

Recommandation – Entretien structurel des installations d'évacuation des eaux



Version consultation septembre 2023

Mentions légales

Équipe de projet :

Alain Fallegger (Présidence)
Dominik Börrnert
Heinz Künzler
Fabrizio Naro
Sebastian Würfel

Office des ponts et chaussées de la ville de Berne
Hunziker Betatech AG, Winterthur
Aquacon Ingenieure GmbH, Nänikon
Association des assainisseurs des canalisations KSV
Office des ponts et chaussées de Bâle-Ville

Remarques :

La présente publication a été rédigée avec grand soin et sur la base des dernières connaissances. Elle correspond à l'état de la technique au moment de la publication. Nous déclinons toutefois toute responsabilité quant à son exactitude, son exhaustivité et son actualité. La VSA décline toute responsabilité quant à d'éventuels dégâts ou dommages de nature matérielle ou immatérielle pouvant être produits par l'utilisation et l'application de la présente publication.

Éditeur et commandes :

VSA, Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
Europastrasse 3, Postfach, 8152 Glattbrugg
(Tél. 043 343 70 70)

avec le soutien de l'OFEV

Copyright © 2023 by VSA

Version consultative 18 septembre 2023

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	5
Domaine d'application	5
1 Généralités	6
1.1 Introduction	6
1.2 Champ d'application	6
1.3 Objectif	6
1.4 Délimitation par rapport à d'autres documents du VSA	7
1.5 Sécurité au travail dans les ouvrages d'évacuation des eaux	9
1.5.1 Généralités	9
1.5.2 Lois, normes et directives	9
1.5.3 Dangers	9
1.5.4 Mesures de protection	9
1.6 Responsabilité du propriétaire	10
1.7 Processus de vieillissement	10
1.8 Exigences sur les installations d'évacuation des eaux	11
1.8.1 Étanchéité	11
1.8.2 Stabilité statique	11
1.8.3 Sécurité d'exploitation	11
1.8.4 Durée d'utilisation	12
2 Groupes de procédés et procédés	13
3 Choix du procédé et de la technique de construction	14
3.1 Procédure	14
3.2 Principes	14
3.3 Facteurs d'influence	15
3.3.1 Facteurs d'influence principaux	15
3.3.2 Autres grandeurs d'influence	16
3.4 Choix du groupe de procédés	17
3.5 Choix de la technique de construction	18
3.6 Meilleure variante	18
3.7 Remarques sur la qualité et la rentabilité	18
4 Réparation	19
4.1 Procédés de réparation	20
4.1.1 Procédés robotisés	20

4.1.2	Réparation intérieure manuelle	23
4.1.3	Petite fouille	24
4.2	Procédés d'injection	25
4.3	Procédés d'étanchéification	27
4.3.1	Gaine courte	27
4.3.2	Profilé chapeau	29
4.3.3	Manchettes intérieures	31
4.3.4	Réparation manuelle de joints et de raccords de tuyaux	33
4.3.5	Procédé de noyage	35

5 Rénovation 37

5.1	Procédés d'habillage	38
5.1.1	Chemisage extensible (tubage à tuyau long)	38
5.1.2	Chemisage avec tuyau court (tubage à tuyau court)	40
5.1.3	Chemisage close-fit (tubage close-fit)	43
5.1.4	Chemisage par enroulement hélicoïdal (tubage par enroulement hélicoïdal)	45
5.1.5	Chemisage avec tuyau flexible (tubage avec tuyau flexible durci sur place)	48
5.1.6	Chemisage avec tuyau à picots	50
5.1.7	Habillage avec des éléments individuels montés (procédé par montage)	52
5.2	Procédés de revêtement	54
5.2.1	Procédé par projection	54
5.2.2	Procédé de projection par centrifugation	56
5.2.3	Procédé par refoulement	58
5.2.4	Procédé par application et pression	59

6 Annexes 60

6.1	Bases légales	60
6.1.1	Généralités	60
6.1.2	Sécurité au travail	60
6.2	Normes, directives et aide-mémoires	60
6.2.1	Généralités	60
6.2.2	Sécurité au travail	60

7 Liste des abréviations 61

Version consultation septembre 2023

AVANT-PROPOS

Ces dernières décennies, d'importants investissements ont été consacrés à la construction d'infrastructures d'évacuation des eaux par des maîtres d'œuvre publics et privés en Suisse. Aujourd'hui, la longueur du réseau public primaire est d'environ 50'000 km¹. Celle du réseau privé secondaire est d'environ 80'000 km. La valeur de remplacement de toutes les installations d'évacuation des eaux est estimée à env. 80 milliards de francs ; elles ne peuvent toutefois remplir leur fonction que si elles sont exploitées et entretenues en permanence par du personnel qualifié.

L'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) a publié en 1992 une première directive sur l'entretien des canalisations.

La présente recommandation *Entretien structurel des installations d'évacuation des eaux* remplace la directive *Maintien des canalisations – Entretien structurel des installations d'évacuation des eaux* de 2009 et reflète l'état actuel de la technique ainsi que les normes en vigueur.²



Jürg Möckli

Directeur du Centre de compétences Canalisation du VSA, Glattbrugg, juillet 2023

DOMAINE D'APPLICATION

La recommandation a pour but d'aider les maîtres d'ouvrage et planificateurs lors de l'étude de projet de mesures d'entretien structurelles sur les canalisations et chambres ainsi que lors du choix des procédés. Elle renvoie aux normes et règlements en vigueur, mentionne les tâches et responsabilités de tous les participants au projet et présente une récapitulation détaillée des différents procédés d'assainissement et leurs domaines d'application.

¹ Coûts et prestations de l'assainissement (2011)

² Le VSA a remanié son guide relatif aux publications. Dans ce cadre, les désignations des documents ont aussi été réglementées. Selon ce guide, la présente publication est donc une recommandation. Sa valeur et sa validité restent toutefois inchangées.

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 Introduction

D'après la loi sur la protection des eaux en vigueur, le propriétaire d'une installation d'évacuation des eaux est tenu d'accorder tout le soin que les circonstances exigent pour protéger l'environnement contre les atteintes nuisibles et maintenir ladite installation en état de fonctionner. Cela signifie que les équipements défectueux doivent être réhabilités rapidement par le propriétaire. Le relevé de l'état actuel, la planification ciblée et la réalisation de mesures d'entretien structurel ainsi que la mise en œuvre à temps des mesures tiennent compte de ce fait. La recommandation du VSA *Entretien structurel des installations d'évacuation des eaux* doit contribuer à ce que les mesures à réaliser soient sélectionnées et planifiées correctement tant sur le plan économique que qualitatif.

La tâche des installations d'évacuation des eaux est de collecter et d'évacuer de manière sûre et sans danger les eaux usées et pluviales. Les installations doivent être étanches, stables et en parfait état de fonctionnement et contribuer ainsi à la santé et à la sécurité publiques ainsi qu'à la protection de l'environnement. Pour obtenir un fonctionnement irréprochable et correct, elles sont réalisées sur la base d'un vaste ensemble de normes. Les exigences ne doivent pas être influencées négativement par l'exécution des mesures de réhabilitation et/ou les propriétés des matériaux utilisés.

Les systèmes d'évacuation des eaux doivent satisfaire aux caractéristiques définies, pendant la durée d'utilisation prévue. Pour cela, toutes les installations doivent être inspectées et évaluées dans la mesure adéquate. Si les caractéristiques requises ne sont pas respectées, il faut prévoir une réhabilitation. Le but de celle-ci est de remédier aux dommages constatés et de maintenir ainsi l'état structurel théorique des systèmes d'évacuation des eaux ou de le rétablir, voire de l'améliorer en fonction d'exigences nouvelles ou adaptées.

1.2 Champ d'application

La présente recommandation s'applique à l'entretien structurel des installations d'évacuation des eaux à l'extérieur des bâtiments. Il s'agit de canalisations et de collecteurs d'évacuation enterrées, non pressurisées, praticables ou non, de chambres en béton coulé sur place et de chambres en éléments de construction préfabriqués.

Elle ne s'applique pas aux nouvelles constructions ni au renouvellement d'installations d'évacuation des eaux. Ces points sont traités entre autres dans la norme SIA 190 :2017 *Canalisations*, la SN 592'000 :2000 *Installations pour évacuation des eaux des Biens-Fonds - Conception et exécution* ainsi que la norme SIA 195 :2019 *Fonçage de tubes*.

1.3 Objectif

La présente recommandation doit permettre aux autorités, aux propriétaires, aux exploitants et aux planificateurs de choisir, de projeter et d'exécuter de manière optimale l'entretien structurel des installations d'évacuation des eaux en tenant compte des aspects techniques, économiques et écologiques.

De plus, elle doit contribuer au choix du procédé de réhabilitation le plus économique ou de la technique de construction la plus avantageuse pour remédier aux défauts constatés lors du contrôle d'état. Par ailleurs, elle définit des recommandations et des critères uniformes pour l'implémentation des mesures de réhabilitation. Elle recommande en particulier :

- Comment et par quel procédé un défaut structurel peut être éliminé ;
- Quels contrôles et examens sont nécessaires en cas de mesures de réhabilitation structurelles.

1.4 Délimitation par rapport à d'autres documents du VSA

Différentes étapes de procédure doivent être distinguées lors du maintien des installations d'évacuation des eaux (voir la figure 1). Le relevé de l'état comprend l'inspection visuelle des installations d'évacuation des eaux avec codification des constats. La directive du VSA *Relevé de l'état des installations d'évacuation des eaux* s'applique à l'inspection visuelle. Quant à l'aide-mémoire du VSA *Codification des observations et transfert des données*, il prescrit comment codifier les constats et les transférer vers les systèmes de données pertinents.

Par ailleurs, la directive *Évaluation de l'état des installations d'évacuation des eaux* traite de la classification et de l'appréciation de l'état. Le résultat de ce processus de calcul automatique est la note d'état ainsi que l'indice d'urgence comme indicateurs du délai de réalisation des mesures de réhabilitation au point de vue tant structurel que fonctionnel.

Ces résultats de l'évaluation de l'état servent alors de base à la planification des mesures. La présente recommandation doit servir d'aide à la décision. Les mesures sont fixées par l'ingénieur-e spécialisé-e ; elles ne tiennent pas seulement compte des aspects structurels, mais aussi d'autres conditions cadres comme les données hydrauliques découlant du Plan général d'évacuation des eaux (PGEE) ou celles issues de la coordination avec d'autres domaines d'infrastructure.

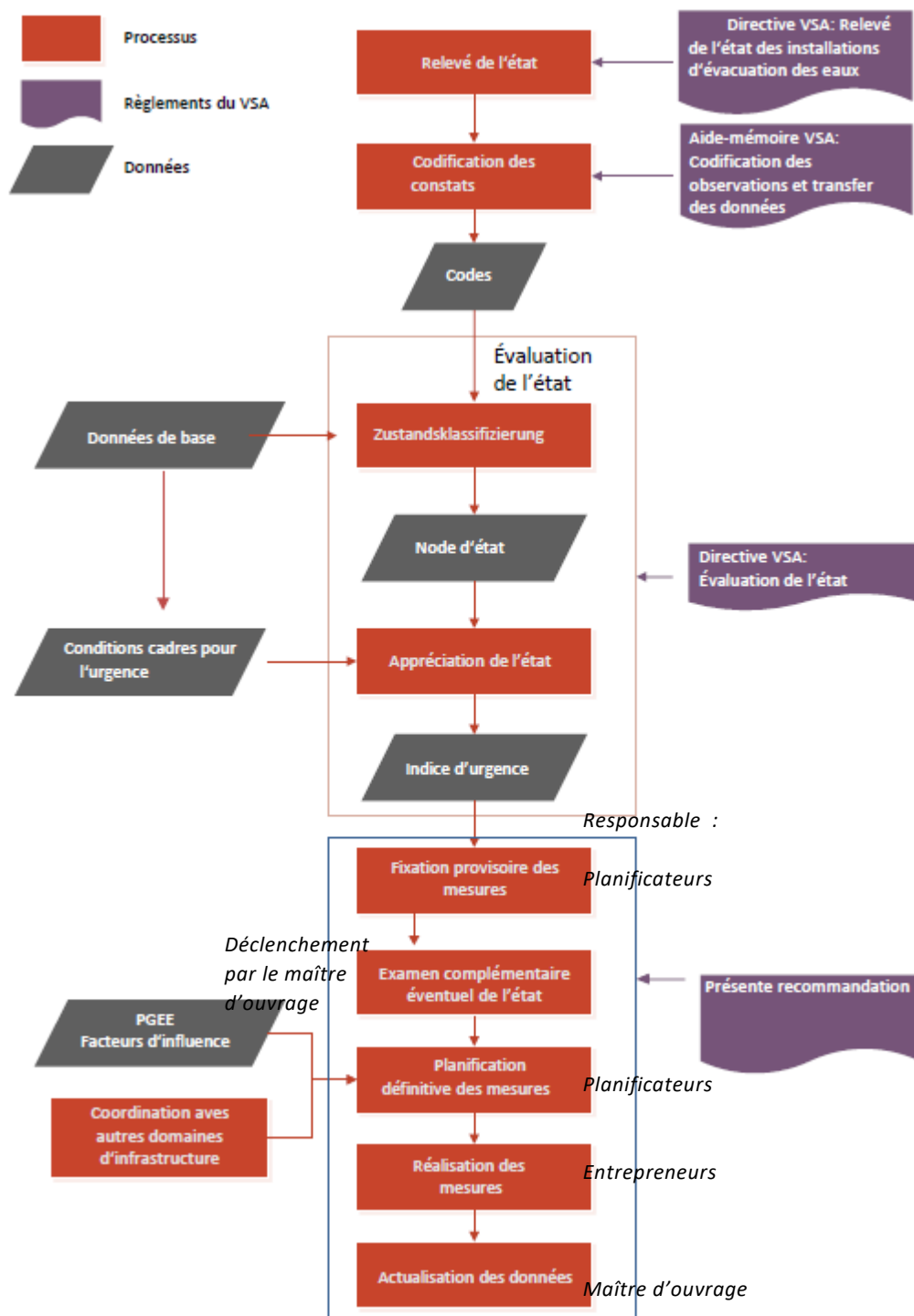


Figure 1 : étapes de travail lors de la planification de maintien pour des installations d'évacuation des eaux

Les objectifs de qualité à atteindre lors de la mise en oeuvre des mesures d'entretien structurel sont basés sur la directive du VSA *Qualité dans la réhabilitation des installations d'évacuation des eaux* (QUIK). Cette directive définit des conditions contraignantes pour l'assurance qualité des matériaux, produits et systèmes utilisés dans les procédés de réparation et de rénovation. De plus, elle décrit les exigences auxquelles une entreprise de réhabilitation doit satisfaire pour obtenir une attestation d'aptitude VSA pour ses procédés de réparation et de rénovation.

Lors de l'attribution de travaux de réhabilitation, le VSA recommande à tous les propriétaires d'installations d'évacuation des eaux de ne mandater que des entreprises avec attestations d'aptitude VSA valides.

1.5 Sécurité au travail dans les ouvrages d'évacuation des eaux

1.5.1 Généralités

Divers dangers peuvent se survenir lors de travaux dans les espaces clos d'ouvrages techniques d'évacuation des eaux.

Le risque doit être minimisé par des mesures appropriées et par le respect de toutes les consignes de sécurité.

1.5.2 Lois, normes et directives

Les principes de la sécurité au travail applicables aux travaux dans les installations techniques d'évacuation des eaux sont présentés en annexe de cette recommandation.

1.5.3 Dangers

Certains dangers pouvant se présenter lors de travaux dans des ouvrages d'évacuation des eaux sont indiqués ci-après :

- Manquements organisationnels
- Dangers dus à des substances nuisibles pour la santé
- Dangers de chute
- Danger de glissade
- Dangers dus à des équipements
- Dangers dus à des déficits de construction
- Noyade
- Fatigue physique accrue
- Courant électrique
- Feux et explosions
- Dangers sur les voies de circulation
- Mesures de sauvetage insuffisantes ou incorrectes

1.5.4 Mesures de protection

Des mesures de protection techniques, organisationnelles et relatives aux personnes doivent être prises contre les dangers et contraintes recensés (liste non exhaustive).

Mesures organisationnelles

- Instructions à toutes les personnes concernées par les travaux
- Instruction sur l'équipement de protection individuelle
- Réalisation de contrôles de sécurité du matériel
- Recours à des postes de sécurité
- Entraînement régulier au sauvetage
- Mesures de déviation de la circulation
- Protection de la zone de travail par des barrières
- Élaboration d'un concept de sécurité et d'une organisation pour les urgences

Mesures relatives aux personnes

- Équipement de protection individuelle (EPI) approprié
- Vaccins et prévention par la médecine du travail
- Équipement du groupe de travail (communication etc.)

Mesures techniques

- Aération suffisante
- Mesures appropriées pour l'épuisement des fouilles
- Exclusion sûre des sources d'inflammation
- Utilisation uniquement d'appareils intacts et contrôlés

Version consultation septembre 2023

- Protections contre les chutes
- Protection contre les équipements mobiles
- Utilisation de lignes de vie et de filets de sécurité
- Système d'alarme, alerte par mesure de niveau
- Surveillance de la météo, installation de systèmes d'alerte aux précipitations

1.6 Responsabilité du propriétaire

Conformément à la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux), chacun est tenu d'accorder tout le soin que les circonstances exigent à protéger les eaux contre les atteintes nuisibles. Il est interdit d'introduire directement ou indirectement dans une eau des substances de nature à la polluer ; l'infiltration de telles substances est également interdite. Les frais de construction et d'entretien des installations publiques d'évacuation des eaux doivent être couverts par des taxes découlant du principe de causalité (pollueur-payeur). Le devoir de contrôle et d'entretien incombe au détenteur de l'installation.

Cette obligation de maintenance touche également l'évacuation des eaux des biens-fonds privés par les propriétaires fonciers concernés. Le financement se fait par des moyens privés. La répartition du coût de ces mesures doit être réglée sur la base du droit privé et, dans l'intérêt de tous, être inscrite au registre foncier.

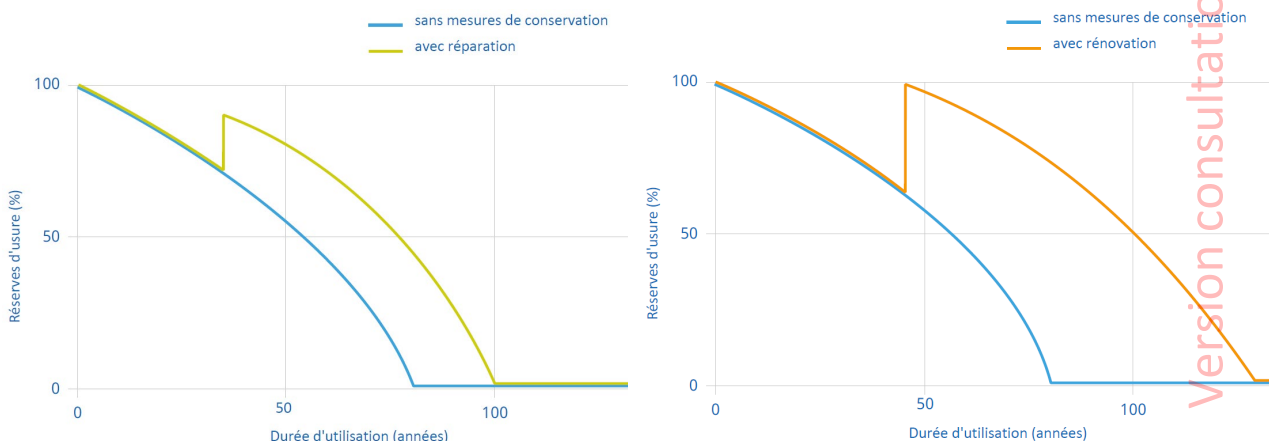
Selon l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux), le détenteur d'un ouvrage d'évacuation des eaux doit non seulement maintenir les installations en état de fonctionnement, mais aussi constater les écarts par rapport au fonctionnement normal, en déterminer les causes et y remédier dans les plus brefs délais. Pour remplir les exigences législatives, des mesures d'entretien structurel et opérationnel sont donc impératives.

Le plan général d'évacuation des eaux (PGEE) est un instrument important pour les exploitants du réseau d'égouts publics. Le PGEE est l'instrument de planification de l'assainissement urbain sous les aspects de la protection des eaux, de la sécurité d'exploitation, du maintien de la valeur et de la sécurité de l'évacuation des eaux (hydraulique). Avec les actions nécessaires identifiées dans les rapports d'état sur les canalisations, les eaux claires parasites et les eaux superficielles, le PGEE est un instrument central pour le maintien de la valeur et constitue la base de la planification de l'entretien structurel et opérationnel.

1.7 Processus de vieillissement

Tous les ouvrages subissent un processus naturel de vieillissement. Il est fortement influencé par différents facteurs comme la qualité de la planification, la qualité de la réalisation, l'intensité de l'utilisation, l'entretien opérationnel et structurel. Le vieillissement des installations d'évacuation des eaux est habituellement nettement plus rapide sans entretien. La durée effective d'utilisation dépend donc fortement d'une planification ciblée de l'entretien, du choix de mesures durables et de la mise en œuvre à temps des mesures d'entretien structurel.

Le graphique suivant montre le processus de vieillissement typique d'un ouvrage d'évacuation des eaux avec ou sans entretien opérationnel et structurel.



1.8 Exigences sur les installations d'évacuation des eaux

1.8.1 Étanchéité

Toutes les installations d'évacuation des eaux doivent être étanches durant toute la durée de leur utilisation depuis l'entrée des eaux usées jusqu'à l'exutoire dans le milieu récepteur. Aucun effet négatif sur l'environnement ne doit survenir. Mais ces exigences ne peuvent être remplies que si l'on remédie à temps à tous les défauts d'étanchéité constatés sur la base du contrôle de l'état.

En cas d'inétanchéité, des eaux usées polluées peuvent s'écouler dans le sol environnant et polluer les eaux souterraines (exfiltration). D'autre part, des eaux souterraines peuvent pénétrer dans le réseau d'assainissement (infiltration), ce qui peut poser des problèmes à la station d'épuration, augmenter les coûts d'exploitation et finalement conduire à des taxes plus élevées. Selon la nature du sol environnant et l'intensité des infiltrations, des particules fines du sol peuvent être lessivées, ce qui peut avoir un effet négatif sur l'enrobage des conduites. Si ce lessivage se poursuit, des dépressions ou des trous appelés dolines peuvent se produire en surface.

1.8.2 Stabilité statique

Les installations d'évacuation des eaux doivent conserver leur capacité de charge pendant toute la durée de leur utilisation afin de garantir la capacité fonctionnelle. L'état structurel doit permettre de supporter en tout temps toutes les charges externes et internes appliquées. Il s'agit en particulier de :

- Poids de la couverture de terre
- Charges du trafic
- Charges dues à la pression hydraulique externe et interne
- Surcharges (bâtiments, piliers etc.)
- Contraintes (influences thermiques, mouvements du sol)

Si la capacité portante n'est plus garantie, des mesures de réhabilitation appropriées doivent immédiatement être prises et justifiées au moyen de calculs de statique. Des investigations techniques pendant la phase d'études de projet permettent une utilisation optimale des matériaux.

1.8.3 Sécurité d'exploitation

Les installations d'évacuation des eaux doivent être capables de recevoir en tout temps la quantité d'eaux usées prévue et offrir une sécurité d'exploitation suffisante. Cela comprend en particulier :

- une capacité suffisante d'évacuation sans dommage des déversements d'eaux usées,
- un état structurel général qui minimise les risques d'accidents, de dépôts, d'odeurs et de bruits.

Version consultation septembre 2023

Le tableau suivant donne un aperçu des défauts les plus fréquents et de leurs conséquences possibles.

Tableau 1 : défauts et leurs conséquences fréquentes

Type de dommages	Conséquences (liste non exhaustive)
Dépôts	Réduction de la section d'écoulement, refoulement, engorgement, putréfaction, corrosion du béton et du métal, odeurs et frais d'exploitation accrus
Pénétration de racines	Réduction de la section d'écoulement, refoulement, étanchéité compromise, frais d'exploitation accrus, dépôts
Défauts structurels, fissures, éclats, déformations et déplacements	Capacité fonctionnelle et/ou capacité portante et étanchéité totalement ou partiellement compromises
Exfiltration	Menace sur les eaux souterraines, pollution possible des eaux, atteinte à l'enrobage des conduites
Entrée d'eaux claires parasites, infiltration	Surcharge de la canalisation et de la STEP

1.8.4 Durée d'utilisation

La durée d'utilisation prévue des installations d'évacuation des eaux ne peut être atteinte que si, en plus d'une maintenance opérationnelle régulière, des mesures d'entretien structurel – réparations, rénovations et remplacements – sont projetées et réalisées à temps.

Le tableau suivant donne des valeurs indicatives de la durée d'utilisation moyenne des différentes parties des installations d'évacuation des eaux ou de la durée d'utilisation attendues des différentes mesures d'entretien structurel.

Tableau 2 : durées d'utilisation d'installations d'évacuation des eaux et mesures d'entretien structurel

Ouvrage / installation d'évacuation des eaux	Durée d'utilisation recommandée (objectif)
Conduites d'évacuation des eaux en écoulement gravitaire	80 ans
Chambres de visite	50 à 80 ans
Ouvrages spéciaux (structure porteuse)	50 ans
Équipement électromécanique (pompes, etc.) resp. vannes / limnimètres	15 ou 30 ans
Conduites en pression	50 ans
Mesure d'entretien structurel	Durée d'utilisation (objectif)
Réparation	20 ans
Rénovation	50 ans

2 GROUPES DE PROCÉDÉS ET PROCÉDÉS

Il y a trois groupes de procédés dans le domaine de la réhabilitation des installations d'évacuation des eaux : la réparation, la rénovation et le renouvellement. En fonction du type et de l'importance du dommage, ainsi que des contraintes hydrauliques, écologiques et économiques, différents procédés peuvent être mis en œuvre spécifiquement pour remédier aux défauts.

L'aperçu suivant montre les groupes de procédés et les procédés pour l'entretien structurel des installations d'évacuation des eaux.

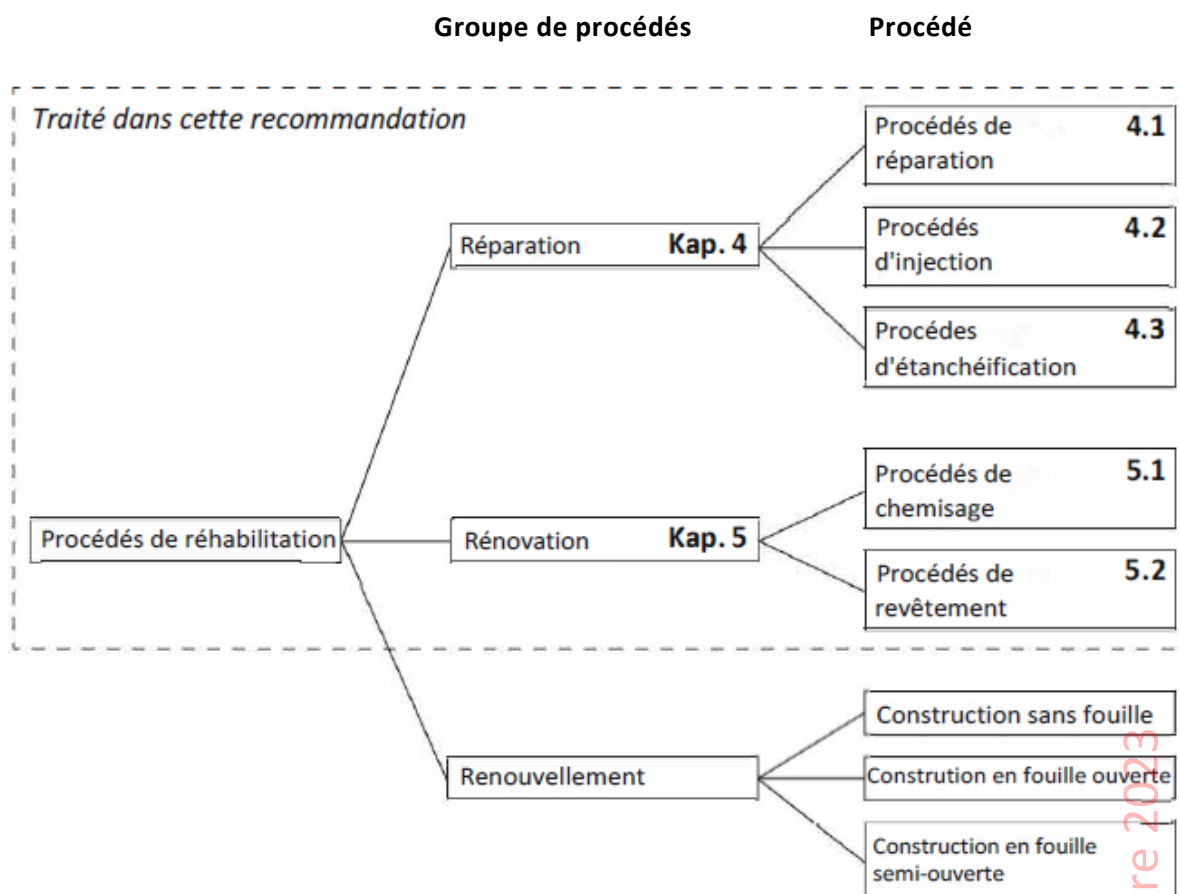


Figure 3 : aperçu des groupes de procédés et procédés dans le domaine de la réhabilitation des installations d'évacuation des eaux

3 CHOIX DU PROCÉDÉ ET DE LA TECHNIQUE DE CONSTRUCTION

3.1 Procédure

Pour le planificateur et l'exploitant d'un réseau, l'une des tâches les plus difficiles de l'entretien structurel est de choisir le bon procédé et la technique appropriée de construction.

Le choix de la technique de construction optimale des points de vue technique, juridique et économique pour l'élimination des dommages est en général réalisé sur la base de l'évaluation de l'état (calcul de la note d'état) ainsi que de l'évaluation du délai d'intervention (calcul de l'indice d'urgence).

Phase 1 : analyse complète des données de base en ce qui concerne les dommages, leurs causes et l'ensemble des facteurs d'influence.

Phase 2 : sur la base de l'évaluation de l'état, décider si les tronçons de conduite concernés doivent être réparés, rénovés ou renouvelés. La décision doit être harmonisée avec les exigences du plan général d'évacuation des eaux et dépend notamment de la charge hydraulique, de la durée d'utilisation prévue ou de la rentabilité.

Simultanément, il faut déterminer l'indice d'urgence. On en déduit le niveau de priorité pour remédier aux dommages de l'ouvrage concerné. Des critères centraux à considérer sont ici le type d'eaux usées, le niveau de la nappe phréatique et la localisation dans une zone de protection des eaux. Des examens complémentaires à l'inspection visuelle peuvent être pris en considération pour la priorisation, p. ex. des contrôles d'étanchéité.

Phase 3 : quand la décision de principe concernant le groupe de procédés a été prise, la technique de construction appropriée doit être déterminée dans la troisième phase. En plus des critères d'influence déjà mentionnés, une multitude de facteurs supplémentaires doit être prise en compte. En cas de dommages complexes, il est recommandé d'effectuer une comparaison approfondie des variantes. Il ne faut pas oublier les éventuelles restrictions d'utilisation dans les zones de protection des eaux souterraines.

3.2 Principes

Lors du choix d'un procédé de réhabilitation approprié et de la détermination de la technique de construction destinée à éliminer des dommages, il faut respecter les principes suivants :

Utiliser les moyens de manière ciblée

- La gestion planifiée intégrale repose sur la connaissance précise du parc installé ainsi que sur la détection précoce et la mise à disposition rapide des mesures et des moyens financiers nécessaires.

Gérer plus efficacement grâce à une responsabilité globale

- La planification intégrale, qui permet de réduire les coûts en réunissant différents domaines de planification, exige une responsabilité globale.

Réduire le nombre de chantiers

- La coordination des différents détenteurs d'ouvrage permet de regrouper des chantiers. En outre, le choix de procédés et techniques de construction modernes permet de réduire les désagréments pour les riverains ou le trafic.

Inclure les besoins futurs

- Une préparation minutieuse et en temps utile permet d'identifier à temps les besoins futurs et de les prendre en compte dans la planification des mesures et des moyens financiers.

Choisir des procédés et des techniques de construction modernes

3.3 Facteurs d'influence

Les facteurs principaux énumérés ci-après tout comme divers autres critères d'influence et contraintes doivent être pris en compte dans le choix d'un procédé de réhabilitation approprié et la détermination de la technique de construction.

3.3.1 Facteurs d'influence principaux

Parmi les facteurs d'influence principaux, il convient de mentionner :

- Relevé et évaluation de l'état (type et étendue des dommages)
- Déformations (état du tuyau usé), appréciation de la capacité portante statique
- Conditions hydrauliques, charge et niveau de refoulement (PGEE)
- Niveau de la nappe phréatique
- Changement de fonction (conduite à écoulement gravitaire -> conduite de rétention)
- Durée d'utilisation prévue de l'ouvrage d'évacuation des eaux à réhabiliter (changements prévus d'affectation de la zone etc.)
- Durabilité de la mesure de réhabilitation
- Compatibilité de la mesure avec l'environnement
- Coûts totaux
- Efficience de la mesure (vérification des coûts totaux et rapport coûts/avantages)
- Coordination avec d'autres mesures d'infrastructure (construction routière, électricité, eau, gaz etc.)

Lors de l'évaluation des dommages et des défauts, la recherche des causes possibles revêt aussi une importance capitale. Il peut s'agir de :

Planification :

- Planification / exécution et conduite du chantier déficientes
- Non-respect des normes et directives
- Non-respect des conditions pédologiques
- Modification de l'infrastructure (industrie → zone résidentielle)
- Utilisation de matériaux de construction inappropriés (solidité)

Exécution :

- Utilisation de matériaux de construction défectueux
- Pose et enrobage des conduites incorrects (non-respect des prescriptions de pose)
- Utilisation non conforme d'équipements de compactage du sol
- Remblayage non conforme des tranchées
- Effets thermiques
- Utilisation de procédés de curage inappropriés

Surveillance :

- Augmentation du trafic
- Vieillessement des ouvrages

Version consultation septembre 2023

3.3.2 Autres critères d'influence

En plus des facteurs principaux d'influence déjà mentionnés, de nombreux critères et contraintes supplémentaires doivent être prises en compte :

Situation initiale

- Matériau de la conduite, diamètre nominal, forme de la section transversale et longueur du tronçon de canalisation
- Type d'utilisation, quantité et pollution des eaux usées (chimique, biochimique, biologique)
- Sollicitation mécanique et physique (utilisation et entretien fonctionnel)
- Nombre, localisation et état des raccordements latéraux et des conduites d'évacuation des eaux des biens-fonds
- Évaluation de l'état et de la statique du tuyau usé (preuve statique de la sécurité structurale)

Localisation et environnement

- Géologie, sous-sol, conditions du sol et des eaux souterraines, secteur de protection des eaux ou zone de protection des eaux souterraines
- Tracé de la canalisation en plan et en profil en long, profondeur, localisation par rapport aux conduites de réseau
- Conditions spatiales, nature de la surface et localisation dans les voies de circulation
- Constructions, accessibilité des chambres et des autres infrastructures (canalisations voisines, câbles)
- Perturbation du public (trafic, restrictions pour les riverains, épuisement des fouilles)
- Effets possibles sur l'environnement (eaux usées dans l'émissaire et émissions vers les riverains)

3.4 Choix du groupe de procédés

Le processus de décision conduisant au choix du groupe de procédés (réparation, rénovation, renouvellement) peut se dérouler selon le schéma suivant.

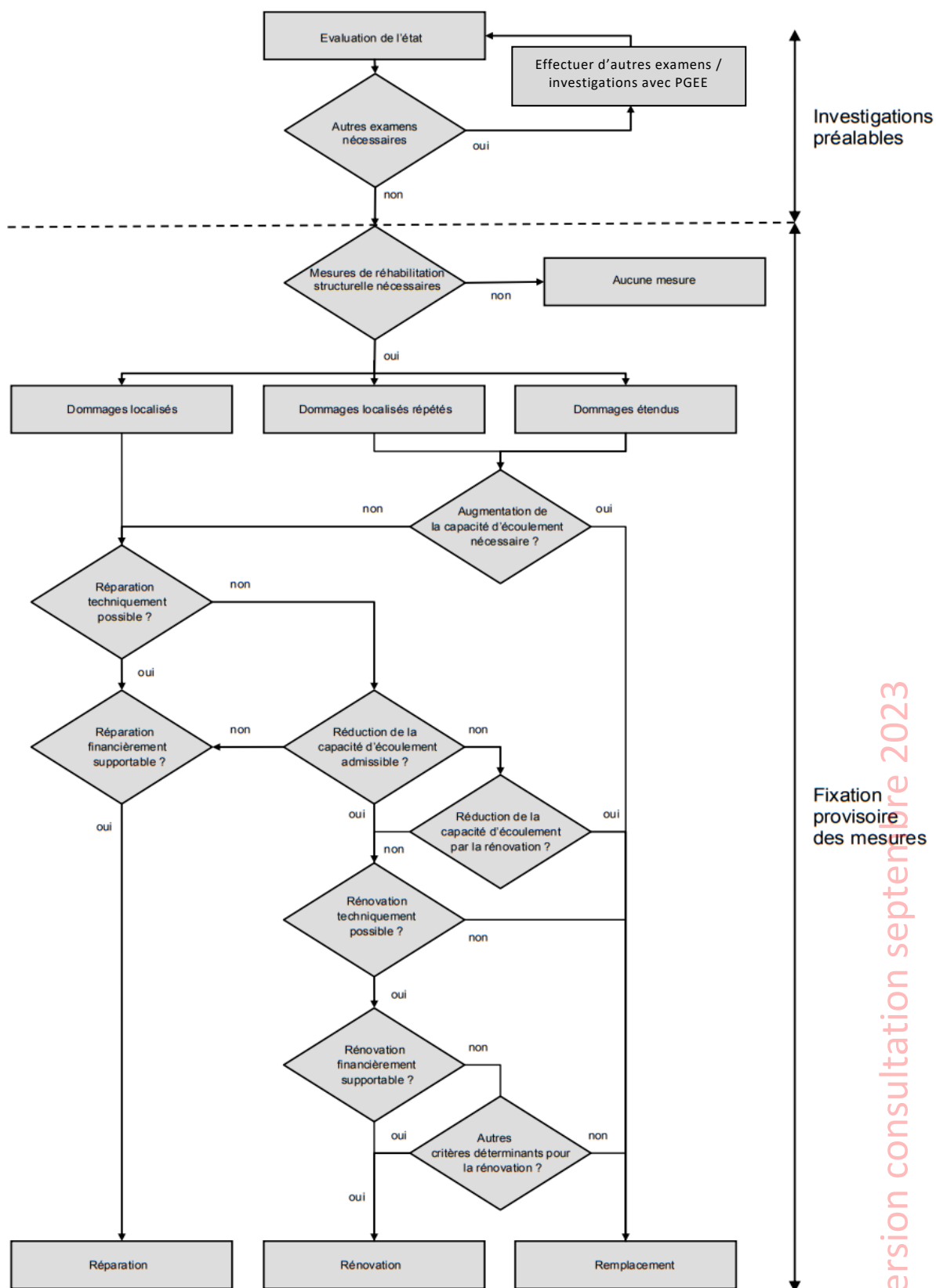


Figure 4 : organigramme de détermination des actions

3.5 Choix de la technique de construction

Lors de la recherche d'une technique de construction appropriée pour la réparation et la rénovation d'une installation d'évacuation des eaux, les contraintes techniques sont déterminantes. S'il s'agit de défauts uniques localisés, une réparation est habituellement effectuée. Les rénovations en revanche sont pratiquées en cas de dommages localisés répétés ou de dommages étendus.

Lors du choix d'une technique de construction, il est très important de connaître les causes de la détérioration. Outre celles-ci, il faut aussi tenir compte des combinaisons de dommages pour le choix de la technique de construction. S'il s'agit par exemple de dégradations statiques avec une entrée secondaire d'eaux souterraines, le défaut d'étanchéité sera certes éliminé par le procédé d'étanchéification, mais la capacité de charge statique ne sera guère améliorée. La seule étanchéification n'apporterait pas ici le résultat souhaité.

3.6 Meilleure variante

Outre les contraintes purement techniques, une évaluation spécifique à l'ouvrage des diverses techniques de construction peut permettre de trouver la meilleure variante. Les critères de choix applicables afin d'opter pour la meilleure variante sont les suivants (liste non exhaustive) :

- Durée d'utilisation prévue de la technique de construction
- Hydraulique, capacité d'écoulement
- Exploitation et entretien
- Rapport coûts/ bénéfices
- Risques
- Rétention d'eau
- Effets sur le trafic, l'environnement, les riverains etc.

Il appartient à l'ingénieur spécialisé, en collaboration avec le maître d'ouvrage et en tenant compte des facteurs mentionnés précédemment, de déterminer pour chaque cas particulier une pondération permettant de trouver la meilleure variante.

3.7 Remarques sur la qualité et l'efficacité

- Les procédés de réhabilitation sans tranchée sont habituellement plus économiques que les renouvellements à fouille ouverte, pour autant qu'aucun aspect hydraulique ou d'exploitation, ni aucun défaut grave substantiel ne soit en jeu.
- Lors de la détermination des coûts, il faut aussi intégrer les coûts indirects et subséquents pour les réfections des revêtements routiers, les déviations du trafic, les atteintes à l'environnement etc. en plus des coûts directs (construction, planification).
- Outre le bon choix de la technique de construction, des facteurs décisifs sont notamment la qualité de l'exécution du travail ou sa surveillance ainsi que les contrôles de qualité correspondants.
- La qualité peut être garantie par des conditions claires fixées dans l'appel d'offres et par un contrôle conséquent lors de l'exécution.

4 RÉPARATION

On entend par réparation les mesures destinées à remédier aux dommages localisés ou à rétablir l'état visé. Il s'agit habituellement de détériorations dues à un défaut d'exécution, à une pose inappropriée de nouveaux raccordements ou à des influences extérieures (avaries). L'objectif de la réparation est de faire en sorte qu'après réparation des dommages, les installations d'évacuation des eaux remplissent à nouveau les exigences posées en matière d'utilisation et de sécurité telles que stabilité statique, sécurité d'exploitation et étanchéité.

Dans le groupe de procédés Réparation, il est possible de distinguer les procédés de réparation, d'injection et d'étanchéification.

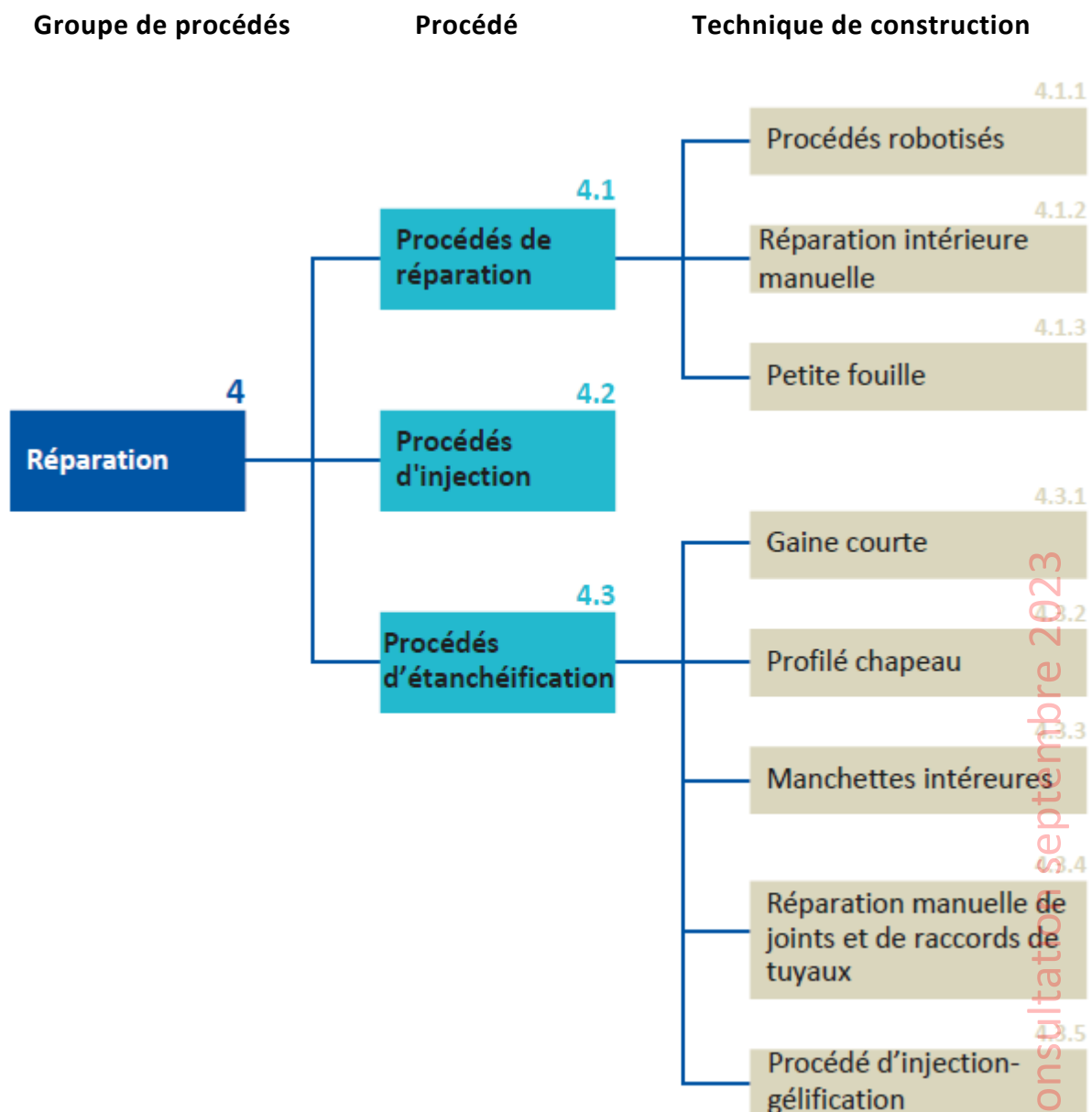
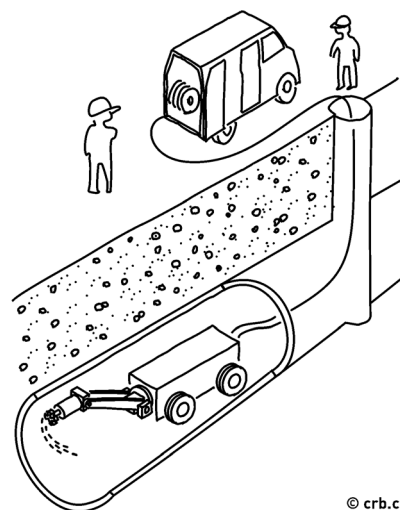


Figure 5 : aperçu du groupe de procédés Réparation

4.1 Procédés de réparation

4.1.1 Procédés robotisés

Un système robotisé se compose d'au moins un appareil de base automoteur, mobile ou rétractable, qui peut être équipé de différentes unités de travail interchangeables. L'unité de travail est habituellement observée à l'aide d'une caméra et contrôlée depuis l'extérieur à partir d'un poste de pilotage. Les systèmes robotisés sont capables de réparer complètement des zones endommagées ou d'effectuer des travaux préliminaires ou complémentaires en relation avec d'autres procédures de rénovation, p. ex. avec des gainages de tuyau.



Les procédés des différents fabricants se distinguent par la conception des robots (système modulaire, différents types de robots), par les matériaux utilisés pour la réparation et par leur application (injection sous pression, garnissage).

Unité de fraisage

En règle générale, les unités de fraisage sont des appareils indépendants. Une unité de fraisage se compose d'un entraînement hydraulique, pneumatique ou électrique et d'outils de fraisage interchangeables. Elle est principalement utilisée pour les travaux préliminaires et ultérieurs de réparations ou de rénovations.

L'unité de fraisage enlève les parties saillantes et les obstacles à l'écoulement et prépare la zone à réparer pour les travaux ultérieurs de masticage ou d'injection. En particulier, la zone endommagée est fraisée, à l'exception des matériaux porteurs non endommagés.

Unité de masticage

L'unité de masticage se compose d'un récipient de stockage à partir duquel le matériau de réparation est introduit sous pression dans la zone endommagée par l'intermédiaire d'un tuyau. Le matériau en excès est retiré de la zone endommagée au ras de la paroi du tuyau à l'aide d'une spatule mobile et lissée.

Ce dispositif est capable de réparer les dommages sur la paroi du tuyau, sur les raccords et les branchements latéraux avec des spatules/taloches spéciales. Il est toujours utilisé en combinaison avec une unité de fraisage.

Unité d'injection avec technique de coffrage

Dans l'unité d'injection avec technique de coffrage, la zone endommagée est d'abord recouverte d'un coffrage, puis le matériau de réparation est injecté à travers le coffrage dans la zone de réparation. Des manchettes, des panneaux et des systèmes packer peuvent être utilisés comme technique de coffrage. Ceux-ci restent dans la zone de réparation jusqu'à ce que l'adhérence et la stabilité dimensionnelle du matériau soient suffisantes. Dans le cas de branchements latéraux, des manchons d'obturation gonflables sont en outre insérés dans la conduite de raccordement en tant que coffrage intérieur.

L'unité d'injection avec technique de coffrage est principalement utilisée pour réparer les branchements latéraux mal raccordés et pour reprofiler les dommages sur la paroi des tuyaux et les raccords. Les unités d'injection peuvent être utilisées pour obturer les branchements latéraux qui ne sont pas en service.

Selon le procédé, on peut utiliser du mortier de ciment ou des résines réactives. Le raccordement de branchements latéraux à la gaine de tuyau est possible si une étanchéité permanente entre la gaine de tuyau et le matériau injecté peut être garantie.

Tableau 3 : domaine d'application Procédés robotisés

	Résines époxy	Mortier de ciment modifié aux polymères
Domaine d'application DN	200 – 700 mm	200 – 700 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, spéciales au cas par cas	Sections circulaires, ovoïdes, spéciales au cas par cas
Matériau du tuyau utilisé	Béton, grès, gainage de tuyau UP / EP / VE PVC, FZ : convient sous réserve	Béton, grès, gainage de tuyau UP / EP / VE FZ : convient sous réserve PVC : non approprié
Changements de direction et de pente	Convient sous réserve	Convient sous réserve
Changement de diamètre	Non approprié	Non approprié
Longueur de canalisation	75 m	75 m
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 200 – 600 : ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 600 : DN chambre	Conduite DN 200 – 600 : ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 600 : DN chambre
Diamètre de la chambre	Au moins 800 mm	Au moins 800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Réparation résistante à pression hydraulique extérieure	Réparation résistante à pression hydraulique extérieure
Capacité d'écoulement	Aucune influence sur la capacité d'écoulement	Aucune influence sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée	Inchangée
État structurel	Voir tableau ci-après	Voir tableau ci-après
Durée d'utilisation	20 ans	20 ans

Tableau 4 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé robotisé à leur élimination

Dommages structurels Aptitude		Dommages structurels Aptitude	
Déformation	#	Joint d'étanchéité apparent	●
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	#	Défaut de l'habillage intérieur	●
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	●
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	#
Raccordement pénétrant	●	Sol visible	○
Raccordement défectueux	●	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</p>			

Tableau 5 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé robotisé à leur élimination

Dommege fonctionnel	Aptitude	Dommege fonctionnel	Aptitude
Racines	●	Entrée de terre	○
Dépôts adhérents	●	Infiltration	●
Dépôts sur le radier du tuyau	●	Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Essai d'étanchéité recommandé. Sa réalisation est toutefois rendue plus difficile par le fait qu'une grande partie de la surface de test est constituée de « tuyau usé ». Il n'est donc possible d'évaluer le succès de la réparation que de manière limitée.
- Prélèvement et analyse d'un échantillon de matériau si nécessaire (selon la directive du VSA QUIK)

4.1.2 Réparation intérieure manuelle

Une réparation manuelle peut être effectuée dans les canalisations visibles, les chambres de visite ou les ouvrages.

Elles sont principalement effectuées pour :

- Réparation de défauts
- Réparation de joints, raccords de tuyaux
- Traitement d'armatures exposées et corrodées

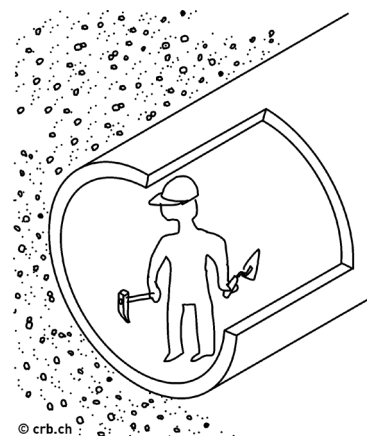


Tableau 6 : domaine d'application de la réparation intérieure manuelle

Domaine d'application DN	Canalisation à partir de 800 mm, regards à partir de 800 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes ainsi que sections spéciales
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence, selon matériau réhabilitation
Changements de direction et de pente	Appropriés
Changement de diamètre	Approprié
Longueur de canalisation	Sans influence
Puits d'accès à la chambre	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Réparation résistante à pression hydraulique extérieure
Capacité d'écoulement	Sans influence sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée
État structurel	Voir tableau
Durée d'utilisation	20 ans

Tableau 7 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude de la réparation intérieure manuelle à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation	#	Joint d'étanchéité apparent	•
Fissures	•	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	#	Défait de l'habillage intérieur	•
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	•
Mortier manquant	•	Défait de soudure	○
Dégradation de surface	•	Conduite poreuse	#
Raccordement pénétrant	•	Sol visible	○
Raccordement défectueux	•	Vide visible	○

• Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.

○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.

: Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Tableau 8 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude de la réparation intérieure manuelle à leur élimination

Dommages fonctionnels		Aptitude	
Racines	●	Entrée de terre	○
Dépôts adhérents	●	Infiltration	●
Dépôts sur le radier du tuyau	●	Exfiltration	●

● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

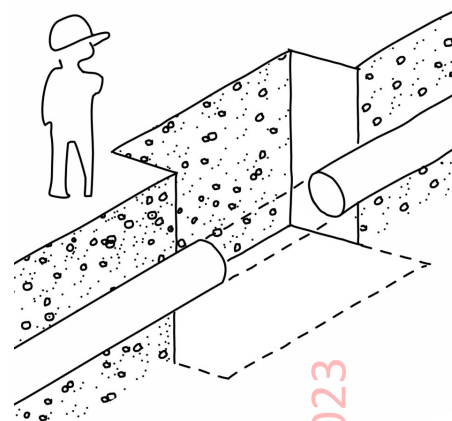
- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

4.1.3 Petite fouille

Une petite fouille peut être utilisée quand des procédés de réhabilitation sans fouille ne sont pas possibles.

La situation initiale peut être :

- dommages sérieux tels que déformation ou effondrement
- écart important des branchements latéraux par rapport à la ligne idéale
- absence de possibilités d'accès
- petits diamètres nominaux, modifications de position



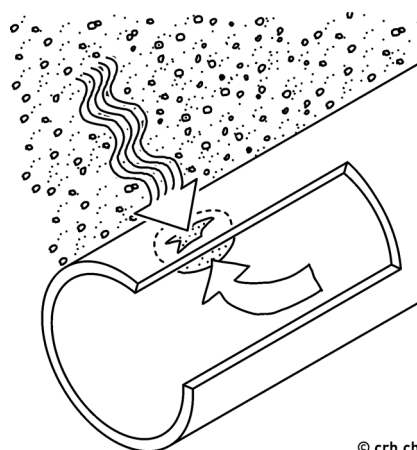
Une ou plusieurs conduites ou tronçons de conduite sont remplacées dans une fouille ouverte. Le travail nécessaire dépend de la profondeur et de la nature de la surface. Des examens préliminaires sont toujours nécessaires.

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

4.2 Procédés d'injection

Par injection, on entend l'introduction de matériau injectable dans des zones endommagées et autour de la conduite avec un apport continu de produit. Le système d'injection comprend les dispositifs techniques pour l'emmagasinement, l'alimentation et l'introduction de la matière à injecter. Celle-ci peut être transportée soit déjà mélangée dans un tuyau flexible, soit dans deux tuyaux flexibles dans le cas de résines synthétiques à 2 composants et, dans ce dernier cas, mélangée juste avant le point d'injection, puis injectée dans la zone endommagée.



Dans le cas du procédé d'injection, les dommages sur les conduites à écoulement gravitaire sont colmatés par l'apport de matériau injectable. Il s'agit en général d'une étanchéité positive. Selon le produit utilisé, l'étanchéité est soit temporaire (gels), soit durable. Si nécessaire (intégration de conduites de branchement à des tubages), une étanchéité par adhérence (selon le procédé et le matériau) peut être réalisée grâce à des travaux préliminaires (fraisage). Le matériau injecté comble les vides et les espaces creux dans le sol entourant la zone endommagée. Cela améliore le lit de pose des conduites.

Les injections servent à l'étanchéification et/ou la stabilisation de conduites ou ouvrages endommagés.

Tableau 9 : domaine d'application procédé d'injection

	Canalisations non visitables	Zone visitable et chambres
Domaine d'application DN	150 – 700 mm	À partir de 800 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence	Sans influence
Changements de direction et de pente	Convienent sous réserve	Appropriés
Changement de diamètre	Non	Non
Longueur de canalisation	Jusqu'à 70 m	Sans influence si pompe d'injection sur place
Puits d'accès à la chambre	600 mm	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm	800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Non approprié	Non approprié
Statique	Convient pour états de l'ancien tuyau I et II selon DWA-A 143-2.	Convient pour états de l'ancien tuyau I et II selon DWA-A 143-2.
Capacité d'écoulement	Sans influence sur la capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée	Inchangée
État structurel	Infiltrations	Infiltrations
Durée d'utilisation	20 ans	20 ans

Tableau 10 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'injection pour réparation intérieure à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude		Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		#		Joint d'étanchéité apparent		○	
Fissures		●		Déplacement d'assemblage		#	
Rupture de conduite /effondrement		#		Défaut de l'habillage intérieur		#	
Maçonnerie défectueuse		○		Réparation défectueuse		○	
Mortier manquant		○		Défaut de soudure		#	
Dégradation de surface		○		Conduite poreuse		○	
Raccordement pénétrant		#		Sol visible		○	
Raccordement défectueux		#		Vide visible		○	
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Tableau 11 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'injection pour réparation intérieure à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude		Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		#		Entrée de terre		○	
Dépôts adhérents		#		Infiltration		●	
Dépôts sur le radier du tuyau		#		Exfiltration		●	
<div>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</div> <div>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d’autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l’ouvrage avec ce procédé.</div> <div># : Ce procédé n’est pas approprié pour réparer ce dommage.</div> <div>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</div>							

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité
- Prélèvement et analyse d'un échantillon de matériau si nécessaire

4.3 Procédés d'étanchéification

4.3.1 Gaine courte

La gaine courte est une gaine partielle durcissant sur place. Un matériau de support imprégné de résine est placé sur une garniture gonflable (packer). Après l'introduction de celle-ci par une chambre de visite, la gaine courte est positionnée à l'aide d'une caméra sur l'emplacement défectueux. En exerçant une pression interne sur le packer, la gaine courte est plaquée sur l'endroit endommagé et sur la paroi de la canalisation à assainir et durcit.

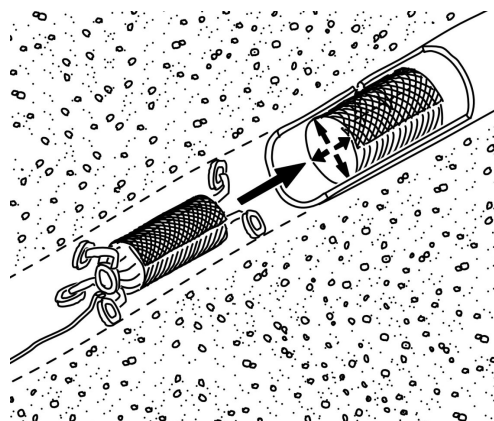


Tableau 12 : domaine d'application gaine courte

	Zone non visitable	Zone visitable
Domaine d'application DN	100 – 700 mm	800 – 1800 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes	Sections circulaires, ovoïdes
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence	Sans influence
Changements de direction et de pente	Coudes possibles jusqu'à DN 300 ; 45° pour le plastique (coudes plus importants avec packer pour coudes)	Non approprié
Changement de diamètre	Jusqu'à un saut de dimension	Non
Longueur de canalisation	Jusqu'à 70 m	Jusqu'à 70 m
Puits d'accès à la chambre	600 mm	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm	> 800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Si l'utilisation est conforme, aucun effet nuisible sur les eaux souterraines	Si l'utilisation est conforme, aucun effet nuisible sur les eaux souterraines
Statique	Exigences selon l'homologation DIBt respective	Aucune vérification disponible
Capacité d'écoulement	Le diamètre est légèrement réduit	Pas de diminution de la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée	Inchangée
État structurel	Pénétration de racines, fissures, formation d'éclats	Pénétration de racines, fissures, formation d'éclats
Durée d'utilisation	20 ans	20 ans

Tableau 13 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'étanchéification à leur élimination

Dommages structurels / Aptitude		Dommages structurels / Aptitude	
Déformation	○	Joint d'étanchéité apparent	○
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	○	Défaut de l'habillage intérieur	○
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	○
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	●
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	○
Raccordement défectueux	#	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 14 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'étanchéification à leur élimination

Dommage fonctionnel / Aptitude		Dommage fonctionnel / Aptitude	
Racines	●	Entrée de terre	○
Dépôts adhérents	#	Infiltration	●
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

4.3.2 Profilé chapeau

Le profilé chapeau préfabriqué est durci sur place et fixé sur un packer spécial. Un robot place ce dernier directement sous le branchement à l'aide de la caméra. Le packer est ensuite gonflé jusqu'à ce que le profilé chapeau soit plaqué contre la paroi de la conduite de branchement et celle de la canalisation principale. À l'aide d'un petit chauffage intégré, l'air est chauffé dans le packer pour que le processus de durcissement de la résine démarre un peu plus rapidement. Après durcissement complet de la résine, le packer peut être retiré du branchement. Aucune finition n'est normalement nécessaire.

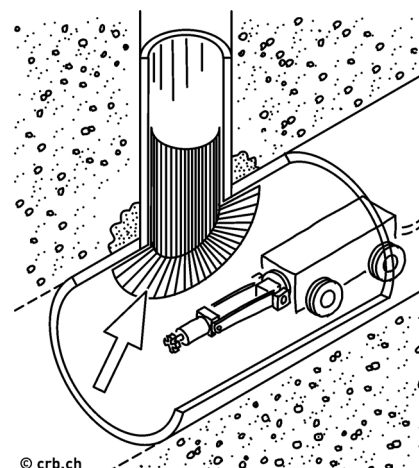


Tableau 15 : domaine d'application profilé chapeau

	Zone non visitable
Domaine d'application DN	100 – 700 mm
Type de section	Sections circulaires
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Coudes possibles jusqu'à DN 300 ; 45° pour le plastique (coudes plus importants avec packer pour coudes)
Changement de diamètre	Non approprié
Longueur de canalisation	Jusqu'à 70 m
Puits d'accès à la chambre	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Si l'utilisation est conforme, aucun effet nuisible sur les eaux souterraines
Statique	Exigences selon l'homologation DIBt respective
Capacité d'écoulement	Dans la zone de transition < 10 % du raccordement DN
Exploitation	Inchangée
État structurel	Intégration des branchements latéraux
Durée d'utilisation	20 ans

Version consultation septembre 2023

Tableau 16 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du profilé chapeau à leur élimination

Dommages structurels / Aptitude		Dommages structurels / Aptitude	
Déformation	#	Joint d'étanchéité apparent	o
Fissures	#	Déplacement d'assemblage	#
Rupture de conduite /effondrement	#	Défaut de l'habillage intérieur	#
Maçonnerie défectueuse	#	Réparation défectueuse	o
Mortier manquant	#	Défaut de soudure	#
Dégradation de surface	#	Conduite poreuse	●
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	o
Raccordement défectueux	●	Vide visible	o

● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Tableau 17 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du profilé chapeau à leur élimination

Dommage fonctionnel / Aptitude		Dommage fonctionnel / Aptitude	
Racines	●	Entrée de terre	#
Dépôts adhérents	#	Infiltration	#
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	●

● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

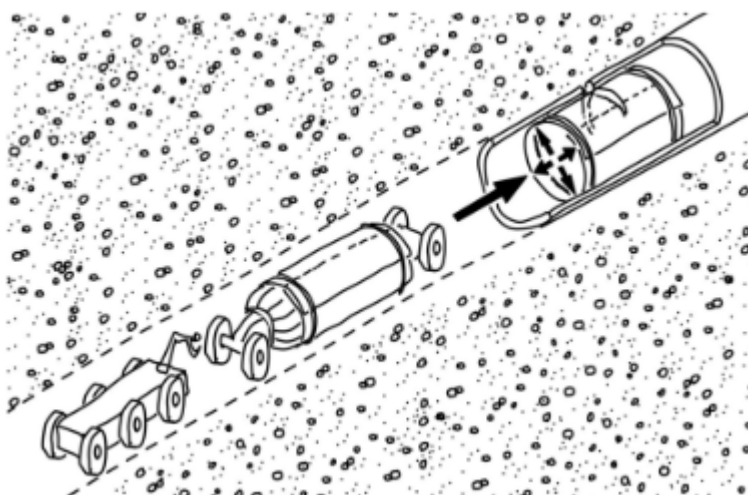
Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

4.3.3 Manchettes intérieures

Les réparations avec manchettes intérieures sont des mesures de rétablissement de l'état visé ou de stabilisation et d'étanchéification de dommages localisés. L'objectif de la réparation est d'obtenir dans cette zone une canalisation qui, après élimination des dommages, satisfait aux exigences en matière d'utilisation et de sécurité.



On distingue 3 systèmes différents de manchettes intérieures :

- Manchette en acier inoxydable, à compresser avec joint en élastomère, pour profilés visitables et non visitables
- Manchette en élastomère, à compresser avec colliers de serrage en acier inoxydable, pour profilés visitables et non visitables
- Manchette en acier inoxydable à coller, pour profilés visitables et non visitables

Les manchettes intérieures sont dilatées mécaniquement et fixées à la paroi de la conduite par compression / déformation. Les manchettes intérieures à compresser sont composées d'un joint en élastomère et d'une manchette ou de colliers de serrage en acier inoxydable. L'étanchéité est réalisée par compression du profilé en élastomère. Une manchette à coller est composée de la combinaison d'acier inoxydable et de résine réactive. L'étanchéité est réalisée par collage sur la paroi intérieure de la conduite.

Les manchettes en acier inoxydable ainsi que les manchettes en élastomère sont employées dans les canalisations à écoulement gravitaire aussi bien dans les réseaux publics que privés. Elles peuvent être juxtaposées les unes à la suite des autres avec un léger chevauchement. Une juxtaposition est une réparation et non une rénovation selon la norme EN 752.

L'utilisation dépend de la géométrie de la section de canalisation et de l'état structurel, fonctionnel et hydraulique. Un assemblage par adhérence, par déformation et étanche doit être garanti.

Dans certaines conditions, les manchettes intérieures peuvent améliorer la stabilité statique. L'état de l'ancien tuyau avant la réhabilitation, la déformation de la section et la pression hydrostatique sont déterminantes dans ce cadre.

Tableau 18 : domaine d'application manchettes intérieures

	Zone non visitable	Zone visitable
Domaine d'application DN	100 – 700 mm	À partir de 800 – 2000 mm
Type de section	Sections circulaires	Sections circulaires
Matériau du tuyau usé	Sans influence	Sans influence
Changements de direction et de pente	Déplacement de conduite max. 2.5 cm, déviation max. 10°	Non
Changement de diamètre	Possible p. ex. de 225 mm à 250 mm	Non
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 150 m selon le diamètre	Sans influence
Puits d'accès à la chambre	600 mm	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm	800 mm

Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, homologation partielle pour l'eau potable	Tous domaines possibles, homologation partielle pour l'eau potable
Statique	Convient pour états de l'ancien tuyau I et II selon DWA-A 143-2.	Stabilité statique
Capacité d'écoulement	Légère surépaisseur dans la canalisation	Légère surépaisseur dans la canalisation
Exploitation	Inchangée	Inchangée
État structurel	Fuites de raccords de tuyaux, irrptions d'eau, pénétration de racines	Fuites de raccords de tuyaux, irrptions d'eau, pénétration de racines
Durée d'utilisation	20 ans	20 ans

Tableau 19 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude des manchettes intérieures à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation	○	Joint d'étanchéité apparent	○
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	#	Défaut de l'habillage intérieur	○
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	○
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	○
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	○
Raccordement défectueux	#	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 20 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude des manchettes intérieures à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines	●	Entrée de terre	○
Dépôts adhérents	#	Infiltration	●
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

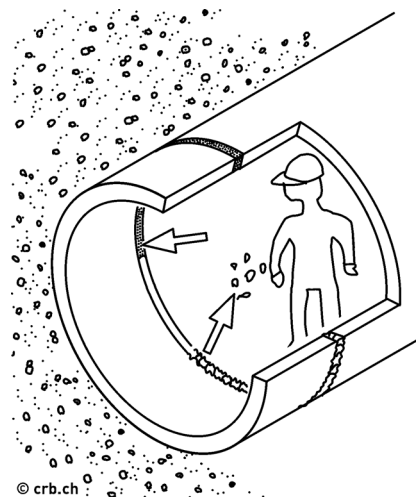
- Inspection visuelle des travaux préliminaires, notamment de la préparation du support d'adhérence
- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

4.3.4 Réparation manuelle de joints et de raccords de tuyaux

Pour les diamètres nominaux de canalisations visitables, il est possible d'étancher a posteriori des joints et des raccords de tuyaux en appliquant des produits d'étanchéité (élastiques et plastiques) ainsi que des mastics pour joints ou des bandes d'étanchéité.

Les produits d'étanchéité doivent satisfaire aux exigences de la norme SN EN 476 en ce qui concerne

- l'étanchéité à l'eau,
- les contraintes mécaniques et statiques,
- la résistance à la corrosion,
- les contraintes thermiques.



Il faut notamment tenir compte :

- de la compatibilité des composants du mélange du produit d'étanchéité
- des interactions entre le produit d'étanchéité et le matériau de la conduite
- de la perte de composants volatils par le produit d'étanchéité
- de l'effet de l'air et, en cas de processus de putréfaction, des gaz dégagés sur le produit d'étanchéité
- des interactions du produit d'étanchéité avec les eaux usées, les eaux souterraines et le sol.

Tableau 21 : domaine d'application réparation manuelle de joints et de raccords de tuyaux

Domaine d'application DN	À partir de 800 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes ainsi que sections spéciales
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence, selon matériau réhabilitation
Changements de direction et de pente	Appropriés
Changement de diamètre	Approprié
Longueur de canalisation	Sans influence
Puits d'accès à la chambre	600 mm
Diamètre de la chambre	800 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Réparation résistante à pression hydraulique extérieure
Capacité d'écoulement	Sans influence sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée
État structurel	Voir tableau
Durée d'utilisation	20 ans

Version consultation septembre 2023

Tableau 22 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude de la réparation manuelle de joints et de raccords de tuyaux à leur élimination

Dommages structurels \ Aptitude		Dommages structurels \ Aptitude	
Déformation	#	Joint d'étanchéité apparent	●
Fissures	#	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	#	Défaut de l'habillage intérieur	#
Maçonnerie défectueuse	#	Réparation défectueuse	#
Mortier manquant	#	Défaut de soudure	#
Dégradation de surface	#	Conduite poreuse	#
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	#
Raccordement défectueux	○	Vide visible	#
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</p>			

Tableau 23 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude de la réparation manuelle de joints et de raccords de tuyaux à leur élimination

Dommage fonctionnel \ Aptitude		Dommage fonctionnel \ Aptitude	
Racines	#	Entrée de terre	#
Dépôts adhérents	#	Infiltration	●
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	●
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</p>			

4.3.5 Procédé d'injection-gélification

Dans ce procédé, le tronçon défectueux du réseau d'évacuation des eaux est rempli successivement avec deux composants liquides. En raison de la pression hydrostatique, le liquide s'écoule dans l'enrobage de la conduite au travers des défectuosités. Après un temps d'action, le liquide 1 est retiré, le tronçon à réhabiliter est nettoyé, puis rempli avec le liquide 2. Ce deuxième composant/liquide réagit avec le premier, du silicate précipite et une garniture d'étanchéité se forme. Cette opération est répétée jusqu'à ce que l'étanchéité soit atteinte conformément aux prescriptions réglementaires.

Pour ce procédé, il s'agit de tenir également compte de la recommandation du VSA *Flutungsverfahren (Flut-Gel-Verfahren)* (en allemand) de 2005.

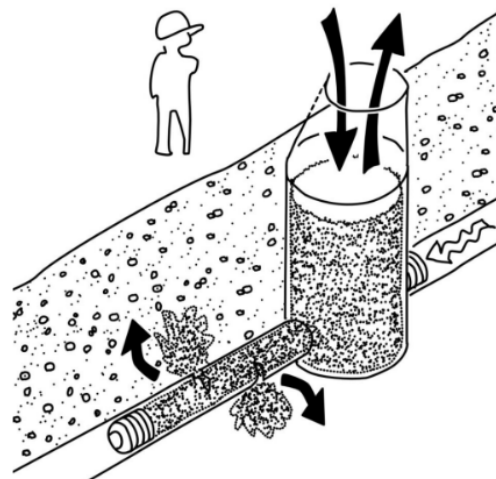


Tableau 24 : domaine d'application procédé d'injection-gélification

Domaine d'application DN	100 – 500 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau usé	Conduites d'eaux usées posées dans le sol, sauf PP et PEHD
Changements de direction et de pente	Oui
Changement de diamètre	Oui
Longueur de canalisation	Jusqu'à 100 m
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 100 – 250 : ≥ 300 mm Conduite DN 300 – 600 : ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 600 : DN regard
Diamètre de la chambre	Conduite DN 100 – 250 : ≥ 600 Conduite DN ≥ 250 : ≥ 1000
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Non approprié
Statique	Convient pour ARZ I et II selon DWA-A 143-2, étude de cas individuelle complexe nécessaire
Capacité d'écoulement	Sans influence sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Inchangée
État structurel	La conduite doit encore être stable.
Durée d'utilisation	5 ans

Version consultation septembre 2023

Tableau 25 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'injection-gélification à leur élimination

Dommages structurels / Aptitude		Dommages structurels / Aptitude	
Déformation	#	Joint d'étanchéité apparent	o
Fissures	•	Déplacement d'assemblage	o
Rupture de conduite /effondrement	#	Défaut de l'habillage intérieur	o
Maçonnerie défectueuse	o	Réparation défectueuse	o
Mortier manquant	•	Défaut de soudure	o
Dégradation de surface	•	Conduite poreuse	•
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	o
Raccordement défectueux	#	Vide visible	o

• Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Tableau 26 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé d'injection-gélification à leur élimination

Dommage fonctionnel / Aptitude		Dommage fonctionnel / Aptitude	
Racines	o	Entrée de terre	o
Dépôts adhérents	#	Infiltration	o
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	•

• Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Inspection des canalisations
- Contrôle d'étanchéité

5 RÉNOVATION

Groupe de procédés

Procédé

Technique de construction

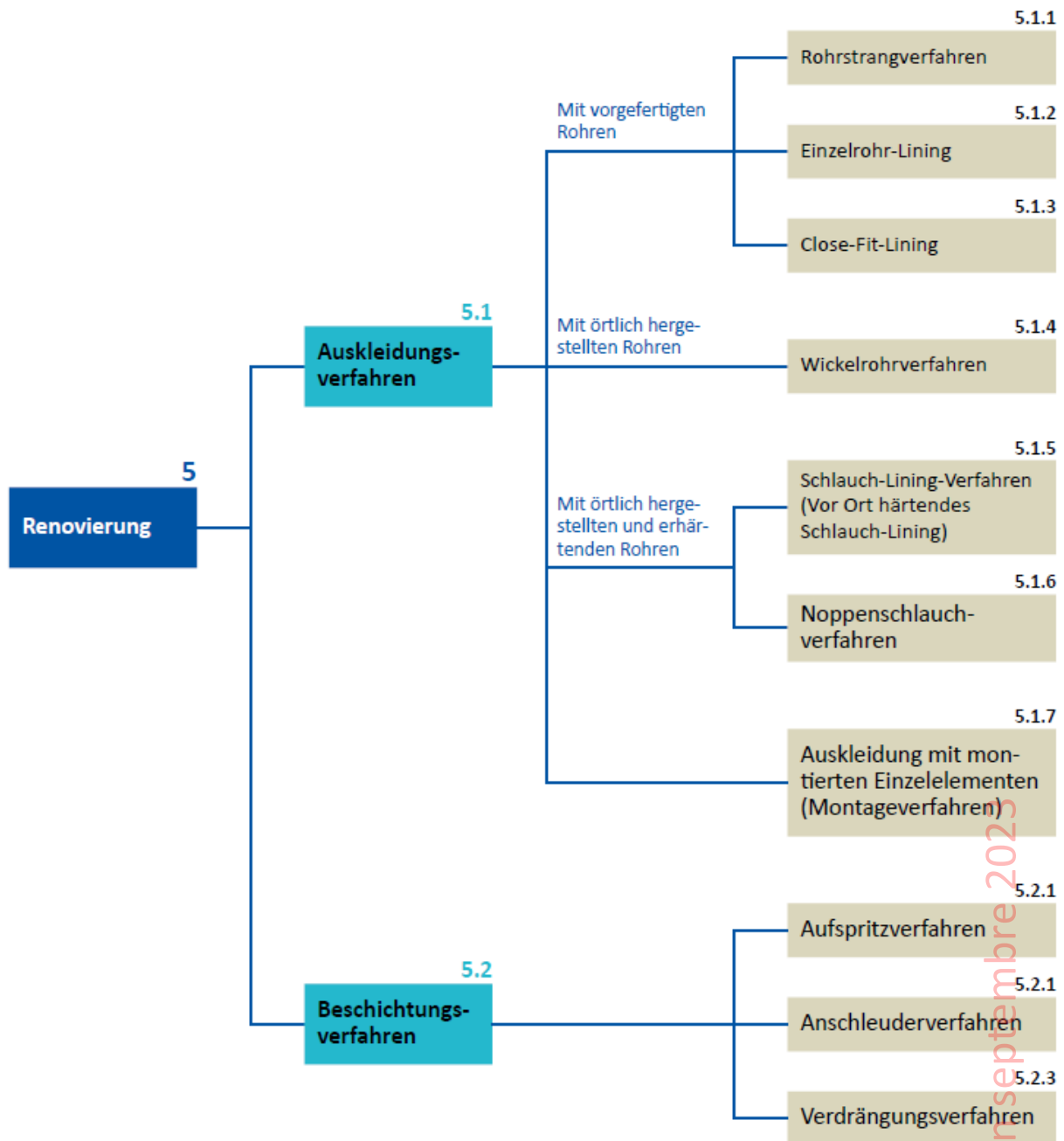


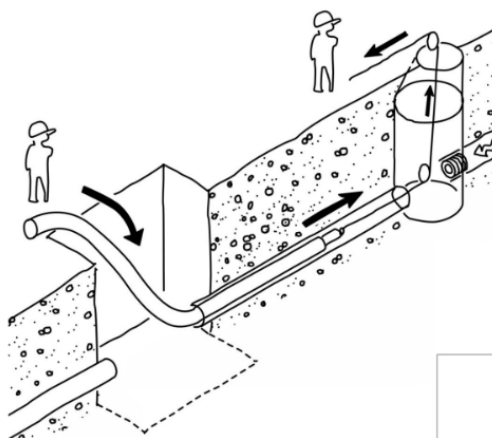
Figure 6 : groupe de procédés, procédés et techniques de construction dans le domaine de la rénovation

5.1 Procédés de chemisage

On parle de procédé d'habillage quand des installations d'évacuation des eaux défectueuses sont pourvues d'un doublage autoporteur sur toute la surface d'un tronçon.

5.1.1 Tubage par tuyau continu

Un nouveau tube continu en PE ou PP de diamètre inférieur à celui de l'ancien tuyau est introduit par traction dans la canalisation défectueuse. La conduite doit être nettoyée et sa section rétablie avant l'introduction. Les infiltrations d'eaux souterraines doivent être étanchées. Un épuisement des fouilles doit être installé et fonctionner pendant la totalité des travaux de réhabilitation. Les travaux préliminaires doivent être documentés avec une inspection. Selon le matériau, le diamètre de tuyau et la profondeur de la conduite, la pose peut être réalisée de fouille à fouille ou de fouille à chambre. Les différents tubes ou tronçons de tubes sont soudés entre eux avant d'être tirés dans la canalisation. Pour minimiser les contraintes dues à des différences de température, la zone doit être couverte. Les cordons de soudure côté intérieur doivent être éliminés.



L'espace annulaire minimal ne doit pas être inférieur à 10 mm et doit dans tous les cas être rempli avec un coulis de mortier minéral. L'ancien tuyau doit être pourvu d'une protection en entrée pour éviter d'endommager le tube continu lors de son introduction avec une tête de traction. Les rayures qui se produisent sur le tube lors de son introduction doivent être prises en compte pour le dimensionnement de l'épaisseur de paroi. Après introduction, le tube continu doit être maintenu en position et protégé contre la poussée hydrostatique, p. ex. en le remplissant d'eau. Les variations de longueur dues à des différences de température (surtout en été) doivent être compensées avec des segments appropriés. Il est ensuite possible de procéder au remplissage de l'espace annulaire du point le plus bas vers le point le plus haut ; l'air emprisonné doit alors pouvoir s'échapper. Le tube continu est ainsi fixé. Le lit de pose créé permet la transmission des charges.

Version consultation septembre 2023

Tableau 27 : domaine d'application du tubage par tuyau continu

Domaine d'application DN	250 à 1200 mm
Type de section	Section circulaire
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Légers changements de direction (< 7°) possibles
Changement de diamètre	Non
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 600 m selon le diamètre
Accès / diamètre de chambre	Des fouilles sont nécessaires pour l'introduction.
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, non utilisable dans les zones de protection des eaux
Statique	Certificat statique selon DWA-A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau suivant)
Durée d'utilisation	50 à 80 ans

Tableau 28 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage par tuyau continu à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation	●	Joint d'étanchéité apparent	○
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	●
Rupture de conduite /effondrement	○	Défaut de l'habillage intérieur	○
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	○
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	●
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	○
Raccordement défectueux	#	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 29 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage par tuyau continu à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		●	
Dépôts adhérents		#	
Dépôts sur le radier du tuyau		#	
		Entrée de terre	○
		Infiltration	●
		Exfiltration	●

● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
: Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Les études techniques comprennent, outre les essais statiques et hydrauliques, notamment la définition du matériau du tube continu et du coulis, la position et la taille des fouilles, des indications sur les surfaces d'installation et sur les mesures d'épuisement des fouilles. L'entreprise mandatée doit faire intervenir un personnel formé (avec certificats de soudage). Le procès-verbal de soudage documente le processus principal. Les cordons de soudage doivent être contrôlés aux ultrasons et aux rayons X. Le contrôle de qualité doit comprendre en particulier les documents et contrôles suivants :

- Contrôle de réception des tubes livrés
- Procès-verbal de soudage
- Enregistrement des forces de traction
- Procès-verbal de remplissage de l'espace annulaire
- Contrôle d'étanchéité
- Inspection
- Essais sur des échantillons témoins en laboratoire

5.1.2 Tubage par tuyaux courts

Dans ce procédé, des tuyaux le plus souvent préfabriqués en GFK, PP ou PE-HD sont insérés l'un après l'autre par poussage ou tirage dans la section à réhabiliter. Selon le diamètre et la longueur de tuyau court choisis, la pose s'effectue de chambre à chambre ou de fouille à chambre respectivement à fouille. L'espace annulaire obtenu doit être rempli avec un coulis de mortier.

Avant la pose, il faut nettoyer la section à rénover et la débarrasser des dépôts et obstacles en saillie. Elle doit également être calibrée afin de pouvoir définir en conséquence les dimensions des tuyaux courts. Un épuisement des fouilles doit être installé et fonctionner pendant la réhabilitation. Les infiltrations d'eaux souterraines doivent être étanchées avant l'installation des tuyaux courts. Les travaux préliminaires effectués doivent être documentés avec une inspection.

Les tuyaux courts sont introduits par la chambre ou la fouille dans le tronçon à réhabiliter. Selon le système utilisé, les tuyaux sont assemblés dans la chambre ou sur leur lieu de pose dans la canalisation par collage, soudage ou raccords enfichables. Avant de remplir l'espace annulaire, il faut empêcher que les tuyaux fixés dans la canalisation soient soulevés par la poussée hydrostatique, p. ex. en les remplissant d'eau. L'espace annulaire doit être fermé au niveau des chambres de départ et d'arrivée et une purge d'air doit être assurée. Le matériau de remplissage à faible retrait est injecté à partir du point le plus bas.

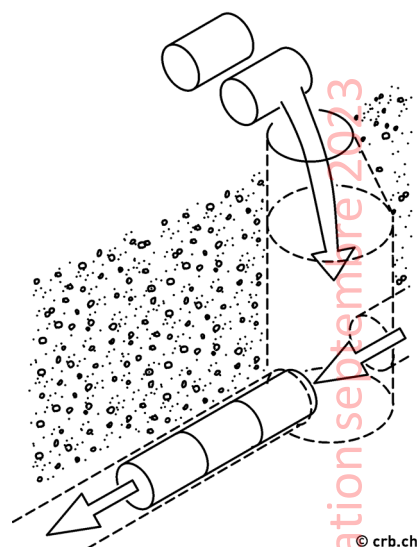


Tableau 30 : domaine d'application du tubage par tuyaux courts

Domaine d'application DN	150 à 3000 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Légers changements de direction possibles
Changement de diamètre	Non
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 200 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	DN 600 mm
Diamètre de la chambre	Jusqu'à DN 400, la pose peut être réalisée de chambre à chambre. Diamètre de chambre $\geq 1'000$ mm Pour les diamètres de conduite > DN 400 mm, prévoir en général des fouilles.
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, non utilisable dans les zones de protection des eaux
Statique	Certificat statique selon DWA-A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Diminution de la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau suivant)
Durée d'utilisation	50 à 80 ans

Version consultation septembre 2023

Tableau 31 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage par tuyaux courts à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude		Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		●		Joint d'étanchéité apparent		○	
Fissures		●		Déplacement d'assemblage		●	
Rupture de conduite /effondrement		○		Défaut de l'habillage intérieur		○	
Maçonnerie défectueuse		○		Réparation défectueuse		○	
Mortier manquant		●		Défaut de soudure		○	
Dégradation de surface		●		Conduite poreuse		●	
Raccordement pénétrant		#		Sol visible		○	
Raccordement défectueux		#		Vide visible		○	
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Tableau 32 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage par tuyaux courts à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude		Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		●		Entrée de terre		○	
Dépôts adhérents		#		Infiltration		●	
Dépôts sur le radier du tuyau		#		Exfiltration		●	
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Toutes les étapes concernées doivent être surveillées et enregistrées. À leur livraison, les tuyaux courts doivent être contrôlés en ce qui concerne les endommagements, l'ovalisation, les dimensions et un procès-verbal doit en être enregistré. Le stockage des tuyaux avant leur pose doit être réalisé selon les prescriptions du fabricant. L'entreprise doit faire intervenir un personnel spécialisé disposant des qualifications nécessaires. Les diverses étapes de pose doivent être surveillées en fonction du système utilisé. La responsabilité ainsi que le type et la surveillance et de la documentation doivent être définis avec l'entreprise.

Le contrôle de qualité doit comprendre en particulier les documents et contrôles suivants :

- Contrôle de réception des tuyaux livrés
- Procès-verbal de soudage
- Procès-verbal de remplissage de l'espace annulaire
- Contrôle d'étanchéité
- Inspection (vidéo de canalisation ou visite)
- Essais sur des échantillons témoins en laboratoire

5.1.3 Tubage close-fit

Dans le tubage close-fit, un tuyau continu préformé est tiré dans la section à réhabiliter, puis est ensuite remis en forme. Le tuyau reformé est étroitement appliqué contre l'ancien tuyau de sorte qu'il ne reste pas d'espace annulaire. On distingue les procédés par déformation et par réduction.

Dans le procédé par déformation, un tuyau continu en PE ou en PVC modifié préformée en usine est tiré dans la canalisation à l'aide d'un treuil. Ses extrémités sont ensuite obturées. En cas d'utilisation de PVC-U, ce dernier doit être préchauffé à 45°C au moins. L'apport de vapeur, soutenu par l'application d'une pression interne, provoque la déformation du tube. La température et l'évolution de la pression pendant les phases de chauffage et de refroidissement doivent être enregistrées.

Dans le procédé par réduction, un tuyau continu en PE fabriquée in-situ par soudage bout à bout est tiré dans la conduite d'eaux usées à rénover à l'aide d'un dispositif de traction. Son diamètre extérieur est alors réduit par un cône réducteur. Une fois la chambre d'arrivée atteinte et après arrêt de la traction, le tuyau s'élargit pour s'adapter parfaitement à l'ancien tuyau.

Les travaux préliminaires comprennent notamment :

- Nettoyage de base
- Réalisation de la section
- Calibrage de la section (calibre de référence, mesure laser ou mesure 4 points)
- Étanchéification des infiltrations, notamment en cas d'utilisation de PVC-U
- Inspection des travaux préliminaires avant l'introduction.

Un épuisement des fouilles doit être installé et fonctionner pendant la pose.

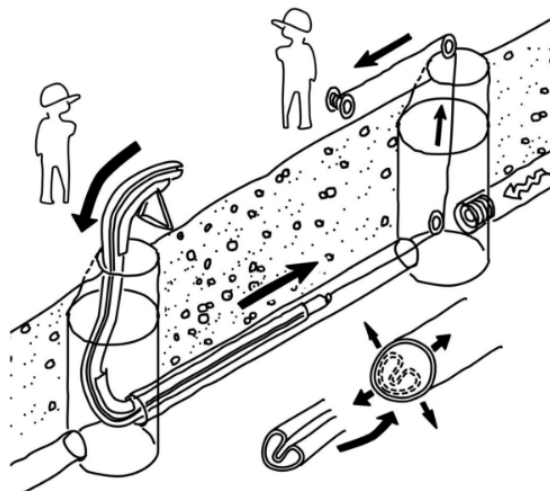


Tableau 33 : domaine d'application du tubage close-fit

	Procédé par déformation	Procédé par réduction
Domaine d'application DN	100 à 500 mm	150 à 1 200 mm
Type de section	Sections circulaires	Sections circulaires
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence	Sans influence
Changements de direction et de pente	Non	Petits changements de direction (< 10°) possibles
Changement de diamètre	Non	Non
Longueur de canalisation	Limitation par la longueur de tuyau maximale possible sur le tambour en fonction du diamètre nominal selon le fabricant	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 800 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 100 à 400 : ouverture ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 500 : ouverture DN de la chambre	Fouille nécessaire
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm	Fouille nécessaire
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Possible pour tous les domaines et dans la zone de protection des eaux (pas de système à double tuyau)	Possible pour tous les domaines et dans la zone de protection des eaux (pas de système à double tuyau)
Statique	Certificat statique selon DWA A 143-2 nécessaire	Certificat statique selon DWA A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)
Durée d'utilisation	50 à 80 ans	50 à 80 ans

Tableau 34 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage close-fit à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation	○	Joint d'étanchéité apparent	○
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	○	Défaut de l'habillage intérieur	○
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	○
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	●
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	○
Raccordement défectueux	#	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</p>			

Tableau 35 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du tubage close-fit à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		●	
Dépôts adhérents		#	
Dépôts sur le radier du tuyau		#	
Entrée de terre			○
Infiltration			○
Exfiltration			●

● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.
 ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.
 # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.

Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.

Il est recommandé de procéder à un contrôle visuel du tuyau continu livré (p. ex. rayures) et de rédiger un procès-verbal. Son stockage doit être réalisé selon les prescriptions du fabricant. Les forces de traction exercées par le treuil doivent être enregistrées. Le but est de créer une traction continue sans variations brusques. Pour cela, la forme et la position du tuyau continu doivent être fixées lors de son introduction. Des galets de renvoi permettent d'éviter d'endommager le tuyau dans la chambre d'introduction. L'entreprise doit faire intervenir un personnel spécialisé disposant des qualifications nécessaires (p. ex. certificat de soudage). Les documents suivants en particulier sont nécessaires pour la réception :

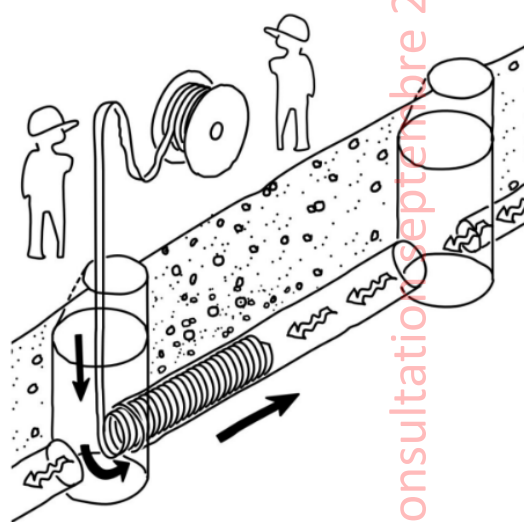
- Documentation de l'inspection visuelle
- Procès-verbal de soudage éventuellement
- Procès-verbal des forces de traction (enregistrement des forces de treuillage pendant la traction du tuyau continu)
- Procès-verbal des variations de température et de pression
- Procès-verbal du contrôle d'étanchéité
- Documentation de chantier de l'entreprise

5.1.4 Chemisage par enroulement hélicoïdal

Dans le chemisage par enroulement hélicoïdal, des bandes profilées en PVC ou PE produites en usine sont enroulées mécaniquement pour former un tuyau continu. La bande profilée alimente une bobineuse à partir d'une bobine positionnée en surface. La bobineuse est stationnaire dans la chambre ou, dans d'autres systèmes, elle parcourt la conduite à réhabiliter. En cas d'utilisation de bobineuses stationnaires, le chemisage par enroulement hélicoïdal ne peut être réalisé que pour des sections circulaires. Le diamètre souhaité pour la canalisation à réhabiliter peut être réglé. La liaison entre les bandes profilées est obtenue soit par soudage par extrusion dans le cas du PE, soit par un verrouillage mécanique avec des éléments d'étanchéité et/ou adhésifs. Pour des raisons inhérentes au système, les bandes équipées d'un système clipsé peuvent être munies de renforts en acier ou en plastique.

Avant de procéder à la pose, il faut rétablir la section du tronçon à réhabiliter et étancher les éventuelles infiltrations.

Lorsque la bande profilée a été posée, l'espace annulaire existant est rempli avec un coulis de mortier. Pour cela, il faut obturer l'espace annulaire dans les chambres et empêcher que le tuyau posé soit soulevé par la poussée hydrostatique.



Utilisation dans les canalisations	Chemisage par enroulement hélicoïdal
Domaine d'application DN	400 à 3'000 mm touret dans le regard, chemisage avec espace annulaire 200 à 750 mm touret dans le regard, chemisage sans espace annulaire 800 à 5'500 mm touret mobile, chemisage avec espace annulaire 800 à 1'800 mm touret mobile, chemisage sans espace annulaire
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Légers changements de direction (< 10°) possibles avec les tourets mobiles
Changement de diamètre	Possible, à condition que la totalité du tronçon puisse être confectionnée au plus petit diamètre existant
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 200 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 200 à 1' 000 : ouverture ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 1' 000 : ouverture DN de la chambre
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale (ajouter éventuellement des diapositives supplémentaires)
Statique	Certificat statique selon DWA 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau suivant)
Durée d'utilisation	30 à 50 ans

Version consultation septembre 2023

Tableau 36 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage par enroulement hélicoïdal à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude		Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		○		Joint d'étanchéité apparent		○	
Fissures		●		Déplacement d'assemblage		○	
Rupture de conduite /effondrement		○		Défaut de l'habillage intérieur		○	
Maçonnerie défectueuse		○		Réparation défectueuse		○	
Mortier manquant		●		Défaut de soudure		○	
Dégradation de surface		●		Conduite poreuse		●	
Raccordement pénétrant		#		Sol visible		○	
Raccordement défectueux		#		Vide visible		○	
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Tableau 37 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage par enroulement hélicoïdal à leur élimination

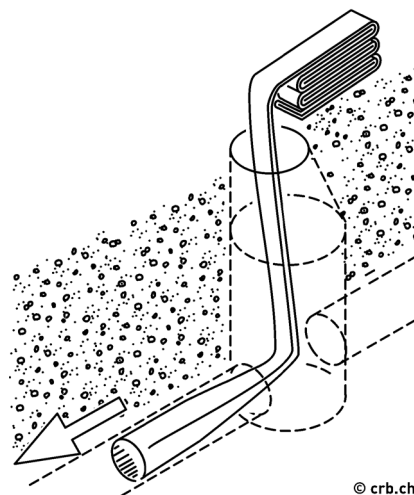
Dommage fonctionnel		Aptitude		Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		●		Entrée de terre		○	
Dépôts adhérents		#		Infiltration		○	
Dépôts sur le radier du tuyau		#		Exfiltration		●	
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Les effets sur la capacité d'écoulement hydraulique ainsi qu'un dimensionnement statique du procédé doivent être calculés par le planificateur spécialisé. Une planification professionnelle des mesures d'assainissement implique notamment de vérifier en détail l'adéquation des produits prévus pour le cas d'application. Les attestations d'usine des matières premières permettent de vérifier avant les mesures d'assainissement leur aptitude de base. Toutes les opérations de pose doivent être documentées sans exception. La surveillance lors de la livraison des matières premières est soumise à l'autocontrôle de l'entreprise ainsi que de la direction des travaux. D'autres points du contrôle de chantier sont la qualification du personnel employé, le bon fonctionnement des appareils et l'utilisation correcte de l'équipement de sécurité nécessaire. Il faut prélever des échantillons témoins du mortier utilisé pour le remplissage de l'espace annulaire. Des examens appropriés pourront être réalisés sur ceux-ci en laboratoire. Les documents suivants en particulier sont nécessaires pour la réception :

- Documentation de l'inspection visuelle
- Procès-verbal du contrôle d'étanchéité
- Résultats du contrôle des matériaux
- Documentation de chantier de l'entreprise

5.1.5 Chemisage continu polymérisé sur place

Dans le cas du chemisage continu polymérisé sur place, un matériau support imprégné de résine est enfoncé ou tiré par une ouverture (fouille ou chambre) dans le tronçon à rénover. Des accessoires de montage, p. ex. des films plastiques, peuvent être utilisés. Le matériau support est appliqué contre la paroi de l'ancienne conduite ou de l'ancienne chambre par pression (pression d'air, de vapeur ou d'eau). Le durcissement s'effectue à l'aide d'une lumière UV, d'une lumière LED, d'un apport de chaleur ou à température ambiante. Les chemisages avec tuyau flexible sont utilisés dans les canalisations et les chambres.



© crb.ch

Tableau 38 : domaine d'application du chemisage continu polymérisé sur place

	Matériau support : fibres synthétiques	Matériau support : fibres de verre
Domaine d'application DN	Canalisation 80 à 3000 mm, regards à partir de 800 mm	Canalisation 150 à 1800 mm, regards à partir de 800 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence	Sans influence
Changements de direction et de pente	Oui, formation éventuelle de plis inhérente au système	Possible < 10°
Changement de diamètre	Oui, possible par confection appropriée	Oui, possible par confection appropriée
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 300 m selon le diamètre	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 300 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 80 à 250 : ouverture ≥ 300 mm Conduite DN 300 à 600 : ouverture ≥ 600 mm Conduite DN > 600 : ouverture DN du regard	Conduite DN 150 à 1000 : ouverture ≥ 600 mm Conduite DN > 1000 : ouverture ≥ 1000 mm
Diamètre de la chambre	Conduite DN 80 à 250 : DN du regard ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 250 : DN du regard ≥ 800 Selon la profondeur du regard	Conduite DN 200 – 1000 : DN du regard ≥ 800 mm Conduite DN ≥ 1000 : DN du regard ≥ 1000 mm Selon la profondeur du regard
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Certificat statique selon DWA –A 143-2 nécessaire	Certificat statique selon DWA –A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement

Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)
Durée d'utilisation	50 ans	50 ans

Tableau 39 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage continu polymérisé sur place à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation	○	Joint d'étanchéité apparent	○
Fissures	●	Déplacement d'assemblage	○
Rupture de conduite /effondrement	○	Défaut de l'habillage intérieur	○
Maçonnerie défectueuse	○	Réparation défectueuse	○
Mortier manquant	●	Défaut de soudure	○
Dégradation de surface	●	Conduite poreuse	●
Raccordement pénétrant	#	Sol visible	○
Raccordement défectueux	#	Vide visible	○
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 40 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage continu polymérisé sur place à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines	○	Entrée de terre	○
Dépôts adhérents	#	Infiltration	○
Dépôts sur le radier du tuyau	#	Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

L'assurance qualité pour le chemisage avec tuyau flexible est décrite en détail dans la directive QUIK du VSA (édition 2018). Le planificateur spécialisé doit décrire les exigences posées au système. Il faut effectuer un dimensionnement statique et déterminer les effets sur l'hydraulique de détail. Les différentes étapes de travail doivent être définies dans le cadre de la direction technique des travaux. Les bons de livraison et les attestations d'usine des matériaux employés doivent être classés dans la documentation des travaux. Les documents suivants en particulier sont nécessaires pour la réception :

- Documentation de l'inspection visuelle
- Procès-verbal du contrôle d'étanchéité
- Résultats du contrôle des matériaux
- Documentation de chantier de l'entreprise

5.1.6 Chemisage avec tuyau à picots

Dans le chemisage avec tuyau à picots, des tuyaux flexibles en PE préconfectionnés sont tirés dans la section à réhabiliter à partir de la chambre ou de la fouille par un treuil à traction régulée. Le tuyau à picots est ensuite plaqué étroitement contre l'ancien tuyau par application de pression. Sur sa face extérieure, le tuyau à picots est pourvu de picots qui établissent un écart défini par rapport à l'ancien tuyau. Le système peut être utilisé avec ou sans tuyau extérieur. L'espace vide entre le tuyau à picots et l'ancien tuyau est rempli avec un coulis de mortier. Le tuyau à picots doit être maintenu en place et protégé contre la poussée hydrostatique. Si les exigences statiques l'exigent, la construction peut être répétée plusieurs fois.

La section transversale de la conduite doit être restaurée avant l'introduction du tuyau à picots. Les éventuelles infiltrations doivent être étanchées. Un épuisement des fouilles doit être installé et fonctionner pendant la pose du tuyau à picots.

Le raccordement des embranchements latéraux est réalisé avec des profilés chapeau soudables.

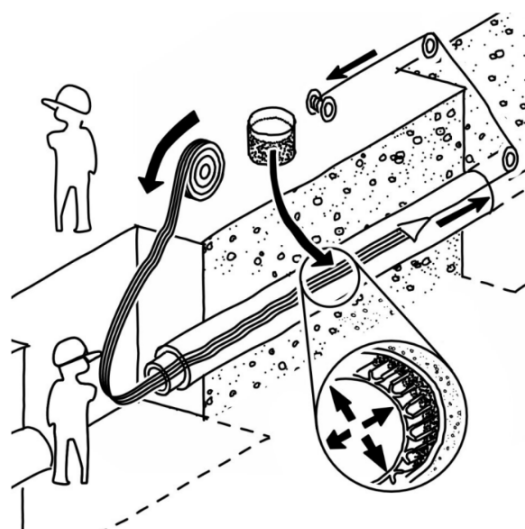


Tableau 41 : domaine d'application chemisage avec tuyau à picots

Domaine d'application DN	200 à 1'500 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Légers changements de direction (< 10°) possibles
Changement de diamètre	Non
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 150 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	Conduite DN 200 à 600 : ouverture ≥ 600 mm Conduite DN ≥ 600 : ouverture DN de la chambre
Diamètre de la chambre	Conduite DN 200 à 1' 500 : DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec tuyau extérieur
Statique	Certificat statique selon DWA-A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement

Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)
Durée d'utilisation	50 ans

Tableau 42 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage avec tuyau à picots à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude		Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		○		Joint d'étanchéité apparent		○	
Fissures		●		Déplacement d'assemblage		○	
Rupture de conduite /effondrement		○		Défaut de l'habillage intérieur		○	
Maçonnerie défectueuse		○		Réparation défectueuse		○	
Mortier manquant		●		Défaut de soudure		○	
Dégradation de surface		●		Conduite poreuse		●	
Raccordement pénétrant		#		Sol visible		○	
Raccordement défectueux		#		Vide visible		○	
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Tableau 43 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du chemisage avec tuyau à picots à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude		Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		○		Entrée de terre		○	
Dépôts adhérents		#		Infiltration		○	
Dépôts sur le radier du tuyau		#		Exfiltration		●	
<ul style="list-style-type: none"> ● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne. ○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé. # : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage. <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Outre une planification correcte tenant compte des contraintes statiques et hydrauliques, des mesures d'assurance qualité sont nécessaires lors de l'exécution. La documentation de la procédure de pose et du remplissage de l'espace annulaire est partie prenante de la documentation des travaux. Un bilan entre les consommations de mortier calculée et effective permet de contrôler que le remplissage est complet. Qui plus est, il faut prélever des échantillons de coulis de mortier sur le chantier pour les vérifier en laboratoire. Les documents suivants en particulier sont nécessaires pour la réception :

- Documentation de l'inspection visuelle
- Procès-verbal du contrôle d'étanchéité
- Résultats du contrôle des matériaux
- Documentation de chantier de l'entreprise

5.1.7 Doublage avec des éléments individuels montés (procédé par montage)



Des pièces préfabriquées sont introduites par une chambre ou une fouille dans le tronçon à réhabiliter. Elles y sont montées à l'aide d'éléments de fixation appropriés. Les éléments de doublage peuvent être ancrés avec du mortier ou mécaniquement. Pour utiliser ce procédé, il faut que la stabilité statique du système soit assurée. De plus, le procédé par montage n'est utilisé que si une réduction de section peut être acceptée. Le procédé par montage est surtout employé pour réaliser une protection anticorrosion et améliorer les propriétés hydrauliques dans le radier.

Tableau 44 : domaine d'application procédé par montage

Domaine d'application DN	Partie visitable de canalisations, regards à partir de 1000 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau utilisé	Sans influence
Changements de direction et de pente	Légers changements de direction possibles
Changement de diamètre	Faibles variations de diamètre possibles
Longueur de canalisation	Longueurs de mise en place possibles jusqu'à 150 m selon le diamètre
Puits d'accès à la chambre	Dépend du projet
Diamètre de la chambre	≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles
Statique	Certificat statique selon DWA-A 143-2 nécessaire
Capacité d'écoulement	Influence sur la capacité d'écoulement possible
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels (voir détails dans le tableau)
Durée d'utilisation	50 ans

Tableau 45 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé par montage à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude		Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		#		Joint d'étanchéité apparent		#	
Fissures		o		Déplacement d'assemblage		#	
Rupture de conduite /effondrement		#		Défaut de l'habillage intérieur		o	
Maçonnerie défectueuse		o		Réparation défectueuse		•	
Mortier manquant		•		Défaut de soudure		•	
Dégradation de surface		•		Conduite poreuse		•	
Raccordement pénétrant		#		Sol visible		o	
Raccordement défectueux		#		Vide visible		o	
<p>• Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Tableau 46 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé par montage à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude		Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		o		Entrée de terre		o	
Dépôts adhérents		#		Infiltration		o	
Dépôts sur le radier du tuyau		#		Exfiltration		o	
<p>• Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>o Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>							

Assurance qualité

Outre une planification correcte tenant compte des contraintes statiques et hydrauliques, des mesures d'assurance qualité sont nécessaires lors de l'exécution. La documentation de la procédure de pose et du remplissage de l'espace annulaire est partie prenante de la documentation des travaux. Lors de la livraison, il faut vérifier que les matériaux ne sont pas endommagés. Dans le cas du procédé par montage sans espace annulaire, la préparation du support d'adhérence doit être suffisante. Il faut accorder une attention particulière aux liaisons entre les éléments d'habillage ainsi qu'au remplissage entre les ceux-ci et l'ancien tuyau. Il faut prélever ici des échantillons témoins en parallèle.

Les documents suivants en particulier sont nécessaires pour la réception :

- Documentation de l'inspection visuelle
- Procès-verbal du contrôle d'étanchéité (notamment au niveau des liaisons)
- Résultats du contrôle des matériaux
- Documentation de chantier de l'entreprise

5.2 Procédés de revêtement

Dans les procédés de revêtement, un matériau est appliqué superficiellement dans les ouvrages (canalisation, chambres etc.), que ce soit partiellement ou sur l'entier de la surface.

Les procédés de revêtement servent à

- Rétablir ou augmenter l'étanchéité
- Augmenter la résistance à des attaques physiques, biologiques ou chimiques depuis l'intérieur
- Augmenter la résistance à l'usure ou au curage haute pression
- Améliorer ou établir la capacité portante statique

Les procédés de revêtement peuvent être utilisés dans des zones visitables et non visitables d'ouvrages d'évacuation des eaux usées. L'application du revêtement est alors réalisée manuellement ou avec une machine. Indépendamment du type d'application du revêtement, on distingue les procédés suivants :

- Procédé par projection
- Procédé de projection par centrifugation
- Procédé par refoulement
- Procédé par extrusion



5.2.1 Procédé par projection

Le procédé par projection convient particulièrement pour des revêtements sur de grandes surfaces. Les méthodes par voie sèche ou par voie humide conviennent pour les revêtements minéraux. Dans le domaine de la rénovation, le procédé de projection par voie humide à flux dense est utilisé de préférence. Les revêtements polymères sont appliqués à la lance par un procédé à flux dense avec ou sans injection d'air (airless). Lors de l'utilisation de ce procédé, le matériau de revêtement est transporté par un tuyau flexible jusqu'au point d'application et appliqué par pulvérisation avec une buse guidée. Il est compacté par l'énergie d'éjection.

Tableau 47 : domaine d'application procédé par projection

Domaine d'application DN	N'est utilisé que dans des sections visitables Section circulaire ≥ 1200 mm Sections ovoïdes et spéciales à partir d'une hauteur maximale ≥ 1200 mm Chambres partir de DN 500 mm
Type de section	Sections circulaires, ovoïdes, sections spéciales possibles
Matériau du tuyau usé	Béton, maçonnerie, fonte, acier
Changements de direction et de pente	Possibles
Changement de diamètre	Possible
Longueur de canalisation	Selon capacité d'alimentation en mortier
Puits d'accès à la chambre	ouverture ≥ 600 mm
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Certificat statique nécessaire pour mesures de renforcement ainsi qu'états de construction
Capacité d'écoulement	Influence éventuelle sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels
Durée d'utilisation	50 ans

Tableau 48 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé par projection à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		○	
Fissures		●	
Rupture de conduite /effondrement		#	
Maçonnerie défectueuse		●	
Mortier manquant		●	
Dégradation de surface		●	
Raccordement pénétrant		#	
Raccordement défectueux		#	
		Dommages structurels	
		Aptitude	
		Joint d'étanchéité apparent	#
		Déplacement d'assemblage	#
		Défaut de l'habillage intérieur	●
		Réparation défectueuse	●
		Défaut de soudure	#
		Conduite poreuse	●
		Sol visible	●
		Vide visible	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 49 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé par projection à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		#	
Dépôts adhérents		#	
Dépôts sur le radier du tuyau		#	
		Dommage fonctionnel	
		Aptitude	
		Entrée de terre	●
		Infiltration	●
		Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Préparation du support
- Contrôle des épaisseurs de couche
- Retouches
- Contrôles des matériaux (résistance à la traction d'éléments adhérents etc.)

5.2.2 Procédé de projection par centrifugation

Dans le procédé de projection par centrifugation, le matériau de revêtement est pulvérisé contre la surface par une tête centrifugeuse tournant rapidement. Ce procédé peut être employé tant dans des conduites horizontales que dans des chambres verticales.

Si les sections ne sont pas circulaires, les épaisseurs de couche sont variables.

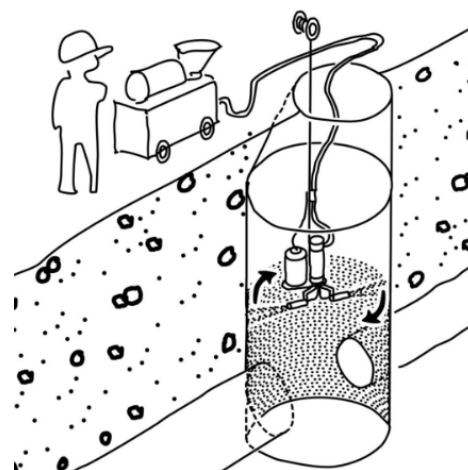


Tableau 50 : domaine d'application procédé de projection par centrifugation

Domaine d'application DN	Canalisations DN 100 à DN 3000, chambres à partir de DN 500
Type de section	Essentiellement sections circulaires
Matériau du tuyau usé	Béton, fonte, acier
Changements de direction et de pente	Possibles
Changement de diamètre	Possible
Longueur de canalisation	Selon capacité d'alimentation en mortier
Puits d'accès à la chambre	ouverture ≥ 600 mm
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Certificat statique nécessaire pour mesures de renforcement ainsi qu'états de construction
Capacité d'écoulement	Influence éventuelle sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels
Durée d'utilisation	50 ans

Tableau 51 : dommages structurels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé de projection par centrifugation à leur élimination

Dommages structurels		Aptitude	
Déformation		○	
Fissures		●	
Rupture de conduite /effondrement		#	
Maçonnerie défectueuse		●	
Mortier manquant		●	
Dégradation de surface		#	
Raccordement pénétrant		#	
Raccordement défectueux		#	
		Joint d'étanchéité apparent	#
		Déplacement d'assemblage	#
		Défaut de l'habillage intérieur	●
		Réparation défectueuse	●
		Défaut de soudure	#
		Conduite poreuse	●
		Sol visible	#
		Vide visible	#
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Tableau 52 : dommages fonctionnels selon l'aide-mémoire du VSA « Codification des observations et transfert des données » et aptitude du procédé de projection par centrifugation à leur élimination

Dommage fonctionnel		Aptitude	
Racines		#	
Dépôts adhérents		#	
Dépôts sur le radier du tuyau		#	
		Entrée de terre	#
		Infiltration	#
		Exfiltration	●
<p>● Ce procédé convient pour réparer le dommage mentionné sur la ligne.</p> <p>○ Ce procédé peut être utilisé pour ce dommage, mais d'autres procédés (préliminaires) sont toutefois nécessaires afin de pouvoir réhabiliter l'ouvrage avec ce procédé.</p> <p># : Ce procédé n'est pas approprié pour réparer ce dommage.</p> <p><i>Les intérêts économiques et les travaux préliminaires et de finition que nécessitent les procédés ne sont pas pris en considération.</i></p>			

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Préparation du support
- Choix d'un matériau de revêtement approprié
- Contrôle des épaisseurs de couche
- Retouches
- Contrôles des matériaux (résistance à la traction d'éléments adhérents etc.)

5.2.3 Procédé par refoulement

Dans le procédé par refoulement, un mortier au ciment est appliqué dans la conduite d'évacuation des eaux. Un corps de refoulement est ensuite tiré ou poussé dans le tronçon. Comme le diamètre est plus petit, le mortier est refoulé dans l'espace annulaire vide entre la paroi de la conduite et le corps de refoulement. À l'état final, on obtient ainsi un revêtement.

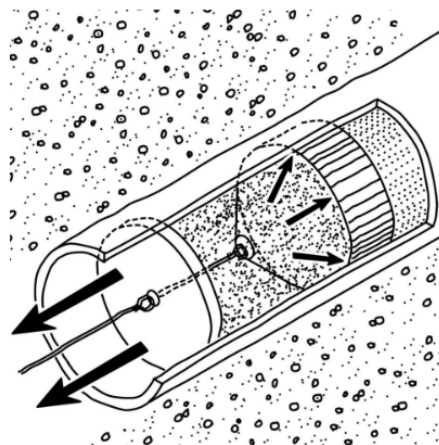


Tableau 53 : domaine d'application procédé par refoulement

Domaine d'application DN	≤ DN 600 mm
Type de section	Sections circulaires, sections ovoïdes
Matériau du tuyau utilisé	Béton, acier, fonte
Changements de direction et de pente	Impossibles
Changement de diamètre	Impossible
Longueur de canalisation	Env. 25 à 90 m
Puits d'accès à la chambre	ouverture ≥ 600 mm
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels
Durée d'utilisation	50 ans

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Retouches
- Contrôles des matériaux (résistances etc.)

Version consultation septembre 2023

5.2.4 Procédé par extrusion

Description de la procédure

Dans les canalisations visitables, le procédé par extrusion fait appel à des coffrages mobiles spéciaux comme dans la construction de tunnels. Le béton est pompé derrière le coffrage par des fenêtres et compacté avec des vibreurs internes ou bien amené au-dessus du coffrage par des tubulures, puis compacté avec des vibreurs externes. Ce procédé permet en outre un renforcement de la statique de la section de canalisation en utilisant un ferrailage.

Tableau 54 : domaine d'application procédé par extrusion

Domaine d'application DN	Section circulaire ≥ 1200 mm Sections ovoïdes et spéciales à partir d'une hauteur maximale ≥ 1200 mm
Type de section	Visitable : quelconque
Matériau du tuyau usé	Béton, maçonnerie
Changements de direction et de pente	Possibles
Changement de diamètre	Possible
Longueur de canalisation	Selon capacité d'alimentation en mortier / béton
Puits d'accès à la chambre	ouverture ≥ 600 mm
Diamètre de la chambre	DN de la chambre ≥ 1000 mm
Domaine d'utilisation concernant la protection des eaux	Tous domaines possibles, dans les zones de protection des eaux seulement avec autorisation cantonale
Statique	Certificat statique nécessaire pour mesures de renforcement et états de construction
Capacité d'écoulement	Influe sur la capacité d'écoulement
Exploitation	Pression de curage max. 100 bars, pas de buses verticales
État structurel	En cas de dommages à répétition ou étendus et de dommages structurels
Durée d'utilisation	80 ans

Les tâches suivantes doivent être exécutées dans le cadre du contrôle qualité :

- Curage des canalisations
- Retouches
- Contrôles des matériaux (résistance à la traction d'éléments adhérents etc.)

6 ANNEXES

6.1 Bases légales

6.1.1 Généralités

- Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)
- Ordonnance sur la protection des eaux (OEaux)
- Prescriptions des cantons sur la protection des eaux
- Ordonnances des communes sur l'assainissement urbain
- Règlements relatifs aux zones de protection des communes et des corporations d'eau
- Loi fédérale sur la protection contre les substances et les préparations dangereuses (Loi sur les produits chimiques, LChim)
- Ordonnance fédérale sur la protection contre les substances et les préparations dangereuses (Ordonnance sur les produits chimiques, OChim)
- Ordonnance sur la réduction des risques liés à l'utilisation de substances, de préparations et d'objets particulièrement dangereux (Ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, ORR-Chim)

6.1.2 Sécurité au travail

- Loi fédérale sur le travail dans l'industrie, l'artisanat et le commerce avec ses ordonnances 1 à 4 (LTr)
- Loi fédérale sur l'assurance-accidents (LAA)
- Ordonnance sur l'assurance-accidents (OLAA)
- Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA)
- Loi fédérale et ordonnance sur la sécurité d'installations et d'appareils techniques (LSIT / OSIT)
- Ordonnance sur la sécurité et la protection de la santé des travailleurs dans les travaux de construction (Ordonnance sur les travaux de construction, OTConst)

6.2 Normes, directives et aide-mémoires

6.2.1 Généralités

- Norme SN 507 118 (SIA 118) : Conditions générales pour l'exécution des travaux de construction
- Norme SN 532 205 (SIA 205) : Pose de conduites souterraines
- Norme SN 533 190 (SIA 190) : Canalisations
- Norme SN 592 000 : Installations pour l'évacuation des Biens-Fonds - Conception et exécution
- Norme SN EN 476 : Prescriptions générales pour les composants utilisés dans les réseaux d'évacuation, de branchement et d'assainissement à écoulement libre
- Norme SN EN 752 : Systèmes d'évacuation des eaux à l'extérieur des bâtiments
- Norme SN EN 1610 (SIA 190.203) : Mise en œuvre et essai sur des branchements et canalisations d'assainissement
- Norme SN EN 12889 : Mise en œuvre sans tranchée et essai des branchements et collecteurs d'assainissement
- Norme SIA 469 : Conservation des ouvrages
- Directive VSA Qualité dans la réhabilitation des installations d'évacuation des eaux QUIK
- Directive VSA Relevé de l'état des installations d'évacuation des eaux
- Aide-mémoire VSA Codification des observations et transfert des données
- Directive VSA Évaluation de l'état des installations d'évacuation des eaux
- Directive VSA Essais d'étanchéité d'installations d'évacuation des eaux usées

6.2.2 Sécurité au travail

- Directive SUVA : « Règles pour les travaux dans des réservoirs et locaux exigus »
- Publication de la SUVA : « Travailler en sécurité dans les puits, les fosses ou les canalisations »
- Publication de la SUVA : « La sécurité dans les stations d'épuration des eaux usées »
- Feuillelet d'information SUVA : « Protection contre les explosions »
- Recommandation SUVA « Prévention des infections par voie sanguine »
- SN 640 886 : « Signalisation temporaire sur routes principales et secondaires »

7 LISTE DES ABRÉVIATIONS

EP	Résine époxyde
UP	Polyester insaturé
VE	Vinylester
PVC	Polychlorure de vinyle

ARZ : états du tuyau usé selon DWA-A 143-2 ³

ARZ I	La conduite d'évacuation des eaux n'est pas étanche. Le système sol/ancien tuyau est suffisamment stable en soi, c'est-à-dire qu'il peut porter les charges du sol et du trafic.
ARZ II	La conduite d'évacuation des eaux n'est pas étanche et possède des fissures. La conduite d'évacuation des eaux présente de légères déformations. Le système sol/ancien tuyau est suffisamment stable en soi, c'est-à-dire qu'il peut porter les charges du sol et du trafic.
ARZ III	La conduite d'évacuation des eaux n'est pas étanche, est crevassée et présente de fortes déformations. Le système sol/ancien tuyau apporte encore une contribution importante à la stabilité, mais les charges du sol et du trafic ne sont plus supportées avec la sécurité nécessaire.

Version consultation septembre 2023

³ Explications selon « Skripte zum Unterirdischen Kanal- und Leitungsbau » du Prof. Dr. Ing. Bert Bosseler (2020)