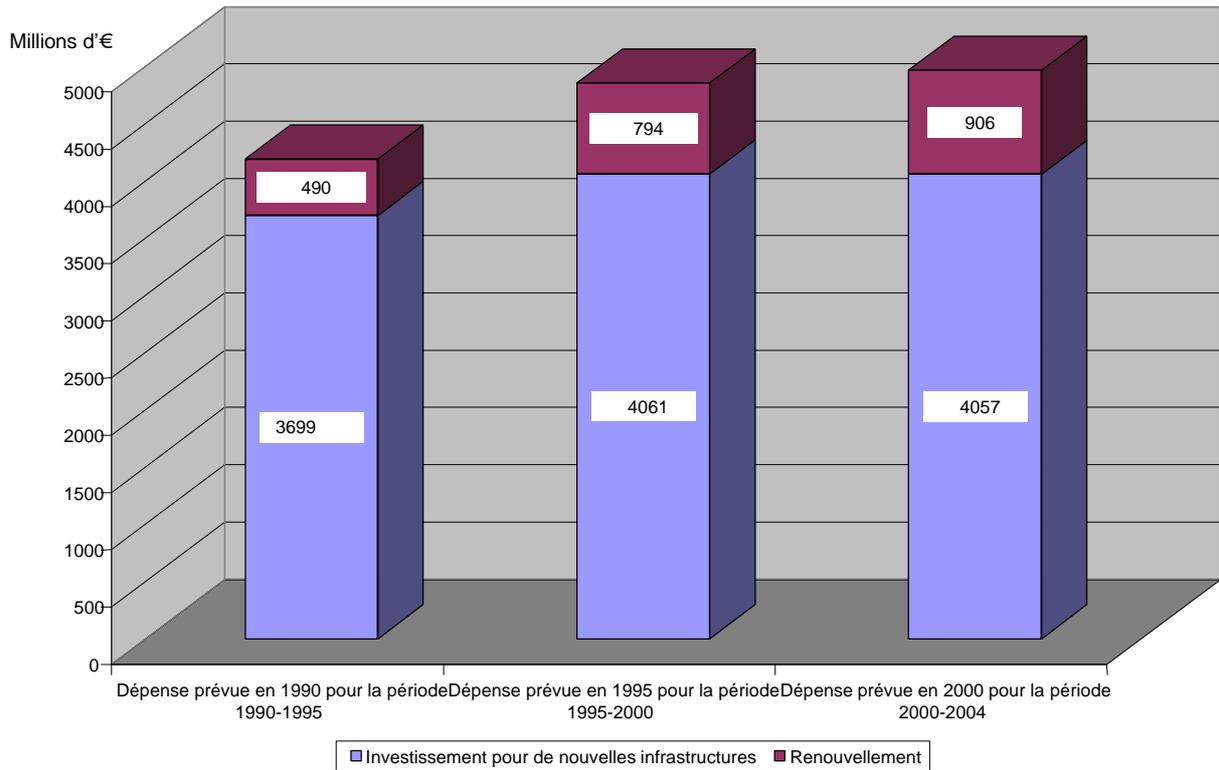
Graphique 2. La desserte par les réseaux d'eau potable dans les communes rurales de France métropolitaine – nombre de départements concernés (d'après dépouillement des enquêtes FNDAE relatives à l'alimentation en eau potable et à l'assainissement)



Le contexte est donc fort différent de celui de l'assainissement et, dès 1993, la nécessité de se préoccuper du renouvellement était soulignée dans la *synthèse nationale de la situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement des communes rurales en 1990*. En effet, cette synthèse indiquait que « l'obsolescence et la vétusté des équipements d'alimentation en eau potable constituent une réalité grandissante, révélée notamment par le recensement des insuffisances de la distribution, mais ce problème n'est pas encore abordé par tous les départements ».

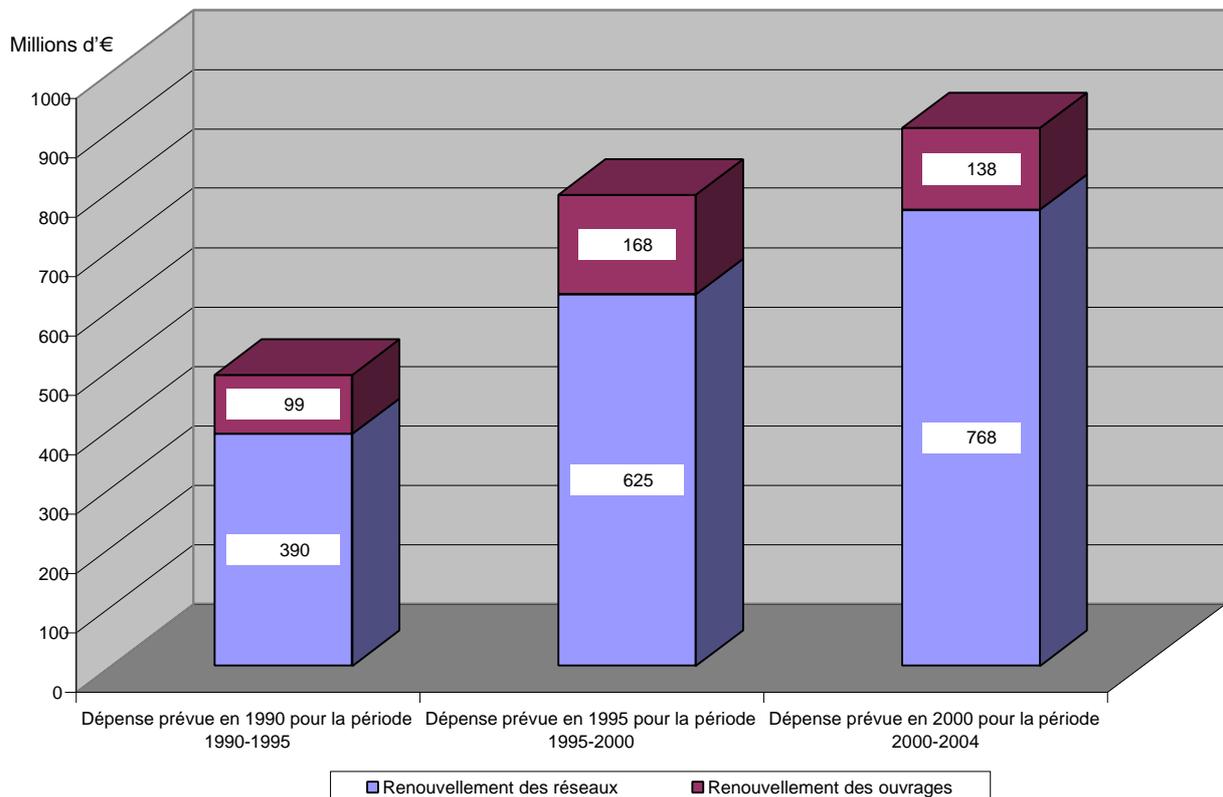
De fait, la programmation des investissements par les Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt (D.D.A.F.) montrent depuis 1990 une préoccupation importante et grandissante vis-à-vis de la problématique du renouvellement (cf. Graphique 3)

Graphique 3. Historique des prévisions de dépenses effectuées par les DDAF en ce qui concerne les infrastructures de distribution d'eau potable



Le renouvellement des réseaux est le poste qui mobilise le plus de besoins en ce qui concerne les dépenses programmées pour le renouvellement.

Graphique 4. Historique des prévisions de dépenses pour renouvellement effectuées par les DDAF en ce qui concerne les infrastructures de distribution d'eau potable



Dans ce document, nous aborderons donc :

- les causes de désordres et de défaillances au niveau des réseaux d'eau ;
- leurs conséquences sur le service ;
- le suivi de l'état des réseaux et les techniques à utiliser pour remédier à leur dysfonctionnement.

Par ailleurs, les règles de la comptabilité publique obligent la plupart des communes à provisionner les sommes nécessaires au renouvellement des infrastructures de production / distribution d'eau potable et de réaliser différents amortissements. Nous rappellerons ici ces règles et ce qu'elles impliquent pour les finances locales.

**PARTIE I : CONNAISSANCES TECHNIQUES
NECESSAIRES A L'EVALUATION DES BESOINS
EN REHABILITATION / RENOUVELLEMENT DES
RESEAUX D'EAU POTABLE**

2 RISQUES DE DEGRADATION DU RESEAU

Le réseau d'adduction d'eau potable est le siège potentiel de dégradations diverses, responsables de mauvais fonctionnements et de dommages plus ou moins sérieux.

Bien que ces risques de dégradation soient multiples, il est cependant nécessaire d'apporter une attention particulière :

- aux principaux facteurs de désordres ;
- à l'âge des canalisations ;
- aux matériaux en contact avec l'eau et à leurs principales caractéristiques.

2.1 *Facteurs de désordres*

D'origine mécanique, chimique ou biologique, les facteurs de désordre interne ou externe participent à la dégradation des canalisations, fragilisant davantage les vieilles conduites.

Le tableau suivant donne un inventaire des problèmes rencontrés sur le réseau d'eau potable, en identifiant les désordres liés à l'eau distribuée, à la canalisation elle-même et au milieu environnement.

Cependant, ces facteurs de désordre, même combinés entre eux, ne sont pas les seuls éléments à prendre en compte pour engager des opérations de renouvellement : une telle décision est entraînée par l'apparition de facteurs déclenchants, encore appelés critères de renouvellement que nous aborderons au paragraphe 4.3.

Tableau 1. Facteurs de désordres d'un réseau d'eau potable

DESORDRES LIES A L'EAU DISTRIBUEE	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>d'ordre qualitatif</i> : 	<ul style="list-style-type: none"> - eau agressive (phénomène de corrosion interne) - eau incrustante (entartrage) - eau turbide - eau à forte teneur en fer ou en manganèse,
<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>d'ordre hydraulique</i> : 	<ul style="list-style-type: none"> - variations de pression, coup de bélier,
DESORDRES LIES A LA CANALISATION ELLE-MEME	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ mauvais choix initial du matériau ou du diamètre (surdimensionnement ou sousdimensionnement) ▪ mauvaise qualité du matériau : défaut du revêtement ou défaut de structure (fissuration, ovalisation, graphitisation...) ▪ joints des tuyaux défectueux ou inadaptés ▪ défaut de pose 	
DESORDRES LIES AU MILIEU ENVIRONNANT	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ caractéristiques mécaniques médiocres des terrains (charges transmises aux canalisations) ▪ présence de nappes phréatiques ▪ pose ou remplacement d'autres réseaux et travaux de voirie (mouvements et déstabilisation des sols) ▪ courants « vagabonds » générés par des installations électriques ▪ variations de température (chocs thermiques fatiguant les conduites ; la charge supportée par la canalisation augmente lorsque le sol est gelé) ▪ agressivité naturelle des terrains ou des remblais (phénomènes de corrosion externe) ▪ présence dans le terrain de produits corrosifs ou chimiques 	

2.2 Age des canalisations

Le vieillissement des canalisations et de leurs accessoires est, par nature, inéluctable : les matériaux se dégradent ou se fragilisent au fil du temps, l'environnement évolue et les terrains bougent.

Cependant, le vieillissement ne dépend pas que de l'âge de la conduite mais aussi :

- de son environnement : il existe des canalisations de plus de cent ans d'âge en très bon état et d'autres de dix ans à peine qui sont déjà hors d'usage, car situées en terrain instable ou agressif ou encore mal posées... ;
- des qualités intrinsèques des matériaux : résistance à la corrosion insuffisante, mauvais revêtement de surfaces...
- des conditions d'exploitation et de pose du réseau : remblayages exécutés avec des matériaux inadéquats et sans précautions, coups de bélier.

Donc, l'âge du réseau, même s'il constitue un bon critère, ne permet que de suspecter l'état d'usure potentiel et ne doit pas être le prétexte d'un renouvellement systématique ; il n'est pas en soi un facteur de désordre, ni un facteur déclenchant. Mais il peut en devenir un, si aucun autre facteur ne se manifeste véritablement.

2.3 Matériaux en contact avec l'eau potable

2.3.1 Cadre réglementaire

2.3.1.1 Définition et réglementation sur les matériaux en contact avec l'eau potable :

Comme le rappelle l'**annexe 7 de la circulaire n° 633 du 30 décembre 2003**, il est entendu par « matériaux » « l'ensemble des produits et objets utilisés dans les installations de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine servant à acheminer l'eau sans en modifier sa composition physico-chimique ou microbiologique. C'est le cas notamment des tuyaux, des raccords, des revêtements, des joints, des accessoires (pompes, vannes, robinets, ...), qu'ils soient constitués de matière métallique, minérale ou organique (caoutchouc, plastique renforcé ou non par des fibres de verre, ...). Ne sont donc pas considérés comme des « matériaux » les produits et objets utilisés pour le traitement de l'eau. »

L'**article R1321-48 du Code de la Santé Publique** relatif à la transcription en droit français de la directive 2000/60/CE, établit la réglementation sur l'utilisation des matériaux en contact avec l'eau et prévoit que « les matériaux utilisés dans les systèmes de production ou de distribution, au contact de l'eau destinée à la consommation humaine, ne doivent pas être susceptibles d'altérer la qualité de l'eau. Leur utilisation est soumise à une autorisation du ministre chargé de la santé, donnée après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Les conditions de cette autorisation sont précisées par un arrêté des ministres chargés de la santé, de l'industrie et de la consommation, pris après avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments. »

L'**arrêté du 29 mai 1997 modifié¹**, stipule notamment, aux articles 2 et 3 que « les fabricants de matériaux ou d'objets doivent tenir à disposition du ministre chargé de la santé, des informations permettant de vérifier » l'innocuité sanitaire de leurs produits et que « tout opérateur (grossistes, installateurs, distributeurs d'eau, ...) appelé à intervenir dans la réalisation d'installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eaux destinées à la consommation humaine doit s'assurer auprès de ses fournisseurs, par tout moyen approprié, que les matériaux ou objets qui lui sont livrés sont conformes aux dispositions du présent arrêté ».

¹ Arrêté du 29 mai 1997 relatif aux matériaux et objets utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine. Modifié par arrêtés du 24 juin 1998 (JO du 25 août 1998), du 13 janvier 2000 (JO du 21 janvier 2000) et du 22 août 2002 (JO du 3 septembre 2002).

L'article 5.1 de l'arrêté précité indique les matériaux pouvant être utilisés au contact d'eaux destinées à la consommation humaine :

- les métaux, alliages et revêtements métalliques sous réserve que leur composition et leur teneur en impuretés respectent les prescriptions définies en annexe de l'arrêté,
- les matériaux à base de liants hydrauliques, y compris ceux au sein desquels sont incorporés des constituants organiques, les émaux, les céramiques et le verre, sous réserve que leur composition respecte les prescriptions définies en annexe II de l'arrêté,
- les matériaux organiques fabriqués à partir des constituants chimiques autorisés au titre de la réglementation relative aux matériaux et objets pouvant être placés au contact des denrées alimentaires ainsi que ceux définis en annexe III de l'arrêté.

Pour les accessoires (tels que pompes, vannes ou dispositifs de robinetterie sanitaire), l'arrêté n'apporte aucune précision quant à la nature des preuves à apporter pour attester de l'innocuité sanitaire de ces produits.

Mis en place à partir de 1999, le **système d'attestation de conformité sanitaire** (ACS), défini par les circulaires du 12 avril 1999, du 27 avril 2000 et du 25 novembre 2002, permet d'évaluer l'aptitude d'un matériau organique ou d'un accessoire constitué d'au moins un élément organique entrant au contact d'eau, à entrer au contact d'eau destinée à la consommation humaine et de s'assurer du respect des dispositions de l'arrêté du 29 mai 1997 modifié.

L'ACS est délivrée par un laboratoire agréé par le ministère chargé de la santé. Les laboratoires sont agréés par la Circulaire DGS/SD7 A n° 2003-633 du 30 décembre 2003. Il s'agit :

- du centre de recherche, d'expertise et de contrôle des eaux de Paris (CRECEP) à Paris ;
- de l'institut Pasteur (IP) à Lille ;
- du laboratoire d'hygiène régional en santé publique (LHRSP) à Vandoeuvre-lès-Nancy ;
- du laboratoire Santé-Environnement-Hygiène de Lyon (LSEHL) à Lyon.(2).

Une liste des matériaux organiques disposant d'une ACS est publiée régulièrement par la Direction Générale de la Santé et est disponible sur le site internet de ce ministère.

Deux textes concernant les matériaux destinés à être en contact avec l'eau destinée à la consommation humaine ont été publiés au JO du 23 octobre 2004 :

- le premier (un arrêté daté du 16 septembre 2004) proroge pour une durée de trois ans les dispositions de la section 4 de l'arrêté du 29 mai 1997 et la date de validité de ses annexes I à IV.
- Le deuxième texte (un avis) est relatif à l'obligation pour les fabricants de matériaux et d'objets entrant au contact d'eau destinée à la consommation humaine de faire la preuve de la conformité sanitaire de leurs produits

Cette obligation qui s'applique d'ores et déjà à un certain nombre de matériaux, d'objets (les tuyaux, les raccords, les revêtements, les joints) et d'accessoires (poteaux et bouches d'incendie et certains robinets) va progressivement être étendue à un ensemble plus vaste de matériaux, objets et accessoires destinés à être en contacts avec l'eau potable. Ce texte

précise l'échéancier et le type d'objets, accessoires et matériaux qui vont progressivement être soumis à cette obligation.

2.3.1.2 Réglementation sur l'emploi du plomb :

Sur le long terme, un risque toxicologique dû à l'absorption d'eau contenant des concentrations excessives en plomb est à craindre ; ces émissions sont d'autant plus importantes que le pH de l'eau est faible. Par conséquent, le décret n°89-3 du 3 janvier 1989 modifié, article 28, interdit la mise en place de canalisations en plomb pour les installations nouvelles, à la suite du complément apporté par le **décret n° 95-363 du 5 avril 1995**.

D'autres matériaux, utilisés pour la construction des réseaux intérieurs, peuvent également être à l'origine d'une dégradation de l'eau potable par le plomb. C'est notamment le cas de l'acier galvanisé, de certains PVC (parmi les premiers PVC posés), du laiton ou encore des brasures tendres à l'étain utilisées dans les réseaux en cuivre.

L'**arrêté R1321-51 du code de la santé publique** introduit l'interdiction d'emploi de brasures contenant des additions de plomb depuis août 1997.

L'**article 35 du décret n°2001-1220** rappelle l'interdiction de « la mise en place de canalisations en plomb ou de tout élément en plomb dans les installations de distribution d'eau destinée à la consommation humaine ».

Suite aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la directive européenne 98-83 du 3 novembre 1998 abaisse la valeur paramétrique du plomb dans l'eau de 50 µg/l à 10 µg/l pour la fin 2013 en passant par une étape transitoire à 25 µg/l à la fin 2003. Un commentaire indique qu'il faut en priorité agir sur les zones où les concentrations en plomb dans les eaux destinées à la consommation humaine sont les plus élevées, c'est-à-dire les eaux à pH acide. Il est également précisé que la concentration en plomb doit être mesurée sur un échantillon représentatif prélevé à un robinet.

Rappels techniques sur le plomb :

L'eau, en passant dans le tuyau en plomb, peut, selon ses caractéristiques physico-chimiques, « dissoudre » le métal, qui va rester en suspension dans l'eau. Les facteurs contribuant à la dissolution du plomb sont : pH, TAC, temps de stagnation, longueur du tuyau. A temps de stagnation et de longueur identiques, les eaux calcaires, caractérisées par des pH plus élevés, freinent la solubilité du plomb tandis qu'un pH faible augmente la corrosivité de l'eau, cet effet s'amplifiant avec des eaux de TAC inférieur à 7°F. La connaissance de ces paramètres est donc utile.

Les concentrations en plomb de l'eau potable en sortie des unités de traitement sont généralement si faibles qu'elles sont inférieures aux limites de détection des techniques d'analyse. C'est donc lors du transport dans des tuyauteries et branchements fabriqués dans ce métal que la pollution de l'eau potable a lieu suite à des phénomènes de dissolution. Les réseaux en plomb sont principalement le fait d'immeubles et d'habitations anciennes en parties

privatives et de certains branchements de la partie publique du réseau. Dans ces conditions, même lorsque le réseau public de distribution ne contient plus de canalisations en plomb, il est impossible de garantir une absence totale de risque de contamination au robinet du consommateur.

Nota : un guide pratique relatif au « Contrôle de la concentration en plomb dans l'eau : échantillonnage, prélèvement, analyse, interprétation » établi par le Groupe de travail « Plomb dans l'eau » de l'AGHTM en juin 2001 est disponible sur le site Internet du Ministère de la santé. L'objectif de ce guide est de définir les conditions d'échantillonnage (choix des points de prélèvement) et les méthodes de prélèvement à mettre en œuvre pour évaluer la concentration en plomb dans l'eau au robinet des consommateurs et de fournir des indications pratiques pour l'interprétation des résultats des mesures.

Ce guide est une annexe de la circulaire DGS/ N° 309 du 3 mai 2002 définissant les orientations du ministère chargé de la santé et les actions à mettre en œuvre par les DDASS, DRASS et SCHS dans le domaine de la lutte contre l'intoxication par le plomb pour l'année 2002 (cf. <http://www.sante.gouv.fr/html/pointsur/saturn/5saturn1.htm>).

2.3.1.3 Réglementation des conduites en amiante-ciment :

Le **décret n° 96-1133 du 24 décembre 1996**, pris en application du code du travail et du code de la consommation, prévoit que « la fabrication, la transformation, la vente, l'importation, la mise sur le marché national et la cession à quelque titre que ce soit de toutes variétés de fibres d'amiante, que ces substances soient ou non incorporées dans des matériaux, produits ou dispositifs » sont interdites.

Cette réglementation est entrée en vigueur depuis le 1^{er} janvier 1997.

2.3.1.4 Objectifs de la future réglementation française :

A l'échelon français, l'annexe 7 de la circulaire du 30 décembre 2003 informe qu'« un futur arrêté abrogera l'arrêté du 29 mai 1997 modifié relatif aux matériaux et objets utilisés dans les installations fixes de production, de traitement et de distribution d'eau destinée à la consommation humaine. Il :

- visera les matériaux constitutifs des produits et objets utilisés dans les installations de production, de traitement et de distribution des eaux destinées à la consommation humaine, tels que les tuyaux, les raccords, les revêtements de réservoirs, les joints et les composants d'accessoires, quelle que soit la matière utilisée. Ces dispositions s'appliqueront aux matériaux utilisés dans les installations neuves ou faisant l'objet de rénovations,
- définira les principes sanitaires généraux applicables aux matériaux constitutifs de ces produits et objets,
- précisera les obligations incombant aux différents fabricants de matériaux et objets destinés à entrer au contact d'eau de consommation humaine et aux opérateurs,
- réactualisera les règles de composition des matériaux métalliques et minéraux,

- reconnaîtra le système de vérification de la conformité sanitaire des matériaux organiques et des accessoires (ACS), tel que défini actuellement dans les circulaires du 12 avril 1999, du 27 avril 2000 et du 25 novembre 2002, et étendra ce système aux produits à base de liants hydrauliques (bétons et mortiers),
- reprendra les critères d'acceptabilité des matériaux à respecter lors des essais de migration réalisés par les laboratoires habilités par le ministère chargé de la santé,
- prendra en compte les orientations prévues par les travaux communautaires dans le cadre de la mise en œuvre du système d'acceptation des matériaux (European Acceptance Scheme²). »

2.3.1.5 Normalisation :

Outre les textes réglementaires, il existe un certain nombre de normes pour les matériaux.

La fonte et l'acier doivent obligatoirement être revêtus :

- intérieurement : à base de mortier de ciment, selon la norme NF A 49-701, ou à base d'un film organique (exemple époxy), selon la norme NF A 49-709
- extérieurement : à base de résine époxydique, selon la norme NF A 49-706.

Les ciments, mortiers et bétons doivent respecter les normes NF P 15-301, NF P 18-331 et NF P 18-303/305.

L'usage de matériaux organiques doit satisfaire aux essais de laboratoires approuvés par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPPF) et répondre aux normes XP P 41-250-1-2-3 de l'AFNOR, actuellement en cours de révision.

Les normes visées pour le PVC (polychlorure de vinyle), le PEHD (polyéthylène haute densité) et le PRV (plastique renforcé de verre) sont respectivement NF T 54-016, NF T 54-063 et NF T 57-200.

2.3.2 Caractéristiques des matériaux

Il existe trois grandes familles de matériaux, répertoriés dans les trois tableaux présents ci-après. Il s'agit :

- des matériaux métalliques ;
- des matériaux à base de ciment ;
- des matériaux organiques.

² Concernant l'EAS, la Circulaire DGS/SD7 A n° 2003-633 du 30 décembre 2003 précise que « la Commission européenne définit actuellement les règles du futur système européen harmonisé d'acceptation des matériaux entrant au contact de l'eau destinée à la consommation humaine (EAS) en vue de faire disposer du marquage CE-EAS les produits de la construction entrant au contact d'eau. Dans le cadre de la mise en place de ce marquage, la Commission européenne a fixé, dans sa décision du 13 mai 2002 à « 1+ » le niveau d'attestation de conformité pour les produits de la construction entrant au contact de l'eau. Cela signifie qu'à terme ces produits devront être testés par un organisme notifié, préalablement à leur mise sur le marché sur le territoire européen et que les fabricants devront faire inspecter et auditer régulièrement leurs usines de production. La fin des travaux d'élaboration de l'EAS est prévue pour 2006.

Dans l'attente de la publication de l'arrêté précité puis de la mise en œuvre de l'EAS, les dispositions de l'arrêté du 29 mai 1997 modifié restent en vigueur. »

⇒ les **matériaux métalliques** : conduites en métal ferreux nu (fontes ou aciers anciens), plomb, cuivre, acier galvanisé...

Interactions complexes, les réactions de corrosion conduisent toutes à l'émission d'ions métalliques dans l'eau et entraînent :

- la formation d'hydroxycarbonates ou d'hydroxyphosphates peu solubles pour les matériaux comme le plomb, le cuivre et le zinc ;
- la précipitation des ions ferriques pouvant provoquer le percement des parois des conduites en métal ferreux ;
- la formation d'incrustations (diminution du diamètre).

Tableau 2. Matériaux métalliques : particularités, qualités et inconvénients

MATERIAUX METALLIQUES	PARTICULARITES	ATOUTS	LIMITES / PRECAUTIONS D'EMPLOI
Fonte ductile	revêtement intérieur en ciment	- résistance mécanique	- coûts de manutention (poids) - nombre de joints important - nécessite une protection cathodique passive
Acier	- revêtement intérieur - revêtement extérieur thermo-plastique, depuis 1990 : . polyéthylène tri-couches . polypropylène tri-couches	- bonne étanchéité, - diminution du nombre de joints	- nécessite une protection cathodique active
Fonte grise	La fonte grise n'est aujourd'hui plus posée.		- sensibilité à la corrosion car posée sans protection cathodique (cependant ce type de fonte est moins sensible à la corrosion que la fonte ductile) - sensibilité aux chocs et surpressions (risques de cassures)
Plomb	INTERDIT (décret n° 95-363 du 5 avril 1995 et arrêté du 10 juin 1996)		- Risque de dissolution du plomb dans l'eau lorsque l'eau est agressive

⇒ les **matériaux à base de ciment** : conduites en béton armé ou précontraint, revêtement en mortier de ciment.

Du fait de la grande porosité de ces matériaux, l'eau retenue dans les pores dissout les bases et la chaux, contenues dans le matériau (avec en plus, le cas échéant, la migration de substances provenant d'additifs technologiques). Ainsi, au passage de l'eau, ces bases se dissolvent dans le courant d'eau dont elles augmentent le pH de quelques dixièmes d'unités. Ce phénomène est surtout observé dans les mois qui suivent la mise en service du réseau. De plus, au contact d'eaux très agressives, les matériaux à base de ciment se dégradent et le sable de surface se détache des parois. Ce sable est ensuite entraîné dans l'eau distribuée.

Tableau 3. Matériaux à base de ciment : particularités, qualités et inconvénients

MATERIAUX A BASE DE CIMENT	PARTICULARITES	ATOUTS	LIMITES / PRECAUTIONS D'EMPLOI
Amiante-ciment	INTERDIT (décret n° 96-1133 du 24 décembre 1996)		- sensibilité au choc - dissolution du liant hydraulique en cas d'eau agressive - exposition des travailleurs à l'amiante, lors de travaux d'entretien sur ces canalisations
Béton	utilisé pour des diamètres de 400 à 4000 mm	bonne résistance mécanique	- possibilité d'affecter les caractéristiques organoleptiques de l'eau par relargage de produits

⇒ les **matériaux organiques** : conduites en matériaux plastiques et revêtements organiques. Les interactions entre ces matériaux et l'eau se limitent le plus généralement à la migration de substances présentes dans le matériau (relargage de métaux lourds, d'hydrocarbures, de solvants, ...) ou provenant de l'environnement et ayant pu le traverser (perméation). Les caractéristiques de l'eau n'ont pas ou très peu d'incidence sur les mécanismes d'interaction.

Tableau 4. Matériaux organiques : particularités, qualités et inconvénients

MATERIAUX ORGANIQUES	PARTICULARITES	ATOUTS	LIMITES / PRECAUTIONS D'EMPLOI
PVC (polychlorure de vinyle) Joints collés et joints élastomères	diamètres variés, surtout inférieurs à 300 mm	- résiste à la corrosion, - flexible, - légèreté facilitant la pose - raccords faciles.	- matériaux relativement sensibles aux variations de température, - relargage de certaines substances - perméation (hydrocarbures) - remblai à exécuter avec le plus grand soin <u>Pour les vieux PVC :</u> - fuites fréquentes aux niveau des joints collés.
PE (polyéthylène)	existe en deux qualités : - haute densité (PEhd) - basse densité (PEbd)	- résiste aux ultraviolets, - résiste à la corrosion, - flexible, - légèreté facilitant la pose	- nécessite un savoir-faire spécifique pour la réalisation des raccords - dans les sous-sols pollués, risques, à terme, de perméation (hydrocarbures)

Nota 1 : Les tuyaux en PVR, c'est-à-dire en résine polyester renforcée de fibres de verre, sont reconnus pour leur excellente résistance corrosion.

Nota 2 : Les conduites en MO PVC (molecularly orientated PVC) présentent les mêmes atouts que celles en PVC « classique » mais présentent, en plus, une durée de vie plus élevée et une meilleure résistance aux fortes pressions.

Remarques sur les équipements de réseaux :

Les **bronzes et les laitons** utilisés pour la fabrication des pièces de raccords et de robinetterie et qui contiennent le plus généralement du plomb jusqu'à des teneurs de l'ordre de 2 à 5%, peuvent dans certaines conditions émettre du plomb en concentration non négligeable.

Les **éléments de robinetterie nickelés ou chromés** peuvent émettre du nickel à des concentrations qui peuvent être de l'ordre de 20 µg/l.

3 DEFILLANCES POSSIBLES ET CONSEQUENCES ASSOCIEES A LA DEGRADATION DU RESEAU

L'apparition de dégradations ponctuelles ou récurrentes témoigne d'une défaillance dans le réseau de distribution d'eau. Les répercussions sont variées et peuvent entraîner risques sanitaires ou simples désagréments auprès des abonnés, ruptures, percements, fuites, ...

Il est donc primordial d'avoir une connaissance de l'ensemble de ces phénomènes pour pouvoir prétendre à une identification précise sur le terrain.

3.1 *Dégradation de la qualité de l'eau*

3.1.1 Phénomène de corrosion

La corrosion touche entre le quart et la moitié des canalisations, en particulier les anciennes canalisations en fonte grise et en acier non revêtues.

3.1.1.1 Corrosion interne :

Photographie n°1. Conduite de diamètre 80 mm ayant subi des dépôts ferriques de corrosion interne (Source : EISENBEIS Patrick – 1995)



Liée à la qualité de l'eau et à ses différentes caractéristiques la corrosion interne peut provenir :

- du pH, du taux d'oxygène dissous, de l'écart par rapport à l'équilibre calco-carbonique ;
- de l'oxydation d'ions ferreux en ions ferriques principalement avec une eau douce, acide ou désaérée. Une coloration noire de l'eau est liée à la présence de manganèse. Ce phénomène, qui génère une eau rouge et des dépôts, est fréquemment constaté sur les conduites en fonte grise et en acier non revêtues.

- du développement d'un biofilm bactérien sur les parois affectant inévitablement tous les types de conduites.

De plus, la corrosion des conduites et la formation de dépôts sont favorisées :

- par une stagnation de l'eau dans le réseau, notamment dans les conduites en antenne, les zones soumises aux variations saisonnières importantes de population et les canalisations surdimensionnées
- par une turbidité et des concentrations en ions métalliques élevées.

Des risques de contamination sont à craindre lorsque le biofilm se développe ou lorsqu'une plus forte consommation de chlore est enregistrée.

Ces phénomènes de corrosion interne peuvent entraîner une diminution du diamètre intérieur de la paroi liée à l'existence de dépôts et une fragilisation de la structure interne de la canalisation.

3.1.1.2 Corrosion externe :

Photographie n°2. Conduite de diamètre 80 mm ayant subi une corrosion externe localisée (courants vagabonds, hétérogénéité du sol, ...) (Source : EISENBEIS Patrick – 1995)



La corrosion externe correspond à un échange d'ions entre le sol et la paroi de la conduite, avec des origines diverses telles que :

- les courants « *vagabonds* » du sol, générés par la proximité d'installations électriques en courant continu (voies de chemin de fer, tramways, ouvrages miniers,...), augmentent les risques de corrosion des canalisations métalliques qui sont d'excellents conducteurs. En l'absence de protection, le phénomène de corrosion externe est accéléré ;
- *l'hétérogénéité du sol* : plus la texture du sol est fine, plus il retient l'eau et plus la corrosion est importante. L'évaluation de la corrosivité du milieu ambiant est définie sous la norme AFNOR NF 250 « Evaluation de la corrosivité des sols vis-à-vis des canalisations en matériaux ferreux » ;

- *l'hétérogénéité de surface* : lors de mauvaises conditions de pose des canalisations, une partie de la pellicule superficielle d'oxyde peut être enlevée, entraînant une discontinuité et la création d'un phénomène de pile électrique;
- *l'hétérogénéité de contact* : la présence de différents métaux, soit au niveau des raccordements de canalisation, soit au niveau des colliers et des vannes des branchements peut aussi générer des phénomènes de pile électrique.

En outre, le phénomène de corrosion peut interagir avec d'autres faits gênants - l'entartrage, la prolifération et fixation bactérienne dans les réseaux - qui aggravent souvent l'attaque des matériaux.

3.1.2 Phénomène d'entartrage

Le transport d'une eau incrustante peut provoquer un entartrage des conduites. La formation de ces dépôts calcaires a des répercussions internes sur la qualité de l'eau et sur son écoulement par réduction de la section utile de la conduite.

3.1.3 Les phénomènes biologiques

L'eau traitée produite dans les stations de traitement d'eau potable par le réseau jusqu'aux usagers n'est jamais stérile. On parle d'ailleurs de désinfection et non de stérilisation (LOISEAU G. et JUERY C. – 2002).

Un certain nombre de microorganismes est introduit dans le réseau (pour les germes totaux, le niveau guide est par exemple de 10 germes / ml pour un dénombrement à 37° C) :

- ⇒ d'une part, parce que les procédés physico-chimiques classiques de traitement ne permettent pas d'assurer une élimination totale des microorganismes ;
- ⇒ d'autre part, parce que diverses situations d'exploitation en usine peuvent conduire à des relargages (mauvais rinçage des filtres, distribution des premières eaux produites par la filtration après lavage...).

A l'intérieur du réseau, ces bactéries qui ont été seulement blessées ou stressées par les opérations de traitement de l'eau, peuvent se réanimer ou se réparer en fonction de paramètres tels que la température, les nutriments présents et bien sûr le temps.

Par ailleurs, dans le réseau, certains points offrent des voies d'entrée à la contamination par des microorganismes. C'est le cas des réservoirs où l'eau est en contact avec l'air, et où les orifices mal protégés peuvent permettre le passage de poussières ou d'insectes apportant des contaminations.

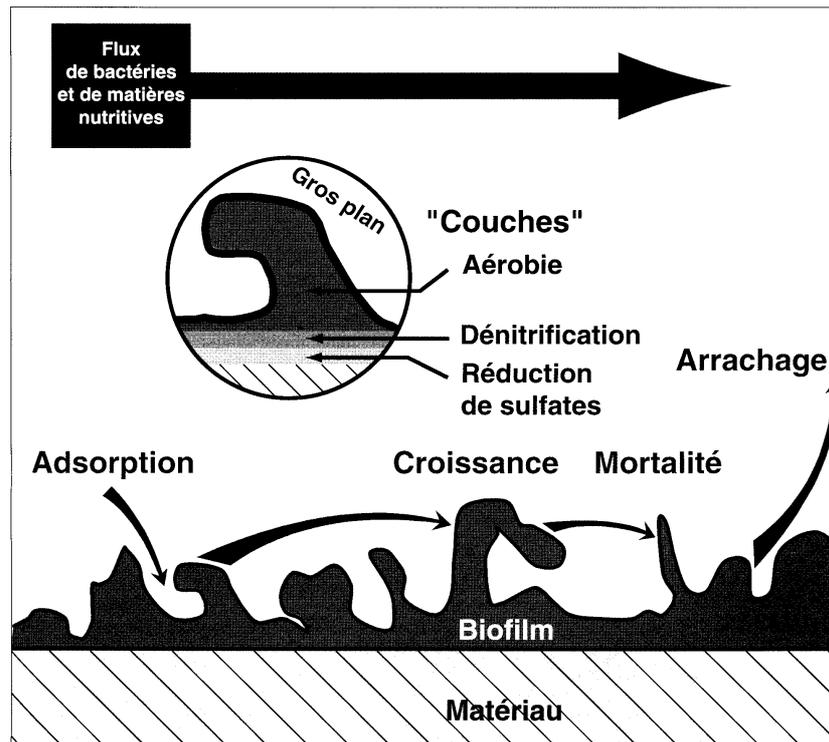
Les interventions sur le réseau (réparations, branchements), les fuites (en cas de dépression) et les accidents tels que des retours d'eau ou des cassures peuvent également être responsables de l'introduction de microorganismes dans le réseau.

La biomasse libre dans le réseau se fixe sur les parois des canalisations, qu'elle soit morte ou vivante et constitue un premier support pour le développement de couches supérieures plus

actives. Si ces organismes rencontrent des conditions ambiantes satisfaisantes, le développement du biofilm peut avoir lieu.

On peut définir simplement le biofilm comme l'ensemble des micro-organismes et de leur sécrétions macrocélulaires présents sur la surface interne de la conduite. Le biofilm est cependant, un système dynamique où s'installe une chaîne alimentaire complexe (cf schéma ci-dessous). Cet habitat est le lieu privilégié de métabolisme, reviviscence (à partir d'une spore, par exemple), croissance et mort (avec un recyclage des nutriments).

Graphique 5. Le biofilm



Malgré son nom, le biofilm n'est ni exclusivement « bio » (biologique), ni véritablement un film. On y retrouve des dépôts inorganiques (sédiments accumulés, produits de corrosion) et sa nature est plutôt hétérogène. Par exemple, des fines de charbon provenant du traitement par charbon actif ou une turbidité résiduelle peuvent entrer dans le réseau (LOISEAU G. et JUERY C. – 2002).

En revanche, les algues ne peuvent proliférer en absence de lumière. De plus, la majorité des champignons et levures exigent des concentrations importantes en éléments organiques. Enfin, notons que les virus susceptibles d'être pathogènes pour l'homme ne peuvent, pour leur part se reproduire en réseau (LEVI - 1995).

Les organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux de distribution couvrent une large partie de la classification des êtres vivants, incluant les bactéries, virus, champignons, et organismes pluricellulaires (Tableau 1) (SCHULHOF - 1990).

Les deux tableaux suivants donnent quelques microorganismes pouvant être rencontrés dans les eaux potables.

Tableau 5. Organismes susceptibles d'être présents dans les réseaux

<p>Les Levures telles que <i>Rhodotorula rubra</i> ou <i>glutinis</i>, quelquefois associées aux <i>Pseudomonas</i>, et susceptibles de se maintenir dans des conditions de désinfectant éliminant les <i>Pseudomonas</i>.</p>
<p>Les Champignons inférieurs Caractérisés par des spores abondantes et des membranes de cellules épaisses, ils sont suspectés d'être à l'origine de problèmes de goût, réactions allergiques, voire toxiques (par voie d'inhalation uniquement). Notons la possibilité de formation de trichloranisole par certains champignons.</p>
<p>Les Algues Caractérisées par une forte variation saisonnière dans certaines eaux superficielles, elles parviennent à franchir parfois les filières de traitement notamment lorsque la charge dans la ressource est très élevée, elles apportent des teneurs élevées en matières organiques et génèrent une sapidité de l'eau.</p>
<p>Les Autres Eucaryotes Citons les rotifères, les protozoaires ciliés, flagellés qui sont difficiles à éradiquer par les produits bactéricides classiques et dont certains sont pathogènes avec par exemple des amibes, <i>Cryptosporidium</i> (quelques occurrences récentes aux Etats Unis et en Grande Bretagne), <i>Giardia</i> (kystes résistants à désinfection par le chlore et l'ozonation).</p>
<p>Les Vers Les Nématodes peuvent mesurer plusieurs millimètres et ont une remarquable capacité de survie. Les Oligochètes se multiplient par scissiparité, surtout dans les matériaux filtrants et ont aussi une résistance aux désinfectants.</p>
<p>Les Crustacés Ils sont considérés comme non dangereux mais sont suspectés de fournir une protection pour les bactéries dans leur tube digestif. Ils peuvent atteindre une longueur de plusieurs centimètres. Citons <i>Asellus aquaticus</i> et <i>Gammarus pulex</i>. Une étude d'organismes planctoniques à la sortie des stations de la Société des Eaux de Marseille a également recensé les crustacés suivants <i>Daphnia</i>, <i>Bosmina</i>, <i>Copépoda harpacticoida</i>, <i>cyclopoida</i> <i>Ostracoda</i>.</p>
<p>Les Mollusques et les Insectes Peuvent être aussi présents sous forme de larves ou d'œufs (cas des chironomes pour les insectes) si elles franchissent les matériaux filtrants dans les filières de traitement. Bien qu'elles ne trouvent pas un milieu favorable à leur développement dans le réseau, il est nécessaire de les réduire au maximum pour limiter l'apport de matière organique au réseau.</p>

Tableau 6. Quelques microorganismes susceptibles d'être présents dans les eaux potables (PAQUIN ET BLOCK – 1992)

Pathogènes potentiels et bactéries indicatrices	Bactéries autochtones	Bactéries de la corrosion	Moisissures et levures
Salmonella Shigella	Acinetobacter Aeromonas Alcaligenes Bacillus	Bactéries Sulfatoréductrices	Penicillium Rhizopus Mycelium Trichomonas
Enterovirus	Enterobacter Flavobacterium Pseudomonas	Bactéries du fer	Mucor Aspergillus
E. coli, Streptococcus	Staphylococcus Corynebacterium		
Legionella	Proteus Yersinia		

Le développement d'un biofilm sur la paroi des canalisations est un phénomène inévitable, mais si le biofilm se développe trop, la qualité de l'eau ainsi que la "santé" du réseau peuvent être affectées d'où les inconvénients suivants :

- ⇒ Instabilité des oxydants désinfectants ; le biofilm est consommateur d'oxydant et il accroît la demande en chlore si tel est l'oxydant utilisé. C'est pour cette raison qu'il faut 3 à 4 jours pour stabiliser la concentration en chlore libre dans un réseau qui n'a jamais été chloré (NANCIE-1991) ;
- ⇒ Formation de sous produits organochlorés, sapides et/ou toxiques.
- ⇒ « Hébergement » de bactéries pathogènes blessées mais avec reprise de l'activité métabolique ;
- ⇒ Développement possible de bactéries dénitrifiantes (en cas d'anoxies) avec dépassement des normes pour les nitrites ;
- ⇒ Mise en place d'écosystèmes avec organismes « brouteurs » qui sont souvent macroscopiques et visibles à l'œil nu ;
- ⇒ Problèmes de goût, d'odeur et de coloration ; relargage de débris biologiques ;
- ⇒ Contamination plus générale du réseau du fait des mises en suspension, et ceci jusqu'au robinet de l'utilisateur.

Notons cependant que les exportations de floc de biomasse et la consommation par les micro-invertébrés prédateurs sont des éléments de régulation de l'extension du biofilm.

Pour limiter l'évolution du biofilm, les moyens de prévention sont :

- ⇒ le contrôle des nutriments bactériens (carbone organique utilisable) à l'entrée du réseau ;
- ⇒ à un degré moindre, la qualité des matériaux utilisés et/ou des revêtements pour limiter l'ancrage du biofilm ;
- ⇒ les oxydants résiduels n'ont qu'une action limitée sur le biofilm, et agissent surtout sur la flore libre circulante (bactéries « planctoniques »).

Les moyens curatifs sont physiques (racleurs, mélange air-eau, ...) et chimiques (détergents et désinfectants à concentration élevée).

Nota : pour ceux qui souhaitent approfondir la question de la dégradation de la qualité de l'eau au sein des réseaux, il est possible de consulter le document technique FNDAE HS 12 relatif à « La dégradation de la qualité de l'eau potable dans les réseaux » présent à l'adresse suivante : http://www.eau.fndae.fr/documentation/numero_HS12.htm

3.2 Défaillances du régime hydraulique

3.2.1 Diminution de la capacité de transport

La réduction du diamètre et/ou l'augmentation de la rugosité réduisent les capacités hydrauliques du réseau.

Cette défaillance est engendrée par l'entartrage calcaire sur les conduites sans revêtement interne, mais aussi par l'apparition de protubérances corrosives, responsables également de chutes de pression.

Précisons également qu'une baisse de pression peut être le résultat d'une simple augmentation de la demande, par croissance de la consommation ou par lutte contre l'incendie.

3.2.2 Fuites

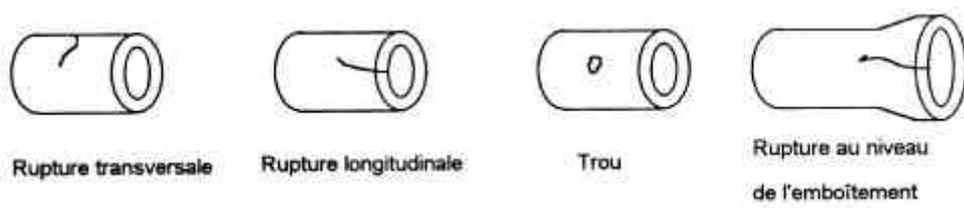
Photographie n°3. Conduite ayant subi une rupture (Source : EISENBEIS Patrick – 1995)



Les ruptures de canalisations peuvent être provoquées par :

- une action combinée de la corrosion sur la conduite et de mouvements de sols ;
- une augmentation de la pression interne ;
- une action violente dans le tuyau : coup de bélier, par exemple.

Graphique 6. Ruptures ou fuites apparentes (Source : EISENBEIS Patrick – 1995)



Ces ruptures de conduites peuvent occasionner des dommages plus ou moins sévères, tels que :

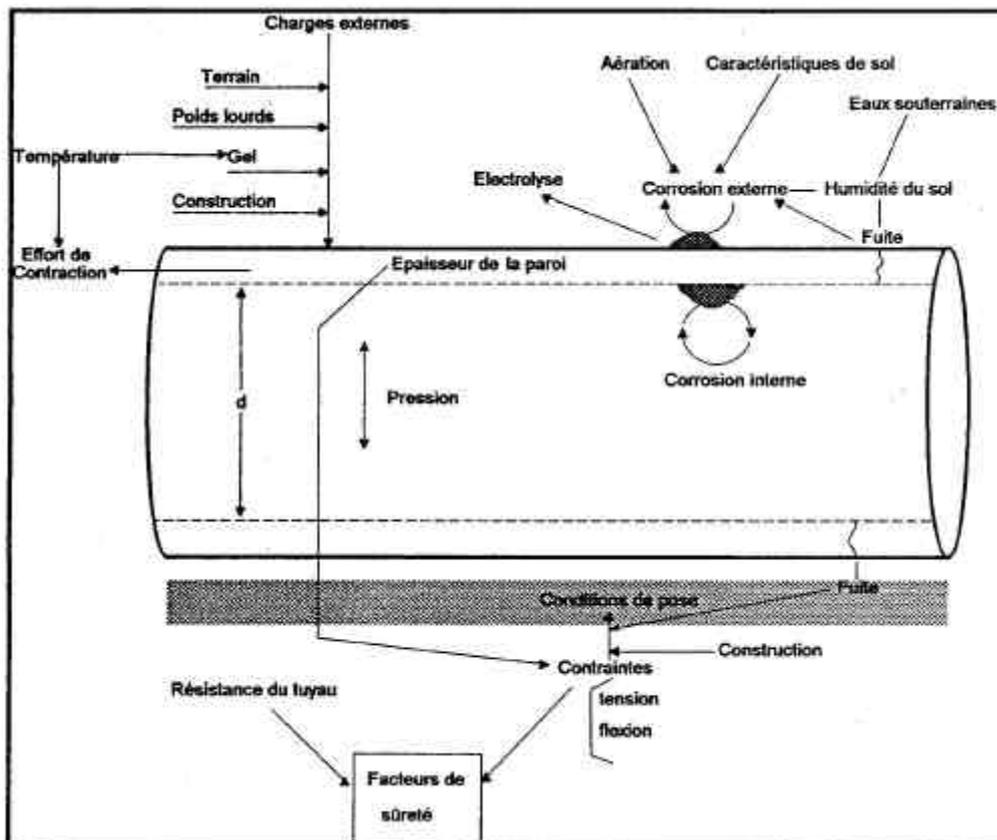
- inondations chez un particulier ou perturbations du trafic routier ;
- coupure d'eau ;
- déstabilisation du lit de pose ;
- plaintes des abonnés.

Chacune des défaillances hydrauliques, évoquées précédemment, engendre inéluctablement :

- un accroissement de la production ;
- des pertes d'énergie par l'augmentation des temps de pompage ;
- des interventions sur le réseau.

Le Graphique 7 présente une synthèse des différentes causes qui peuvent entraîner l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable, et donc augmenter le risque d'apparition d'une défaillance.

Graphique 7. Causes de l'affaiblissement d'une conduite d'eau potable
(Source : EISENBEIS Patrick – 1995)

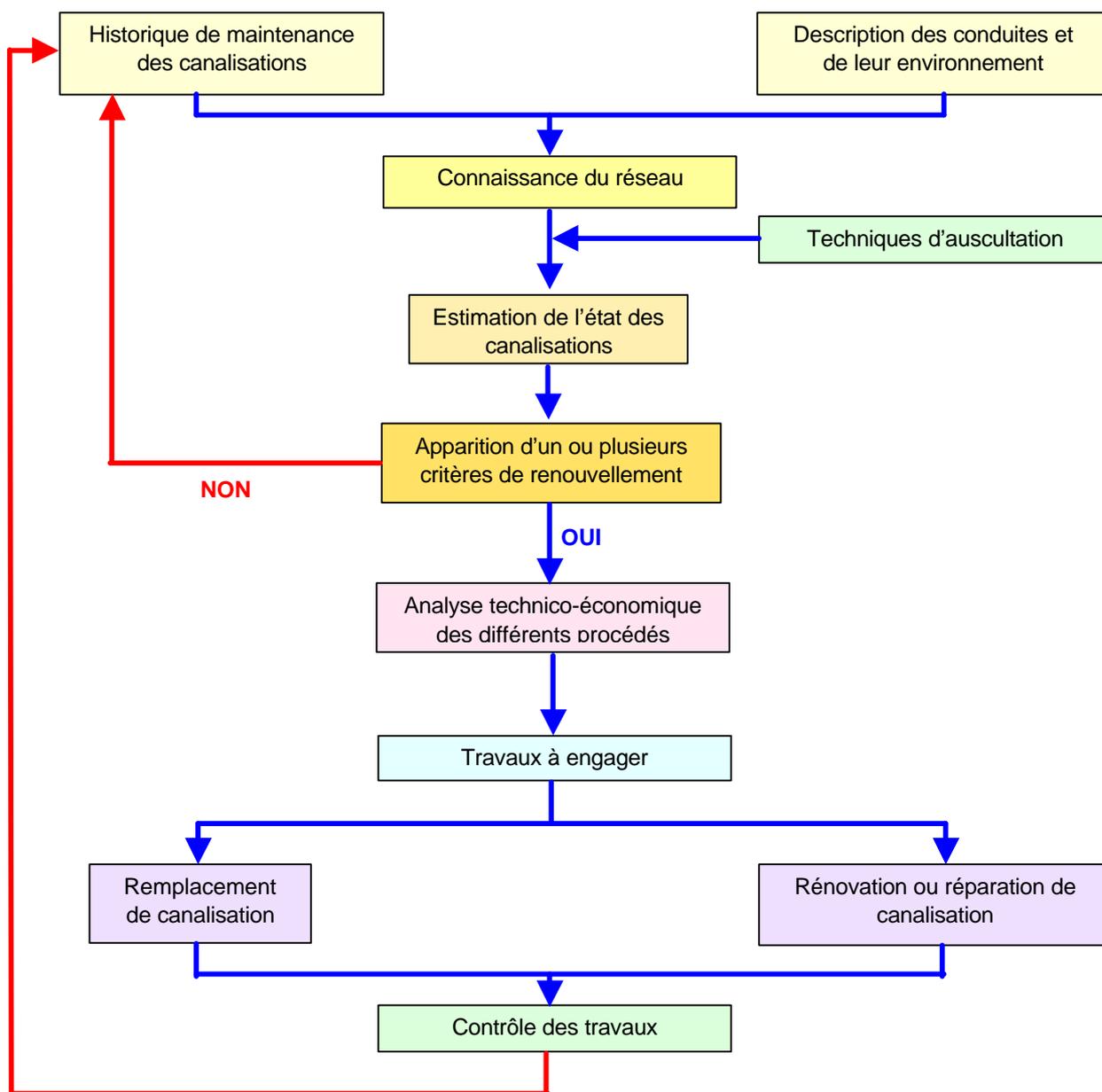


4 MISE EN PLACE D'UNE POLITIQUE DE RENOUVELLEMENT

L'élaboration d'une politique de renouvellement présente deux principaux objectifs : anticiper les travaux à engager et planifier les dépenses.

Les étapes clés de cette démarche sont présentées dans l'organigramme suivant (cf. Graphique 8) :

Graphique 8. Démarche d'une politique de renouvellement



4.1 Diagnostic du réseau d'eau potable

Etape déterminante dans un programme de renouvellement de canalisation, le diagnostic de réseau doit permettre d'avoir une connaissance précise de l'état de l'ensemble des canalisations.

4.1.1 Connaissance des canalisations

La connaissance des canalisations est indispensable puisque, de cette étape, dépend la qualité de réalisation du diagnostic.

Les informations déjà connues du réseau peuvent être facilement complétées lors d'exams visuels en cas de réparations, et ainsi obtenir ou valider un certain nombre de données non accessibles en situation habituelle.

Une bonne connaissance du réseau doit référencer les paramètres techniques et environnementaux de chaque conduite, comme défini dans le Tableau 7.

Tableau 7. Descriptif des paramètres physiques et environnementaux d'une conduite

Description de la conduite
Informations générales : <ul style="list-style-type: none">✓ Diamètre (intérieur – extérieur), profondeur, linéaire, matériau, date de pose, emplacement, localisation et type des différents accessoires✓ Etat et type de protection interne/externe, type de joint
Description de l'environnement de la conduite
<ul style="list-style-type: none">✓ Lit de pose✓ Nature du terrain et Etat du sol✓ Trafic routier✓ Autres conduites à proximité
Description de l'intervention
En cas d'intervention sur une conduite, les constatations faites sur le terrain doivent permettre de repérer et relever globalement les désordres ainsi que les effets qui en découlent. <ul style="list-style-type: none">✓ Origine de l'intervention : plainte et son motif, recherche de fuites✓ Localisation de la défaillance : conduite, robinetterie, fontainerie, branchement✓ Type de défaillance : fissures, casse nette, déboîtement, joint...✓ Cause prématurée de la défaillance : identifier les paramètres influents (corrosion, mouvement de terrain, surpression)✓ Conséquences de la défaillance : évaluer les coûts indirects liés à la restriction d'eau ou aux dommages éventuels (durée de l'intervention, pertes en eau, nombre d'abonnés touchés, coût de l'intervention)
⇒ La synthèse de l'ensemble de ces données permet un traitement statistique plus fin des défaillances et informe sur l'urgence des travaux à engager, dans le but d'opter pour la technique de réhabilitation la plus adaptée.

Ce diagnostic peut, dans certains cas, être complété par une étude des installations et équipements (stations de traitement, stations de pompage, réservoirs...), ainsi que par une modélisation du réseau.

4.1.2 Enregistrement des données

Toutes les informations recueillies lors d'une intervention sur le réseau doivent être enregistrées sur un support papier ou informatique. L'enregistrement de ces données, mis régulièrement à jour, permet d'avoir un historique du réseau, tronçon par tronçon, et donc d'appréhender efficacement l'évolution de l'état des canalisations.

4.1.2.1 Différents types de supports :

4.1.2.1.1 Utilisation des plans :

La connaissance du réseau existant doit figurer sur des plans de réseaux, mis régulièrement à jour, qui sont habituellement de deux types :

- les plans généraux ;
- les plans détaillés.

Les plans généraux (d'une échelle de 1/25.000^e ou 1/10.000^e par exemple) donnent une vision générale du réseau et facilitent la compréhension de son fonctionnement, notamment lors de l'isolement d'un secteur. Sur ces plans doivent figurer :

- le diamètre et le matériau des conduites ;
- tous les équipements et appareils liés au fonctionnement du réseau : réservoirs, vannes principales, appareils de régulation, ventouse, purges, bouches et poteaux d'incendie ;
- quelques cotes altimétriques du terrain.

Les plans détaillés, souvent à l'échelle du cadastre, donnent :

- le positionnement du réseau et des accessoires, en particulier les différentes vannes ;
- l'emplacement des branchements et éventuellement leur triangulation ;
- la position des autres réseaux proches (assainissement, gaz, téléphone, électricité...);
- le matériau et le diamètre des conduites.

4.1.2.1.2 Utilisation des fiches d'intervention

Les données acquises sur le terrain lors de réparations doivent être reportées sur des fiches d'intervention, comme présenté ci-dessous (cf. Graphique 9).

La démarche est envisagée pour les canalisations, les accessoires de robinetterie et de fontainerie ainsi que pour les branchements.

Graphique 9. Exemple de fiche de renseignements sur les défaillances (Source : EISENBEIS Patrick – 1995)

1. LOCALISATION DE LA DEFAILLANCE

Commune	<input type="text"/>	Date	<input type="text"/>	Si pas de n°, Distance (m) par rapport à (schéma)
Rue (ou lieu-dit)	<input type="text"/>	N° dans la rue	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Côté pair <input type="checkbox"/> Côté impair

2. DESCRIPTION GENERALE DE LA CANALISATION

Diamètre du tronçon (mm):	<input type="text"/>	Matériau de la conduite :	<input type="checkbox"/> Acier <input type="checkbox"/> Amiante-Ciment <input type="checkbox"/> Fonte ductile <input type="checkbox"/> Béton <input type="checkbox"/> Fonte grise <input type="checkbox"/> Polyéthylène <input type="checkbox"/> PVC <input type="checkbox"/> Autre :
Date de pose du tronçon (même approximative)	<input type="text"/>		

3. DESCRIPTION DE L'INTERVENTION

Type de défaillance (plusieurs choix possibles) <input type="checkbox"/> Casse nette <input type="checkbox"/> Casse longitudinale <input type="checkbox"/> Fissure <input type="checkbox"/> Déboîtement <input type="checkbox"/> Trou(s) Nombres : Diamètres : <input type="checkbox"/> Joint <input type="checkbox"/> Autre :	Cause présumée de la défaillance : (plusieurs choix possibles) <input type="checkbox"/> Non déterminée <input type="checkbox"/> Tiers <input type="checkbox"/> Corrosion interne <input type="checkbox"/> Corrosion externe <input type="checkbox"/> Mouvement du terrain <input type="checkbox"/> Surpression <input type="checkbox"/> Autre :	Type de réparation : (plusieurs choix possibles) <input type="checkbox"/> 2 joints + Tuyau : matériau : longueur (m) : <input type="checkbox"/> Manchon de réparation <input type="checkbox"/> Changement de joint <input type="checkbox"/> Rematage joint <input type="checkbox"/> Autre :
---	---	--

4. DESCRIPTION DE LA CONDUITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

LA CONDUITE

Protection intérieure : <input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Ciment <input type="checkbox"/> Epoxy <input type="checkbox"/> Bitumineux <input type="checkbox"/> Autre :	Protection extérieure <input type="checkbox"/> Aucune <input type="checkbox"/> Polyéthylène/ Polypropylène <input type="checkbox"/> Zinc <input type="checkbox"/> Bitumeux <input type="checkbox"/> Cathodique <input type="checkbox"/> Autre :	Type de joint : <input type="checkbox"/> Joint au plomb <input type="checkbox"/> Joint mécanique <input type="checkbox"/> Joint collé <input type="checkbox"/> Joint caoutchouc <input type="checkbox"/> Joint soudé <input type="checkbox"/> Joint automatique <input type="checkbox"/> Manchon	
Profondeur (m) :	Emplacement de la conduite :	<input type="checkbox"/> sous trottoir <input type="checkbox"/> sous chaussée <input type="checkbox"/> Autre :

ENVIRONNEMENT DE LA CONDUITE

Lit de pose : <input type="checkbox"/> Aucun <input type="checkbox"/> Sable <input type="checkbox"/> Calcaire concassé <input type="checkbox"/> Terre <input type="checkbox"/> Pierre, cailloux <input type="checkbox"/> Autres :	Nature du terrain : <input type="checkbox"/> Roche <input type="checkbox"/> Sable, graviers <input type="checkbox"/> Argile <input type="checkbox"/> Limon, tourbe <input type="checkbox"/> Remblais <input type="checkbox"/> Marnes <input type="checkbox"/> Autre :	Etat du sol : <input type="checkbox"/> Nappe <input type="checkbox"/> Sec <input type="checkbox"/> Humide <input type="checkbox"/> Détrempé <input type="checkbox"/> Gelé <input type="checkbox"/> dégel <input type="checkbox"/> Autre :	Trafic : <input type="checkbox"/> Nul <input type="checkbox"/> Faible (voie de desserte) <input type="checkbox"/> Modère (voies principales) <input type="checkbox"/> Important (axe routier, poids lourds, ligne de bus)
--	---	---	--

Ces fiches ont pour objectif de rassembler pour chaque opération :

- les caractéristiques de la conduite ou de l'équipement concerné ;
- l'état général ;
- le type de désordre observé ;
- les caractéristiques du remblai existant et de l'environnement ;
- tous les éléments liés à l'intervention (durée, pièces utilisées...).

Bien que non exhaustive, cette liste est suffisamment complète pour avoir une connaissance des éléments nécessaires à l'établissement d'un programme de renouvellement pour des réseaux importants.

Pour des petits réseaux, une représentation codifiée des interventions peut être portée sur le plan général, ou sur les plans par secteur, facilitant ainsi le repérage des tronçons à forte fréquence d'incidents.

4.1.2.1.3 Utilisation d'une base de données informatisée / SIG

L'ensemble des données peut être stocké dans une base de données informatisée simple, type ACCESS, ou couplée à un Système d'Information Géographique (SIG).

Cette base de données, regroupant les caractéristiques du réseau, doit porter au minimum sur :

- les conduites, séparées en tronçons
- les branchements
- l'environnement extérieur de la conduite
- les accessoires du réseau : vanne, ventouse, vidanges, poteaux et bouches d'incendies...

D'applications multiples, le SIG peut fournir des aides précieuses quant à l'amélioration de la gestion des réseaux d'eau et leur entretien. De plus, un programme de renouvellement de portions de réseaux peut être édité, à partir de requêtes croisées sur le nombre de fuites par tronçons, sur l'année de pose et sur les matériaux utilisés.

Certains SIG, orientés "métiers", sont adaptés à des personnes peu habituées à l'environnement informatique.

4.1.2.2 Exploitation des données

L'exploitation des données brutes de terrain, à l'issu de leur enregistrement, permet de réaliser des statistiques générales et d'établir :

- des cartes thématiques
- un inventaire du patrimoine réseau : l'évolution de ce patrimoine au regard de différentes caractéristiques (diamètre, matériau, date de pose, ...) permet d'apporter

les arguments techniques aux politiques de réhabilitation/renouvellement des conduites, et donc d'aider les gestionnaires d'eau dans leurs décisions.

- des rendements et indicateurs de performance :
 - le rendement est le rapport de la somme des volumes consommés relevés aux compteurs d'eau sur le volume total mis en distribution. Il se calcule en général avec les données d'une année.
 - l'indice linéaire de pertes (ILP) est le rapport des volumes perdus durant une année, sur la longueur du réseau. Il s'exprime généralement en $m^3/km/jour$.
 - l'indice linéaire de réparations (ILR) donne le nombre de réparations par an et par kilomètre de réseau.

L'exploitation régulière des données permet donc d'aboutir à la construction d'un historique des réseaux d'eau potable, et ainsi d'appréhender l'évolution des conduites dans le temps.

4.1.2.3 La recherche sur des systèmes d'aide à la décision pour la programmation des besoins en renouvellement des réseaux d'eau potable

Véritables outils d'aide à la décision de renouvellement, les logiciels de prévision sur les risques de désordres des réseaux d'eau potable sont en pleine émergence. Nous revenons, dans ce chapitre, sur quelques-uns de ces systèmes experts qui restent, pour l'instant, davantage adaptés aux grands centres urbains.

Trois centres de recherche travaillent en France sur des modèles permettant d'optimiser le renouvellement des conduites depuis plusieurs années : le CEMAGREF, l'ENGEES et l'INSA de Lyon (BERLAND J.M., JUERY C. – 2002).

L'unité Ouvrages et réseaux hydrauliques du Cemagref travaille sur le diagnostic et l'optimisation des systèmes de distribution d'eau potable, l'approche économique est couverte par les activités du laboratoire Gestion des Services Publics du Cemagref. L'objectif est d'élaborer des méthodes et outils destinés à l'estimation de l'état et des performances des équipements. Pour cela, 3 axes de recherche ont été identifiés :

- La modélisation et l'observation du fonctionnement quantitatif et qualitatif des réseaux (notamment avec le logiciel PORTEAU),
- L'étude du vieillissement des canalisations et la mise au point de méthodes de prévision des casses en fonction de la nature et de l'environnement de la canalisation,
- La gestion optimale des flux.

Au sein de l'ENGEES, Caty WEREY a soutenu une thèse de doctorat « Politiques de renouvellement des réseaux d'eau potable » en juin 2000. Ce travail s'intéresse à l'optimisation des échéances de renouvellement des canalisations d'eau potable à partir de la prévision probabiliste des défaillances, de l'analyse du fonctionnement hydraulique du réseau et de l'évaluation des coûts de maintien en service et de renouvellement. Le modèle RENCANA prend en compte l'évolution des défaillances, les caractéristiques de la conduite et son environnement, la sensibilité des consommateurs à une interruption de la fourniture d'eau et le

position hydraulique de la conduite. Cette approche intègre des approches techniques et socio-économiques.

Dans le cadre d'une convention CIFRE avec la Générale des Eaux, Julien MALANDAIN a rédigé une thèse à l'INSA de Lyon sur l'organisation du diagnostic des réseaux d'alimentation en eau potable. Cette thèse propose une démarche d'organisation de l'évaluation du patrimoine et définit le rôle de différents outils dans cette démarche : SIG pour la cartographie du réseau, modèle hydraulique permettant de quantifier l'importance stratégique du tronçon, modèles statistiques d'analyse des facteurs de défaillance, modèles probabilistes de vieillissement des réseaux d'eau potable...

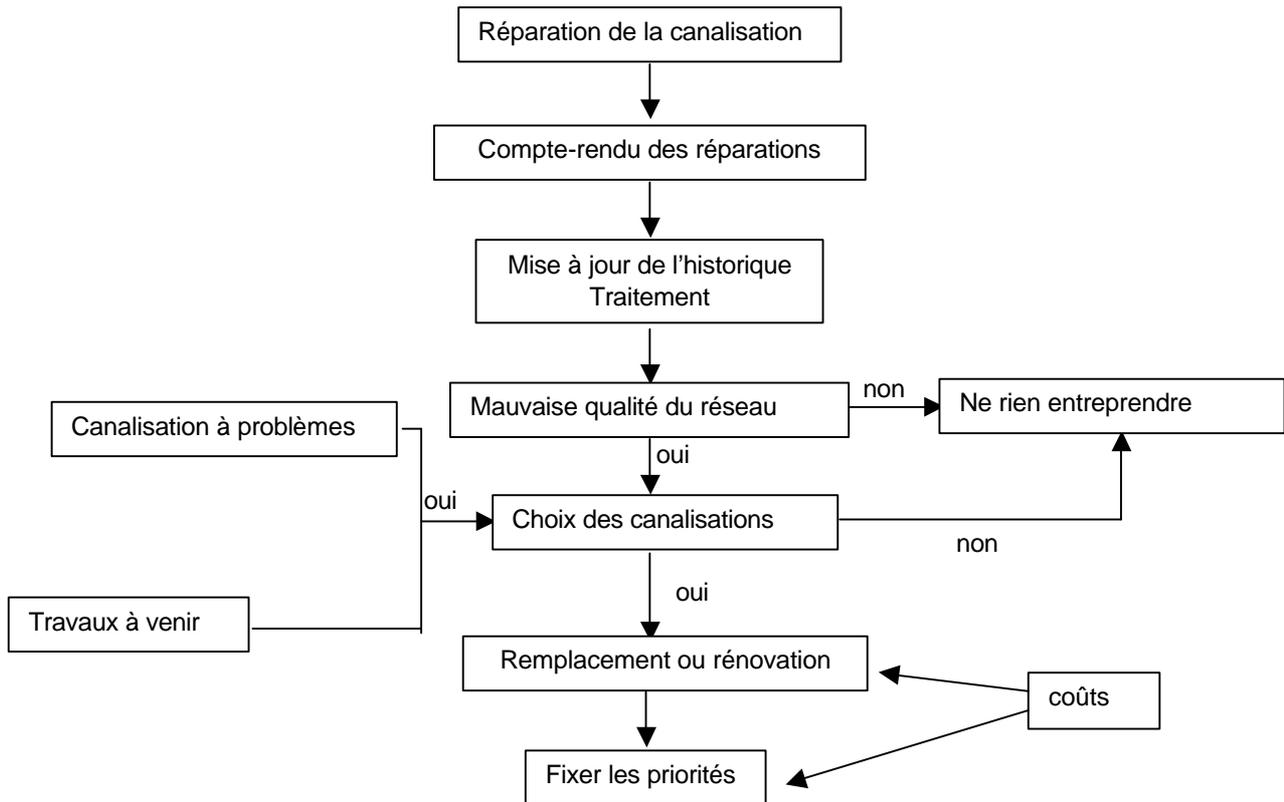
L'ENGEES, le CEMAGREF et l'INSA de Lyon sont actuellement impliqués dans un projet européen financé par la Commission Européenne dans le cadre du 5^{ème} PRCD environnement intitulé CARE—W (Computer Aided RE-habilitation of Water networks) débuté en février 2001.

Ce projet vise à élaborer un logiciel d'aide à la décision pour le renouvellement des réseaux à destination des gestionnaires et propriétaires de réseaux d'eau potable. Ces trois laboratoires collaborent à ce projet en partenariat avec 11 partenaires de recherche européens et 13 gestionnaires de réseaux. Une partie de ce projet porte sur la comparaison et l'évaluation de plusieurs modèles statistiques ou probabilistes (INSA, CEMAGREF, NTNU, SINTEF) et sur l'étude de leur sensibilité vis à vis de données incomplètes ou incertaines.

Des modèles statistiques de prévisions de défaillance ont été mis au point, notamment par le CEMAGREF (Bordeaux) avec le logiciel PREDIKASS, et testés permettant d'approcher la durée de non défaillance, comptée à partir de la date de pose ou de celle de la casse précédente (B. BREMOND – 1994, 1998). Ceux-ci peuvent être mis en oeuvre même en présence d'historiques d'interventions peu étendus grâce à la méthode d'apprentissage en utilisant de longues séries d'observations dans un environnement similaire (même matériau, même gamme de diamètres, même gamme de facteurs de risque) (P. EISENBEIS, 1996). Le modèle est ensuite affiné en fonction des données locales au fur et à mesure de leur disponibilité. Il convient néanmoins de disposer d'un minimum de données concernant les tronçons et toutes les interventions faites sur le réseau. Ces modèles reposent sur le concept de renouvellement curatif. Ils n'évitent pas le vieillissement des conduites et par conséquent, une augmentation de la détérioration du système de distribution.

Pour mettre en pratique ces modèles de prévision des défaillances, les services d'eau doivent se doter de bases de données répertoriant les conduites (matériau, diamètre, longueur, date de pose, nombre d'abonnés,...) et leurs défaillances. Celles-ci leur permettent d'améliorer leur connaissance des réseaux mais aussi d'envisager une politique de renouvellement en intégrant des paramètres économiques dans la recherche de la date optimale de renouvellement des canalisations.

Graphique 10. Démarche employée dans le cadre de l'approche curative (citée dans P. EISENBEIS, 1996)



L'unité de recherche en génie civil (URGC) de l'INSA de Lyon, composée notamment de B. CHOCAT, P. LE GAUFFRE et M. MIRAMONT, travaille actuellement sur le diagnostic et la gestion des réseaux d'eau et d'assainissement.

L'un de ses thèmes porte sur l'aide à la décision pour la maintenance des réseaux d'eau potable avec :

- La mise au point et l'évaluation de procédures de décision multicritères pour la maintenance et la réhabilitation des infrastructures : ceci concerne la programmation à court terme (programmes annuels d'inspection et de renouvellement) et la définition de politiques à long terme (estimation des besoins futurs en fonction des modèles de vieillissement élaborés);
- L'étude des bases de données disponibles chez les gestionnaires de réseaux, de la qualité des informations utilisées en gestion (données incomplètes, données imprécises et données incertaines), le développement et l'analyse de modèles statistiques et probabilistes relatifs au vieillissement des réseaux d'eau;
- la conception de bases de données pour la gestion patrimoniale des réseaux.

L'UMR GSP Cemagref-ENGEES, pour sa part, s'intéresse à l'optimisation des échéances de renouvellement des canalisations d'eau potable à partir de la prévision probabiliste des défaillances, de l'analyse du fonctionnement hydraulique du réseau, et de l'évaluation des coûts de maintien en service et de renouvellement. Un modèle a été mis au point et testé sur des données réelles de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Cette démarche vise à minimiser le

montant total des dépenses liées au maintien en service et au renouvellement de chaque canalisation (Wery 2000a ; 2000b ; WERY C., JANEL J.L., WEBER E. – 2003).

Le Cemagref et G2C Environnement sont partenaires dans le cadre du programme de recherche **SIROCO** (Système Intégré d'aide au Renouvellement Optimisé des COnduites). L'enjeu de ce programme de recherche est de mieux conduire la stratégie de renouvellement, en renouvelant plus et mieux, en prenant en compte les caractéristiques méconnues des réseaux de petites villes et des collectivités rurales.

L'objet de la recherche est le développement d'un système intégré destiné à la planification du renouvellement des réseaux d'eau potable.

Ce système intégré repose sur (source : site internet du projet SIROCO <http://www.siroco.org>) :

- ⇒ la construction puis l'alimentation d'une base de données mutualisée entre plusieurs collectivités destinée à enrichir les modèles de défaillance de façon heuristique (pour compenser progressivement le faible historique de données) ;
- ⇒ le développement de modèles de prévision des défaillances pour les différents éléments constitutifs des réseaux : canalisations, branchements et appareils de fontainerie élaborés à partir des données centralisées et appliqués localement sur l'une d'entre elles ;
- ⇒ le développement de modèles de calcul d'importance stratégique hydraulique des éléments du réseau, permettant la construction d'indices de fiabilité en lien avec la satisfaction de la demande ;
- ⇒ l'élaboration d'une méthodologie de prévision du renouvellement, intégrant à la fois les modèles de prévisions de défaillance et les indices de fiabilité ;
- ⇒ le développement de fonctions spécifiques dans un SIG permettant à la fois la collecte des données, et l'intégration des modèles et outils dans le système ;
- ⇒ la mise en œuvre d'un réseau d'utilisateurs (Internet), s'appuyant au début sur les collectivités partenaires du projet, puis s'enrichissant à l'issue du projet par la communauté des utilisateurs de SIROCO.

Nota : Une des caractéristiques demandées à SIROCO est d'être adapté aux collectivités de petite et moyenne importance à faible historique de données, et d'être aisément accessible par les utilisateurs, quelle que soit leur formation en informatique (source : site internet du projet SIROCO <http://www.siroco.org>).

Le projet doit être réalisé sur deux années (septembre 2003 à septembre 2005). Il sera réalisé en 4 phases et sept tâches, qui se dérouleront approximativement dans le même ordre chronologique (source : site internet du projet SIROCO <http://www.siroco.org>) :

- ⇒ une phase "Données" : mise en place des collectivités partenaires (tâche n°1), la constitution d'une base de données (n°2) de référence nécessaire à la connaissance des réseaux et à l'élaboration de modèles de défaillances et mise en place d'outils nécessaires à l'élaboration d'un réseau d'utilisateurs (Internet) (n°3) s'appuyant au début sur les collectivités partenaires du projet, puis s'enrichissant à l'issue du projet par la communauté des utilisateurs de SIROCO ;
- ⇒ une phase "Modèles" : élaboration de modèles de défaillances (n°4), l'apport de modèles de fiabilité hydraulique (n°5) en lien avec les modèles de défaillances,

- ⇒ une phase "Méthodologie" : mise en place d'une méthodologie d'aide à la décision au renouvellement (n°6) adaptée aux petites collectivités ;
- ⇒ une phase "Intégration" : intégration des outils étudiés dans le Système d'Information Géographique (SIG) (n°7), aboutissant sur le logiciel SIROCO ;

D'autres outils d'aides à la décision se fondent sur un suivi de la qualité de l'eau en réseau. Ils ont pour but de caractériser la dégradation de la qualité de l'eau suite à :

- ⇒ un vieillissement des conduites (corrosion, relargage...) ;
- ⇒ un problème de conception du réseau (surdimensionnement du diamètre, longueur des conduites pour un nombre limité de branchements...) entraînant un temps de séjour trop élevé synonyme d'encrassement important.

Ainsi, la démarche **Aquadiag** (Veolia Water) est basée sur le report au sein d'un Système d'Informations Géographiques des résultats d'analyses de différents paramètres (cf. Tableau 8). Ces analyses sont effectuées en différents points d'un réseau avec des prélèvements à débit faible et des prélèvements à débit élevé.

Tableau 8. Paramètres analysés lors de la mise en œuvre de la démarche Aquadiag

Type de prélèvement	Faible débit	Fort débit
Paramètres physico-chimiques et bactériologiques	pH	Turbidité
	Conductivité	Matières en suspension
	Oxygène	Dureté (TH)
	Turbidité	Fer
	Matières en suspension	Manganèse
	Dureté (TH)	Coliformes & E.COLI
	Fer	
	Manganèse	
	Chlore libre et total	
	Coliformes & E.COLI	

Une analyse et / ou une comparaison des résultats obtenus à fort et à faible débit permet de localiser les zones où il y a problème d'encrassement ou de vieillissement des conduites (corrosion, relargage...).

L'un des grands enjeux actuels de l'aide à la décision pour la distribution d'eau potable est l'intégration des différents types d'outils tels que ceux décrits ci-dessus au sein d'un seul et même outil. Ainsi le projet européen **CARE-W** (Computer Aided REhabilitation of Water Networks) vise à élaborer un logiciel d'aide à la décision pour le renouvellement des réseaux à destination des gestionnaires et propriétaires de réseaux d'eau potable.

La finalité du projet européen **CARE-W** est la création un système d'outils informatiques pour l'évaluation et la réhabilitation des réseaux d'eau potable intégrant les aspects :

- ⇒ suivi des performances d'un système ou d'une zone ;
- ⇒ aide à la construction, l'évaluation et la sélection d'une stratégie de réhabilitation à long terme ;
- ⇒ aide multicritère à la programmation annuelle des projets de réhabilitation ;
- ⇒ modèles de prédiction des défaillances des canalisations ;
- ⇒ modèles d'analyse de la fiabilité hydraulique des réseaux.

Les outils qui seront développés dans le cadre de ce projet permettront de définir le système le plus économiquement efficace pour renouveler un réseau d'eau de distribution tout en satisfaisant aux exigences économiques, sociales, sanitaires et environnementales. L'enjeu est de réhabiliter la bonne conduite au bon moment en utilisant la bonne méthode à un coût minimal avant que les casses ne se produisent.

4.2 Utilisation de techniques d'auscultation

Pour mener un diagnostic efficace et précis de la totalité du réseau, des techniques d'auscultation, adaptées à chaque facteur de désordres, sont nécessaires.

4.2.1 Détection de la corrosion :

Les phénomènes de **corrosion interne** sont aisément détectables lors de mesures chimiques et biologiques sur des prélèvements d'eaux, de plaintes des consommateurs, de taux de fuites ou de casses annuels. Des investigations sur des échantillons de canalisations permettent d'en préciser les origines ; prudence toutefois car toute manipulation sur des branchements ou des robinets peu utilisés provoque un relargage de particules microscopiques.

D'autres méthodes, plus élaborées, peuvent être citées pour mémoire.

- Un protocole, élaboré par le CIRSEE, permet de diagnostiquer les phénomènes de corrosion dans le réseau de distribution, selon plusieurs étapes : pré-enquête précise, étude de la qualité et de la corrosivité de l'eau, pratique de coupes sur les canalisations pour estimer l'état de corrosion interne.
- Des appareils, basés sur une méthode électrochimique, permettent de détecter la corrosivité de l'eau, par une mesure de la résistance de polarisation.
- Il est possible de mesurer l'état de corrosion d'une conduite par un examen métallographique et mesure d'épaisseur ainsi que par une mesure électrochimique de la vitesse de corrosion. A partir de cette vitesse de corrosion, des prévisions de la diminution d'épaisseur de la canalisation sont possibles, permettant ainsi d'évaluer le risque de rupture et d'envisager des mesures préventives appropriées.

Pour évaluer l'état de **corrosion externe** d'un réseau, des mesures du potentiel de la conduite suspectée sont à combiner à une étude géoélectrique. Une entreprise spécialisée dans ce type de prestations est recommandée.

4.2.2 Détection des défaillances hydrauliques

4.2.2.1 Détection d'une diminution de capacité de transport

La détection d'une diminution de la capacité de transport peut être appréhendée de différentes manières :

- soit par la mise en évidence de l'augmentation de pertes de charges sur le réseau ou sur une partie, augmentation non induite par l'accroissement de la consommation. Ceci peut se faire par exemple à partir d'une modélisation hydraulique du réseau ;
- soit à partir d'échantillons de canalisations relevés directement sur le réseau et étudiés par la suite. Cependant ces prélèvements ponctuels et leur interprétation sont difficilement généralisables.

4.2.2.2 Détection des pertes :

4.2.2.2.1 Le bilan d'eau préconisé par l'International Water Association

A priori, un opérateur de réseau a tout intérêt à réaliser un bilan d'eau comme le conseille l'International Water Association (IWA – 2003) pour évaluer correctement les pertes du réseau. Cette méthodologie, très rigoureuse, lui permettra de bien évaluer les pertes apparentes (volumes détournés et erreurs de mesures) qui doivent absolument être éliminées de l'évaluation des performances des conduites en elles-mêmes.

Cependant, ce bilan d'eau peut être lourd à mettre en place car il nécessite l'estimation des volumes à chaque point de comptage clé. En présence de compteurs, les données relevées sur ceux-ci seront utilisées, mais en l'absence de dispositifs de mesure, il sera nécessaire de pratiquer « une estimation au plus juste » qui, en fait, est un avis d'expert donné au niveau local. Or, ces derniers restent entachés de très fortes incertitudes (BERLAND J.M., DELAGE D. – 2004).

Tableau 9. Eléments constitutifs du bilan des volumes d'eau (IWA – 2003a)

A	B	C	D	E	
Volume introduit (prélèvement et importation d'eau brute et d'eau potable) [m ³ /an]	Volume consommé pour tous les usages [m ³ /an]	Volume consommé facturé (y compris volume exporté) [m ³ /an]	Volume consommé mesuré et facturé (y compris volume exporté) [m ³ /an]	Volume d'eau vendue [m ³ /an]	
			Volume consommé non mesuré et facturé (y compris volume exporté) [m ³ /an]		
		Volume consommé non facturé hors volume détourné [m ³ /an]	Volume consommé mesuré et non facturé (y compris volume exporté) [m ³ /an]	Volume d'eau non vendue [m ³ /an]	
			<i>Volume consommé non mesuré et non facturé (y compris volume exporté)</i> [m ³ /an]		
	Pertes d'eau [m ³ /an]	Pertes apparentes [m ³ /an]	Volume détourné [m ³ /an]		
			Erreurs de mesure [m ³ /an]		
		Pertes réelles [m ³ /an]	Pertes réelles sur réseau d'adduction d'eau brute et dans l'usine de traitement le cas échéant [m ³ /an]		
			Fuites sur le réseau de transport et/ ou de distribution [m ³ /an]		
			Fuites et surverses des réservoirs sur le réseau de transport et/ ou de distribution [m ³ /an]		
			Fuites sur branchement jusqu'au point de comptage [m ³ /an]		

Les définitions des termes utilisés dans ce tableau sont présentes en annexe.

La méthodologie IWA pour calculer le volume d'eau non vendu et les pertes d'eau est précisée dans le Graphique 11.

Graphique 11. Calcul du volume d'eau non vendu et des pertes d'eau (d'après IWA – 2003)

Etape 1 : Définir le *volume introduit (prélèvement et importation d'eau brute et d'eau potable)* dans la colonne A.



Etape 2 : Définir le *volume consommé mesuré facturé (y compris volume exporté)* et le *volume consommé non mesuré et facturé* en colonne D ; déduire de la somme le *volume consommé facturé (y compris volume exporté)* (colonne C) et le *volume d'eau vendue* (colonne E).



Etape 3 : Calculer le *volume d'eau non vendue* (colonne E) par différence entre le *volume introduit dans le système* (colonne A) et le *volume d'eau vendue* (colonne E).



Etape 4 : Définir le *volume consommé mesuré et non facturé* et le *volume consommé non mesuré non facturé* dans la colonne D ; déduire de la somme le *volume consommé non facturé hors volume détourné* colonne C.



Etape 5 : Additionner le *volume consommé facturé (y compris volume exporté)* et le *volume consommé non facturé hors volume détourné* dans la colonne C ; déduire de la somme le *volume consommé pour tous les usages normaux* (colonne B).



Etape 6 : Calculer les *pertes d'eau* (colonne B) par différence entre le *volume introduit dans le système* (colonne A) et le *volume consommé pour tous les usages normaux* (colonne B).



Etape 7 : Estimer le *volume détourné* et les *erreurs de mesure* (colonne D) au mieux selon les moyens disponibles, déduire de la somme les *pertes apparentes* (colonne C).



Etape 8 : Calculer les *pertes réelles* (colonne C) par différence entre des *pertes d'eau* (colonne B) et les *pertes apparentes* (colonne C).



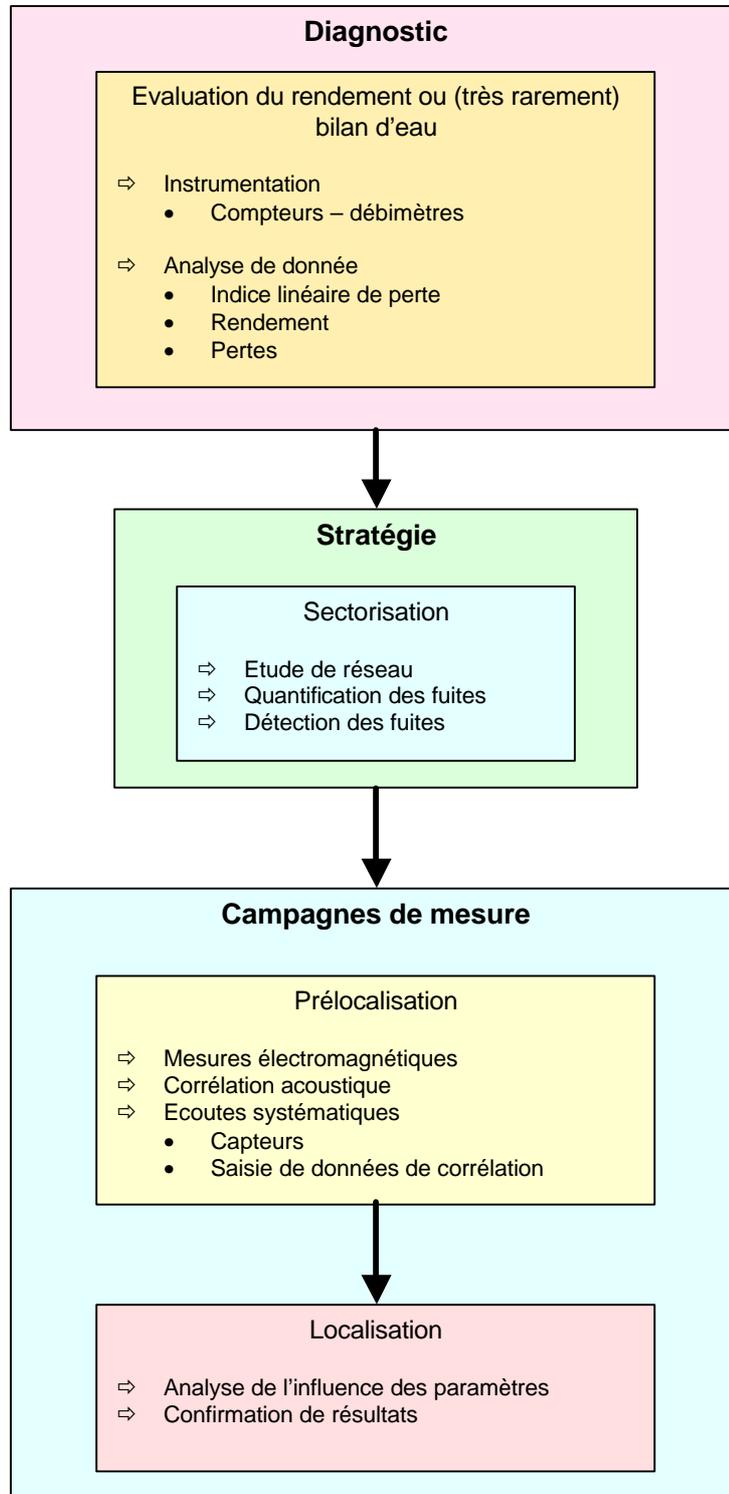
Etape 9 : Estimer les composantes des *pertes réelles* (colonne D) au mieux selon les moyens disponibles (analyses de débit nocturne, calculs de fréquence des ruptures/débits/durées, modélisations, etc.), additionner ces résultats et vérifier avec le volume de *pertes réelles* de la colonne C.

Cette démarche, très complexe, est encore loin de s'être généralisée en France. En revanche, il est possible de trouver au niveau local ou bien national les indicateurs suivants :

- ⇒ rendement de réseau ;
- ⇒ indice de pertes par branchement ;
- ⇒ indice de pertes linéaires.

4.2.2.2.2 La détection des fuites

La démarche de recherche et de détection des fuites suit les étapes suivantes :



La détection des fuites s'appuie sur l'écoute du bruit occasionné par l'échappement de l'eau sous pression. L'efficacité des appareils réside dans leur à traquer ce chuintement au sein de multiples sons environnants (écoulement, bruits de circulation automobile...). Les détecteurs sont schématiquement constitués :

- d'un micro ;
- d'un amplificateur ;
- d'un casque ;
- de multiples options permettant d'analyser et de filtrer le bruit de fond (indicateurs, aiguilles traînantes...).

Pour utiliser ces appareils, il est donc indispensable de parfaitement maîtriser l'environnement sonore et, surtout, de bien cibler les écoutes par zones (La gazette du 21 avril 2003).

En complément des détecteurs électroacoustiques, la « corrélation acoustique » permet de déterminer la position exacte d'une fuite en utilisant la vitesse de propagation du son dans une conduite. Pour cela, on dispose des capteurs de part et d'autre du tronçon à étudier. Cette technique n'est précise que si

- les caractéristiques du tronçon sont bien connus (nature de la canalisation, diamètre) ;
- le tronçon est homogène et linéaire.

Lorsque le réseau de distribution est important, les systèmes de pré-localisation des fuites permettent de gagner en efficacité. Le principe de ces systèmes repose sur une écoute systématique de bruit à l'aide de capteurs programmables répartis sur le réseau (environ tous les 250 m) sur une période plus ou moins longue (une nuit à quelques jours). La comparaison des données enregistrées permet de pré-localiser les zones fuyardes.

Nota : les canalisations en plastique propagent moins bien le son et ne peuvent donc pas être analysées avec le même succès par la méthode de corrélation acoustique utilisée pour les réseaux classiques métalliques. Celles-ci nécessitent l'utilisation d'un système de détection basé sur la mesure permanente de différence de pression entre des capteurs répartis sur le réseau.

4.2.3 Détection de l'usure

La détection de l'usure d'une canalisation peut se faire :

- soit à partir d'échantillons de canalisations relevés directement sur le réseau et étudiés par la suite ;
- soit par l'utilisation de techniques non destructrices permettant de mesurer l'épaisseur de la conduite (encore très peu utilisées en France et employées uniquement sur les grosses canalisations).

4.3 Détermination des critères de renouvellement

Un bon diagnostic de réseau permet de révéler d'éventuels facteurs déclenchants, ou critères de renouvellement, qui justifient la décision d'envisager des travaux de renouvellement.

La détermination de ces critères vient en aide, à tout gestionnaire de réseau d'eau potable, en lui permettant d'élaborer un programme de renouvellement et de construire un échéancier financier.

Les principaux motifs, responsables de telles opérations, sont listés ci-dessous :

- dégradation de la qualité de l'eau par le réseau ;
- dégradation visible de la conduite ;
- plainte des abonnés pour insuffisance de pression ou mauvaise qualité de l'eau ;
- augmentation du nombre de fuites, déterminée en comptabilisant le nombre de fuites réparées par an ramené au linéaire de canalisation ;
- risques de dommages liés aux fuites, notamment dégâts créés par l'eau de fuite ou dégâts/nuisances engendrés par une interruption de service non programmée pour les abonnés (hôpitaux, industries, ...) ;
- évolution des besoins des usagers ;
- évolution de la réglementation (matériaux, qualité de l'eau) ;
- pose d'un autre réseau - gaz, électricité, assainissement, téléphone, câble...- à proximité : le renouvellement apparaît opportun si :
 - la conduite en place est en très mauvais état ou très âgée,
 - l'indice linéaire de réparation est important,
 - par souci de sécurité.
- travaux de voirie qui ne sont pas un critère de renouvellement en soi. En revanche, il faut tenir compte de ces travaux lorsqu'ils sont associés à d'autres éléments tels que :
 - la fragilité et/ou qualité de conduites anciennes : risque de ruptures dans le cadre du chantier ;
 - l'historique des indices linéaires de réparation (ILR) ;
 - la position de la conduite par rapport à la nouvelle voirie ;
 - l'interdiction de rouvrir sur une chaussée neuve ;
 - l'incertitude sur l'évolution des besoins futurs.

5 TECHNIQUES DE NETTOYAGE ET DE CURAGE

Les dépôts et incrustations épais, formés sur les parois internes de la canalisation peuvent parfois atteindre des niveaux spectaculaires comme le montre la photographie ci-dessous.

Photographie n°4. Etat d'une canalisation avant nettoyage (Source AXEO)



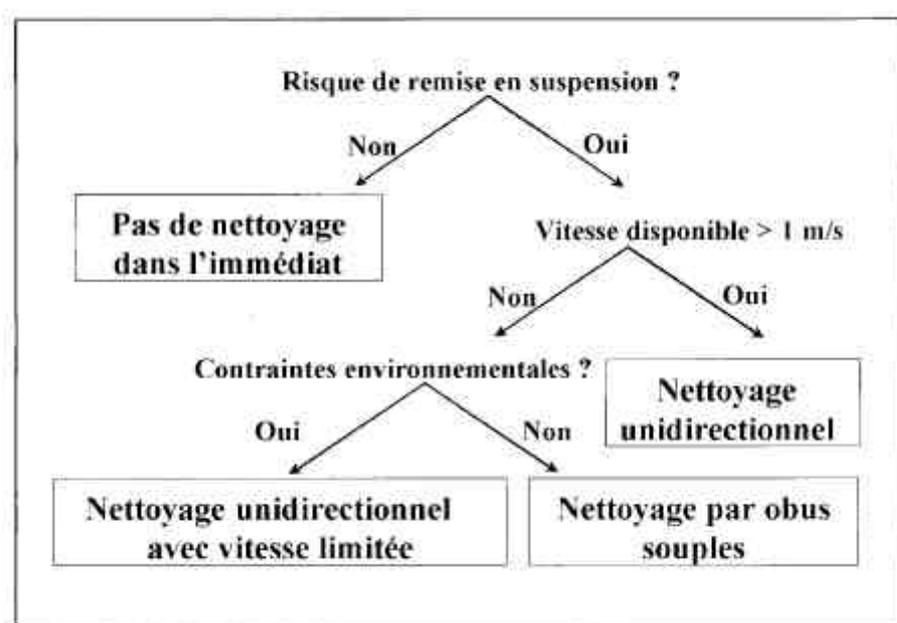
Les techniques de nettoyage et de curage peuvent intervenir à différents stades de l'exploitation d'un réseau d'eau potable :

- opération classique d'entretien pour éliminer les dépôts et incrustations épais, formés sur les parois internes de la canalisation ;
- opération précédant toute technique de réhabilitation, dans le but de préparer la canalisation à recevoir ce type de travaux.

Toutefois, l'opération de nettoyage n'est possible que si la canalisation supporte les pressions engendrées, c'est-à-dire si le nombre de fuites recensées n'est pas élevé. En effet, il est inutile de nettoyer une canalisation sur laquelle une intervention ultérieure est à prévoir pour réparer les fuites engendrées par ce nettoyage.

Avant de choisir la technique de nettoyage adéquate, il est nécessaire d'envisager un plan d'action, dans le but d'estimer efficacement les risques et les contraintes relatives à cette opération (cf. Graphique 12).

Graphique 12. Plan d'action pour le nettoyage du réseau (Source : Audit de réseau : un exemple de diagnostic de l'état de propreté et de mise en place d'actions correctrices de TSM n°6 – juin 2002)



Les principales techniques de nettoyage sont donc :

- purge ;
- nettoyage par introduction d'un mélange air-eau ;
- hydrocurage par tête rotative ;
- nettoyage par racleur souple ;
- nettoyage mécanique.

5.1 *Purge*

L'objectif est l'élimination des dépôts boueux ou oxydes peu incrustants.

La mise en œuvre, simple et peu onéreuse, consiste après isolement du tronçon à nettoyer, à ouvrir en bout de ce réseau une vidange ou un poteau d'incendie.

L'accélération de la vitesse de déplacement de l'eau dans la conduite permet une élimination satisfaisante de ces dépôts.

Cette méthode ne s'applique généralement qu'à des conduites dont le diamètre est inférieur ou égal à 100 mm.

5.2 Nettoyage par introduction d'un mélange air-eau

La limite de la purge des conduites réside dans la difficulté à générer des débits et des vitesses d'écoulement convenables dans les conduites de diamètre moyen ou grand, dans les zones de faible pression ou encore dans les conduites tuberculisées (fonte grise, fonte ductile, etc.).

Le nettoyage eau-air-eau est une technique développée qui permet de palier cette difficulté.

La méthode consiste à injecter de l'air filtré par saccades dans la conduite par une bouche d'incendie. Cet air injecté se déplace à travers le courant d'eau et y provoque de la turbulence. Chaque bulle qui se déplace est suivie d'un vide qui se remplit immédiatement avec l'eau environnante. Ce phénomène provoque un effet pulsatoire de l'eau de rinçage, entraînant pratiquement tous les dépôts amovibles de la conduite. L'air et l'eau y compris les dépôts solides sont éjectés à une bouche d'incendie se trouvant à l'autre extrémité de la conduite nettoyée. L'objectif de cette méthode est d'enlever les dépôts solides sans enlever ou endommager la corrosion incrustée, car il s'agit uniquement d'améliorer la qualité de l'eau.

5.3 Hydrocurage par tête rotative

L'objectif est d'éliminer superficiellement les dépôts facilement décrochables.

La technique consiste à introduire dans les conduites une tête rotative d'hydrocurage, procédé largement utilisé dans le cas de curage de canalisation assainissement.

Elle nécessite la mise hors service du tronçon à traiter ; une excavation est réalisée au départ de la partie de conduite à nettoyer.

Une coupe suffisante de la conduite est réalisée pour permettre l'introduction de la tête rotative.

Avant la remise en route du tronçon, une purge du réseau traité est nécessaire afin d'évacuer toutes les particules décrochées.

5.4 Nettoyage par racleur souple

L'objectif est d'éliminer les dépôts boueux et oxydes de manganèse, parfois conjugués avec des oxydes de fer. Cette technique est généralement utilisée pour la réhabilitation de conduite en fonte sans dépôt dur.

Cette technique utilise un bouchon racleur dont le corps est constitué d'une mousse de polyuréthane souple, qui présente à l'avant une forme ogivale.

Photographie n°5. Racleur souple (Source AXEO)



Les racleurs souples sont fabriqués en mousse polyuréthane très élastique et solide. Le revêtement en polyuréthane élastomère est très résistant à l'usure et augmente considérablement l'effet raclant de l'obus dans la conduite. Le corps est recouvert d'un revêtement plastifié, éventuellement muni de bandes abrasives au carbure de silicium. Les racleurs peuvent traverser sans peine les espaces étroits, les coudes et les vannes (AXEO – 2004).

Deux excavations sont réalisées afin de sectionner la canalisation pour installer une gare d'introduction et de réception. Au niveau de la gare, le racleur est introduit dans la canalisation, et est propulsé à l'intérieur de celle-ci par l'eau sous pression. Le racleur est légèrement surdimensionné par rapport au diamètre de la canalisation. Sous l'effet de la pression, le corps se comprime longitudinalement et s'expande radialement de toute sa surface contre la paroi de la conduite, assurant ainsi une étanchéité et un raclage forcé.

L'opération peut être renouvelée par passes successives (4 ou 5 fois) avec des racleurs présentant des possibilités de raclage de plus en plus importantes jusqu'à obtenir le résultat escompté.

Ensuite, sont réalisées une désinfection du réseau, un rinçage, la dépose des gares et la remise en service de la canalisation.

Le racleur arrive parfois à se coincer dans la canalisation, ce qui n'est pas le cas avec l'utilisation d'une forme, dite « goutte » ou « boule ». L'efficacité de cette dernière technique est cependant moindre.

Il est possible de nettoyer en un seul tronçon des linéaires pouvant atteindre jusqu'à 10 000 fois le diamètre nominal de la conduite. Les diamètres traités vont de 40 à 800 voire 1200 mm (AXEO – 2004).

5.5 Nettoyage mécanique

L'objectif est le détartrage et l'élimination d'une part importante des nodules de fer résistants, ainsi que des dépôts boueux et oxydes de manganèse.

Deux méthodes différentes peuvent être citées :

- Tringlage mécanique ;
- Raclage mécanique.

5.5.1 Tringlage mécanique

Cette technique met en œuvre dans la canalisation un outil racleur en acier, de forme spéciale. Celui-ci est entraîné en rotation et poussé de l'extérieur par l'intermédiaire de tringles flexibles en acier.

Photographie n°6. Tringlage (source AXEO)



Lors du passage de l'outil, les particules sont détachées de la conduite, broyées puis évacuées par un courant d'eau venant à contre sens de la marche de l'outil, assuré par l'ouverture d'une vanne en aval de l'excavation de départ.

Cette technique nécessite l'exécution d'une excavation, afin de sectionner la conduite et permettre ainsi l'introduction de l'outil racleur.

La remise en eau intervient après désinfection de la conduite et rinçage.

La longueur qui peut être traitée en une seule fois par cette technique (distance entre la gare d'entrée et la gare de sortie) est égale 300 mètres au maximum.

5.5.2 Raclage mécanique

Graphique 13. Outils pour le raclage mécanique (source site internet Sarp <http://www.sarp-onyx.co>)



Photographie n°7. Raclage mécanique : le nettoyage 3R (source AXEO)



Cette technique met en œuvre un outil de ramonage mû par l'eau du réseau, refoulé à fort débit (70 l/s pour une conduite de refoulement). Ce débit assure à la fois la progression de l'appareil, le décollement des dépôts et l'évacuation des particules détachées.

L'appareil est constitué :

- d'un propulseur qui assure la progression de l'outil dans la conduite et le décollement des dépôts,
- des couteaux qui procèdent au raclage de la canalisation et orientent vers la paroi des jets d'eau, projetés par le propulseur,

Un détecteur électronique peut aussi être intégré afin de permettre la localisation de l'appareil en cas de blocage dans la conduite. Il semble cependant préférable de disposer, lors des opérations de raclage, des opérateurs munis de sondes acoustiques sur le parcours du racleur. Cette dernière technique permettra, dans la plupart des cas, une détection fiable de la position du racleur bloqué.

La mise en œuvre de l'appareil nécessite l'exécution d'excavations aux extrémités de chaque tronçon à nettoyer.

L'appareil est introduit par le biais d'une gare dans la conduite, alimentée en eau par l'intermédiaire de pompes moyenne pression.

A l'extrémité du tronçon, la conduite est sectionnée pour permettre l'écoulement des eaux chargées en particules et la sortie de l'outil.

Il est à noter, qu'après la sortie de l'appareil, il n'est pas nécessaire d'effectuer un rinçage.

La longueur qui peut être traitée en une seule fois par un racleur mécanique (distance entre la gare d'entrée et la gare de sortie) est égale à 10.000 fois le diamètre de la canalisation à traiter.

6 PROCÉDES DE RÉHABILITATION DES CANALISATIONS

Une fois le tronçon à risque identifié, le choix entre des travaux de réhabilitation ou de renouvellement se pose. Cette stratégie de décision dépend donc :

- de la nature du dysfonctionnement constaté et de l'état du tuyau ;
- de l'opportunité : incidence sur l'environnement, bruit, fouille, ...
- des contraintes locales : réfection des sols, densité des branchements, durée envisageable de la coupure d'eau, largeur et encombrement de la voie, ...
- des coûts financiers du projet : coûts directs, coûts indirects (travaux nécessaires à l'exécution de l'ouvrage principal) et surtout les coûts sociaux (bruit, risque d'accident, perte d'exploitation des commerces...), difficilement évaluables.

6.1 *Réhabilitation des réseaux*

6.1.1 Définition et objectifs

Par définition, la réhabilitation consiste en une remise en état d'une conduite dégradée en vue de restituer les propriétés initiales ou bien d'en améliorer certaines. La réhabilitation de réseaux doit impérativement apporter :

- une technique performante et garantie ;
- une économie significative par rapport à la pose de canalisation en tranchée ;
- une faible gêne de l'environnement.

6.1.2 Techniques de réhabilitation

Les techniques de réhabilitation existantes sont nombreuses. Pour la plupart, elles sont spécifiques à un problème donné et à l'objectif visé : restructuration, consolidation, rétablissement de bonnes conditions hydrauliques d'écoulement, étanchement, ...

Les procédés de réhabilitation abordés concernent principalement les conduites non visitables :

- Tubage :
 - tubage sans contact ;
 - tubage à contact uniforme ;
- Chemisage ou revêtement par membrane ;
- Projection au mortier de ciment ;
- Revêtement en résine époxy.

Pour chaque procédé de réhabilitation, une fiche technique précise le domaine d'application et les critères de choix en fonction de l'état du réseau et des contraintes environnementales.

Nota : un procédé de réhabilitation peut-être classé selon ces propriétés mécaniques, comme :

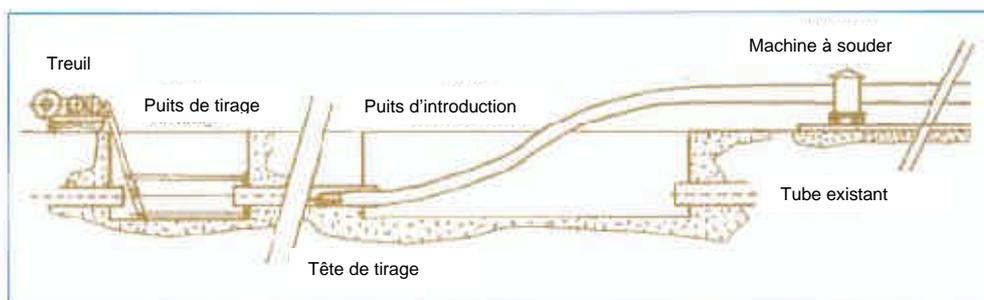
- *étanche ;*
- *consolidant ;*
- *auto-structurant.*

- TUBAGE AVEC ESPACE ANNULAIRE -

Principe :

L'objectif du procédé par tubage est d'insérer dans l'ancienne conduite un tube partiellement ou entièrement structurant, selon qu'il participe plus ou moins à la reprise des contraintes de pression, de remblai et des charges roulantes.

Graphique 14. Tubage simple (Source : AXEO)



Cette technique consiste à utiliser la conduite en place comme fourreau pour le passage d'une nouvelle canalisation (principalement PEhd). Celle-ci, dont les dimensions extérieures sont inférieures au diamètre de la conduite existante peut, éventuellement, réduire de manière significative le diamètre de la conduite. Cela peut d'ailleurs constituer un atout lorsque l'on veut réduire le temps de séjour dans une partie du réseau de distribution.

Après tubage, l'espace annulaire entre l'ancienne et la nouvelle conduite pourra être comblé par injection d'un coulis de ciment qui a pour rôle de transmettre les sollicitations extérieures sur la nouvelle conduite.

Opérations préalables nécessaires :

- inspection vidéo préalable
- nettoyage de la conduite
- vérification du diamètre intérieur de la canalisation, des points singuliers, des déviations angulaires et des réductions de section par le passage d'un gabarit

Avantages :

- puits de travail peu nombreux
- exécution rapide : 1 à 2 tronçons par semaine
- perturbations urbaines limitées
- pas de vide annulaire pour la conduite rénovée
- amortissement des coûts de béliers

Limites :

- nécessité d'ouvertures locales pour les réductions de diamètres, les changements de direction, les prises de branchement
- la diminution du diamètre intérieur peut parfois être une limite. Elle peut aussi être un atout si une diminution du temps de séjour dans une partie du réseau de distribution est nécessaire.

Domaine d'application :

- à ce jour, cette technique est applicable aux tronçons ayant des diamètres allant jusqu'à 14.000 mm et pouvant atteindre jusqu'à 1.500 m de longueur environ. La limite est liée, en fait, à la longueur du câble du treuil et à la puissance de ce dernier.

- TUBAGE SANS ESPACE ANNULAIRE -

Principe :

Cette technique, qui consiste à réaliser un chemisage de la conduite à réhabiliter par enfilage d'un tube prédéformé en PEHD (polyéthylène haute densité) se plaquant à l'intérieur de la canalisation en place, sans laisser de vide annulaire.

Contrairement à la méthode précédente, la diminution du diamètre de la conduite n'est pas significative, car sous l'action d'air sous pression et de vapeur, la nouvelle canalisation est plaquée sur l'ancienne.

Opérations préalables nécessaires :

- nécessité de travaux de nettoyage et passage de gabarit

Avantages :

- rapidité d'exécution
- peu de perturbations des sites
- adapté au tubage de conduites rectilignes

Limites :

- nécessité de puits de travail pour l'insertion et pour le tirage
- nécessité de traiter en tranchée ouverte pour les changements de direction, les réductions de diamètre, les prises de branchement
- grosses implantations de chantier

Domaine d'application :

- aucune limite de diamètre

On peut citer quatre grands procédés de tubage sans espace annulaire utilisés en France. Il s'agit :

- du procédé SUBLINE (AXEO) ;
- du procédé ROLLDOWN (AXEO) ;
- du procédé U-Liner (REHAU) ;
- du procédé SWAGELINING (SADE)...

Le procédé SUBLINE :

Une fois soudé, le tube est plié en forme de U et introduit ensuite dans la conduite suivant le même principe que le tubage simple. Une fois en place, on procède à la réversion en remplissant d'eau sous pression la nouvelle conduite (AXEO – 2004).

Chantier à Buenos Aires (source AXEO)



Le procédé ROLLDOWN :

Une fois soudé, le tuyau PE pénètre dans la machine ROLLDOWN, constituée de rouleaux concentriques, avant d'être introduit dans la canalisation existante. Les galets réduisent le diamètre du tube facilitant ainsi sa mise en œuvre notamment en limitant les efforts de tirage et les frottements (AXEO – 2004)..

La machine ROLLDOWN (source AXEO)



Après introduction, le tube est rempli d'eau à température ambiante. La mise en pression provoque sa « réversion » et lui permet de retrouver son diamètre initial.

Cette solution est applicable du diamètre 100 au diamètre 500 mm et peut être complètement auto-structurante (AXEO – 2004).

Le système RAULINER

Le système RAULINER est basé sur l'utilisation d'un tube dit « U-Liner » fabriqué en polyéthylène haute densité (PEHD). La forme en U de ce tube est obtenue grâce à un procédé spécial de déformation thermomécanique. La section du tube est ainsi réduite. Selon le diamètre du tube, 1.600 m maximum de tube peuvent être enroulé sur un touret et transportés jusqu'au chantier.

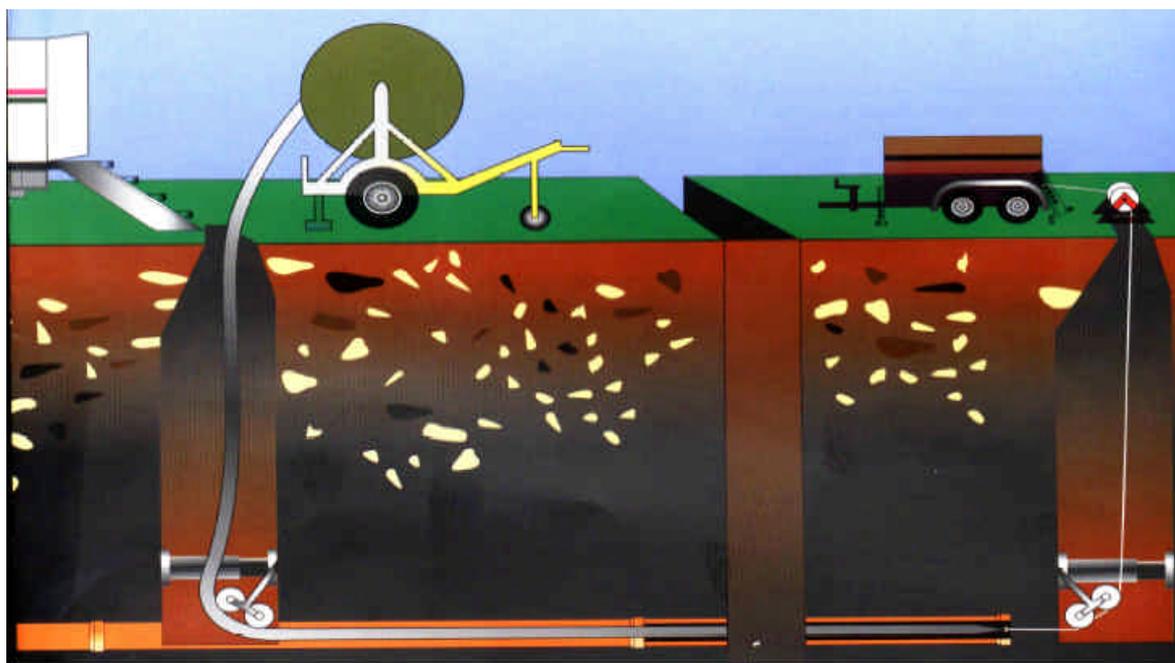
Photographie n°8. Système RAULINER pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement, de gaz et d'A.E.P. : mise en place du tube PE facilitée par sa forme en U (Source REHAU)



Le tube est tiré à l'aide d'un treuil dans la canalisation à réhabiliter. Compte tenu de sa forme en U, les efforts de traction sont réduits.

Après avoir monté des obturateurs spécialement développés pour ce système, on soumet le U-Liner à un process de remise en forme. Pour cela, on chauffe le tube à l'aide de vapeur pressurisée, ce qui réactive l'effet mémoire du tube et lui permet de retrouver sa forme circulaire initiale. Le tube se plaque ainsi contre les parois intérieures de l'ancienne canalisation.

Graphique 15. Système RAULINER pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement, de gaz et d'A.E.P. : Principe



- PROJECTION AU MORTIER DE CIMENT -

Principe :

Le principe de cette technique non structurante consiste en l'application, par centrifugation d'un mortier de ciment dans les conduites métalliques, en fonte ou acier.

Ce revêtement d'épaisseur constante (5 à 6 mm pour les conduites fontes, variable pour les conduites acier suivant leur âge et leur état sera d'au moins 6 mm), est immédiatement lissé par un outil approprié.

Opérations nécessaires :

- ⇒ avant remise en eau :
 - nettoyage et curage de l'ancienne conduite, au préalable
 - contrôle du durcissement

- ⇒ après remise en eau :
 - vigilance, après remise en eau, de la qualité (goût, résidus de matière, ...), procéder à des rinçages

Avantages :

- cadence d'application élevée
- grande compacité et forte résistance à la compression du mortier de ciment
- passivation du métal due à l'alcalinité du mortier de ciment

Limites :

- déconseillé pour les eaux de basse alcalinité et pour les eaux très douces
- capacité hydraulique réduite dans les petites canalisations
- difficile à mettre en œuvre pour les petits diamètres
- limité à des tronçons ne comportant pas de ramification ni de branchement qui seraient obstrués par le mortier

Domaine d'application :

- applicable aux canalisations métalliques ayant conservé une bonne tenue mécanique en dépit d'une forte corrosion de leur paroi interne (une étude métallographique est réalisée pour confirmer l'état mécanique des canalisations)
- applicable aux conduites allant de 100 mm jusqu'à 6000 mm de diamètre
- exige que l'eau distribuée ne soit ni trop douce ni trop acide
- non applicable dans les zones à faible consommation d'eau