



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

DOSSIER 16 – QUALITE DES RESEAUX D'EGOUTTAGE PARTIE 1 – INVESTIGATION VISUELLE DES EGOUTS REV.1

Version : V2 20250326

BRRC Francis Poelmans



Table des matières

1		
1.	Introduction.....	8
2.	Objet du dossier	10
3.	Investigation visuelle des égouts - Évolution	10
3.1.	De l'égout au réseau d'égouttage	10
3.2.	Évolution des techniques d'investigation visuelle des égouts	12
4.	Exigences générales.....	17
4.1.	Accréditation conformément à l'ISO/IEC 17025 (ISO, 2017) (<i>Accréditation</i> , 2019).....	17
4.1.1.	Qu'est-ce qu'une accréditation ?	17
4.1.2.	Pourquoi une accréditation ?	17
4.1.3.	Accréditation en Belgique	18
4.1.4.	Accréditation sur le plan international.....	18
4.1.5.	Accréditation dans le cadre d'une investigation visuelle des égouts ?.....	19
4.2.	Personnel.....	19
4.2.1.	Connaissances requises.....	19
5.	Modalités d'exécution de l'investigation visuelle des égouts.....	20
5.1.	Normalisation	20
5.2.	Qualité	21
5.2.1.	Qualité de l'exécution	21
5.2.2.	Qualité de l'investigation visuelle.....	22
5.3.	Objectifs possibles selon la norme NBN EN13508-2 (NBN, 2011)	22
5.3.1.	Contrôle final d'une nouvelle construction.....	22
5.3.2.	Fin de la période de garantie.....	23
5.3.3.	Investigation de routine de l'état de la canalisation	23
5.3.4.	Suspicion d'un problème structurel	24
5.3.5.	Suspicion d'un problème opérationnel.....	24
5.3.6.	Suspicion d'un problème d'infiltration.....	24
5.3.7.	Contrôle final après rénovation ou réparation	24
5.3.8.	Transfert de propriété	25
5.3.9.	Plans d'investissement	25
5.3.10.	Étude par échantillon	25

5.3.11.	Autres	25
5.4.	Conditions ambiantes.....	25
5.4.1.	Perturbation du trafic.....	25
5.4.2.	Influence de la température ambiante	26
5.4.3.	Influence du niveau de la nappe	27
5.4.4.	État de l'objet de l'investigation.....	27
5.4.5.	Investigation visuelle d'un égout non nettoyé.....	28
6.	Equipement	30
6.1.	Systèmes pour l'investigation visuelle des égouts	30
6.1.1.	Techniques classiques d'investigation visuelle des égouts	30
6.1.2.	Techniques innovantes – Investigation visuelle des égouts	32
6.1.2.1.	Techniques relatives au déplacement dans l'élément d'égouttage.....	32
6.1.2.2.	Techniques de traitement d'images.....	39
6.1.3.	Techniques innovantes – Techniques non visuelles, non destructives.....	43
6.1.3.1.	Intelligence Artificielle.....	46
6.1.3.2.	MEVOSGROW	47
7.	Investigation visuelle de la canalisation.....	49
7.1.	Généralités	49
7.2.	Conduites inaccessibles à l'homme.....	50
7.2.1.	Distance de départ et position de la lentille de la caméra.....	50
7.2.2.	Vitesse de mouvement et de rotation	53
7.2.3.	Investigation visuelle des assemblages	54
7.2.4.	Graphique de pente	55
7.2.5.	Enregistrement des contre-pentes.....	56
7.2.6.	Investigation visuelle simplifiée	57
7.2.6.1.	Investigation stationnaire de la canalisation (caméra à zoom).....	57
A.	Méthode de travail.....	58
B.	Avantages	59
C.	Inconvénients	60
7.2.6.2.	« Simplified visual inspections ».....	60
7.3.	Tuyaux ou canalisations non circulaires	61
7.4.	Canalisations et conduits accessibles à l'homme	61
7.4.1.	Éclairage	61
7.4.2.	Aspects liés à l'état	61

7.4.3.	Points à prendre en compte	62
7.4.4.	Conduits et canalisations de grande taille	62
7.4.5.	Généralités	62
8.	Regards, chambres de visite ou dispositifs d’inspection	63
9.	Investigation visuelle des dispositifs d’infiltration	63
9.1.	Généralités	63
9.2.	Étude préliminaire	64
9.3.	Données d'inventaire	65
9.4.	Technique d'investigation	65
10.	Commentaire sur l'utilisation des codages de la norme	65
10.1.	Investigation de la canalisation	66
10.1.1.	Codages continus	66
10.1.2.	Observations pour un assemblage	68
10.1.3.	Positions horaires	69
10.1.4.	Début et fin de l'investigation	69
10.1.5.	Investigations interrompues	69
10.1.6.	Raccordements	71
10.1.6.1.	Généralités	71
10.1.6.2.	Inventaire	72
10.1.6.3.	Type de raccordement	72
10.1.6.4.	Autres aspects liés à l'état pour les raccordements	73
10.1.7.	Code BAN « Tuyau poreux »	73
10.1.8.	Codes BBF (Infiltration) et BBG (Exfiltration)	74
10.1.9.	Diamètre intérieur du tuyau	76
10.1.10.	Modification du diamètre du tuyau pendant l'investigation visuelle	76
10.2.	Investigation visuelle des conduites latérales	77
10.2.1.	Investigation visuelle à l'aide d'une caméra poussée	78
10.2.2.	Investigation visuelle à l'aide d'une caméra satellite	78
10.3.	Investigation visuelle du regard	92
10.3.1.	Généralités	93
10.3.2.	Codages fixes	93
10.3.3.	Codages continus	94
10.3.4.	Observations pour un assemblage	94
10.3.5.	Positions horaires	95

10.3.6. Localisation décrite.....	95
10.3.7. Début, fin et interruption d'une investigation	96
10.3.8. Branchements	97
10.3.8.1. Généralités	97
10.3.8.2. Inventaire	97
10.3.8.3. Autres aspects liés l'état pour les branchements	98
10.3.9. Code DAN « Paroi du regard poreuse »	98
10.3.10. Diamètre intérieur du regard ou de l'élément de regard	99
10.3.11. Modification du diamètre du regard ou de l'élément de regard au cours de l'investigation visuelle	99
10.3.12. Documents de référence relatifs à la géométrie.....	100
10.3.13. Code DBF (Infiltration) et DBG (Exfiltration)	100
10.4. Dispositifs d'infiltration	100
10.4.1. Quelle série de codages pour quelle application d'infiltration ?	100
10.4.2. Que faut-il enregistrer ?	101
10.4.3. Conduites IT (infiltration-transport).....	103
10.4.4. Bassin d'infiltration composé d'éléments	104
10.4.5. Champ d'infiltration en béton.....	106
10.4.6. Sous-sol d'infiltration en béton	107
10.4.7. Puits d'infiltration et bassins d'infiltration en béton.....	107
10.4.8. Poteaux d'infiltration.....	108
11. Qualité d'image, mesures et validation de l'équipement	110
11.1. Introduction.....	110
11.2. Exigences de la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) et des cahiers des charges types ...	110
11.3. Qualité d'image	111
11.4. Écarts autorisés	111
11.5. Validation de l'équipement	112
11.6. État physique de l'équipement	112
11.7. Plage de mesure théorique et pratique de l'équipement.....	113
11.7.1. Plage de mesure théorique par robot	113
11.7.2. Plage de mesure pratique par robot	113
11.8. Mesure de la distance	113
11.9. Mesure statique de la pente	113
11.10. Mesure dynamique de la pente	114

11.11.	Référence des points laser	114
11.12.	Mesures optiques.....	115
11.13.	Mesures axiales	116
11.14.	Calcul de la déviation angulaire.....	116
11.15.	Validation du logiciel	116
11.16.	Techniques de mesure pour l’investigation d’une conduite	117
11.16.1.	Caractéristiques géométriques qu’il est possible de mesurer	117
11.16.2.	Mesure de la distance	117
11.16.3.	Mesures dans la coupe transversale	118
11.16.3.1.	Quelles sont les formes de tuyau qui peuvent être mesurées ?.....	118
11.16.3.2.	Mesure du diamètre intérieur du tuyau :.....	118
11.16.3.3.	Mesures du niveau d'eau, du dépôt décanté :.....	119
11.16.3.4.	Mesure d'obstacles	119
11.16.3.5.	Mesures sur la paroi du tuyau.....	119
A.	Généralités	119
B.	Les techniques de mesure peuvent varier considérablement	120
11.16.3.6.	Mesure des assemblages déplacés	121
A.	Déplacements axiaux.....	122
B.	Déplacements radiaux.....	122
C.	Déviations angulaires	123
D.	Combinaison déplacement axial et déviation angulaire	126
11.16.3.7.	Mesure des raccordements.....	127
11.16.3.8.	Mesure d'objets.....	128
11.16.3.9.	Mesure de l'inclinaison.....	128
11.16.4.	Techniques de mesure inspection de regard	132
11.16.4.1.	Mesure de la distance	132
11.16.4.2.	Mesures dans la coupe transversale	133
11.16.4.3.	Mesures sur la paroi du tuyau/ Mesure des branchements	134
11.16.5.	Techniques de mesure du dispositif d'infiltration.....	134
11.16.5.1.	Mesure de la distance	134
11.16.5.2.	Mesures sur la paroi	135
11.16.5.3.	Mesures dans la coupe transversale	135
11.16.5.4.	Positions	135
12.	Reporting des résultats	135

12.1.	Composition du rapport	136
12.1.1.	Données du projet.....	136
12.1.2.	Données d'inventaire	136
12.1.3.	Données détaillées de l'investigation visuelle	136
12.2.	Contenu du rapport.....	136
12.2.1.	Investigation de conduites	136
12.2.1.1.	Données du projet.....	136
12.2.1.2.	Données d'inventaire	137
12.2.1.3.	Données détaillées	137
12.2.1.4.	Informations complémentaires par ligne d'enregistrement.....	137
12.2.2.	Inspection du regard	138
12.2.2.1.	Données du projet.....	138
12.2.2.2.	Données d'inventaire	138
12.2.2.3.	Données détaillées	139
12.2.2.4.	Informations complémentaires par ligne d'enregistrement.....	139
12.3.	Reporting numérique	140
12.4.	Rapport numérique avec système GIS intégrer	140
12.5.	Échange de données numériques	141
12.5.1.	Échange de données selon le BEFDSS	141
12.5.1.1.	Description	141
12.5.1.2.	Composition	142
12.5.1.3.	Sous-routine BEFDSS	142
12.5.2.	Mises à jour du BEFDSS	143
12.5.3.	Échange de données – Représentation schématique	144
13.	ANNEXE I.....	147
14.	Annexe II.....	147
14.1.	Annexe II-A	147
14.2.	Annexe II- B.....	147
15.	Annexe III.....	147
16.	Annexe IV.....	147
17.	ANNEXE V	147
18.	ANNEXES VI.....	148
19.	Annexe VII.....	148
20.	Références photographiques	148

21. Références	151
----------------------	-----

1. Introduction

L'évacuation des eaux, l'infiltration et les réseaux d'égouttage¹ constituent un élément indispensable, mais souvent méconnu, de l'infrastructure mise à la disposition des citoyens.

L'évacuation et le traitement des eaux usées jouent un rôle important en matière de santé publique. L'utilisation efficace des réseaux d'égouttage a conduit au recul de nombreuses maladies infectieuses au fil du temps. Le transport des eaux usées doit donc se faire de manière correcte, afin qu'elles puissent être épurées avant d'être reversées dans la nature.

L'eau est un bien précieux. L'eau potable est présente en quantité limitée. La Belgique se positionne au septième rang des pays de l'OCDE pour ce qui est de la disponibilité de l'eau. La Flandre et Bruxelles (Régions distinctes de la Belgique), sont en 30^e position dans ce classement à la dernière place (Disponibilité de l'eau dans les pays de l'OCDE, s.d.). Nous devons consommer l'eau avec parcimonie. Il faut améliorer la qualité des eaux de surface. Seules des eaux qui satisfont aux exigences en matière de rejet peuvent se retrouver dans les eaux de surface.

Par le passé, les eaux pluviales étaient souvent évacuées immédiatement par un système mixte. Au fil des ans, le niveau de la nappe phréatique a baissé de façon drastique en de nombreux endroits. Les eaux de pluie et les eaux usées sont encore trop souvent évacuées ensemble, ce qui fait que les eaux de pluie ne peuvent plus s'infilttrer localement. Les eaux usées fortement diluées sont difficiles à épurer. Cette dilution peut être très variable en raison de l'augmentation des débits lors de fortes pluies. Les égouts n'arrivent parfois plus à absorber l'eau, qui sort alors partiellement du système par un déversoir, polluant ainsi ruisseaux et rivières. Les canalisations devaient être suffisamment grandes pour pouvoir absorber des volumes importants de précipitations ainsi que les eaux usées. A l'heure actuelle, on construit de plus en plus de systèmes d'égouttage séparés, qui transportent chaque type d'eaux (eaux usées et eaux pluviales) séparément, aussi bien sur le domaine public que privé.

Aujourd'hui, en Flandre, quand on construit de nouvelles habitations, il est obligatoire (en vertu de la législation, [Vlaamse Overheid, Omgeving, 2022]) de séparer les flux d'eau (eaux noires, eaux grises et eaux de pluie) et de collecter les eaux de pluie dans une citerne en vue de leur réutilisation. L'objectif est d'utiliser autant d'eau de pluie que possible pour les applications qui ne nécessitent pas d'eau potable, telles que les chasses d'eau, la lessive, l'arrosage du jardin, etc. Si possible, l'eau excédentaire est infiltrée sur place via le trop-plein de la citerne. Cela peut se faire au niveau de l'habitation ou d'un groupe d'habitations. Les règles imposées en matière d'infiltration des eaux de pluie deviennent plus strictes. Cette mesure s'impose en raison des inondations provoquées dans les zones basses par l'évacuation des eaux de pluie à travers un système d'évacuation des eaux de pluie. À l'avenir, les systèmes d'évacuation des eaux de pluie ne seront plus construits par défaut. On vérifiera d'abord si une infiltration locale est possible et là où l'infiltration est plus compliquée, on peut choisir de collecter

¹ Un réseau d'égouttage peut être constitué de canalisations, d'avaloirs, de regards de visite et de fossés avec aqueducs. Il assure le captage et le transport des eaux usées vers une installation d'épuration de taille plus ou moins grande.

l'eau dans une zone tampon et à partir de là, en fonction de la composition du sol, donner à l'eau plus de temps pour s'infiltrer. Avec le changement climatique, les zones plus basses, telles que les prairies et les marais, qui étaient auparavant drainées, redeviendront des « zones humides » qui pourront servir de tampons naturels en cas de précipitations extrêmes. Il est important de remettre lentement mais sûrement la nappe phréatique à niveau. L'application cohérente des règles susmentionnées peut limiter les inondations et réduire le manque de disponibilité de l'eau.

Pour pouvoir remplir son rôle comme il se doit, un réseau d'égouttage doit satisfaire aux exigences posées (comprendre : qualité) et son bon état et son bon fonctionnement doivent être garantis tout au long de sa durée de vie. Ceci est indispensable pour empêcher que des eaux usées non épurées ne se retrouvent dans la nature et que des dégâts par affaissement ne soient occasionnés à l'infrastructure située au-dessus des canalisations. Les propriétés hydrauliques du système aussi sont importantes pour empêcher l'eau d'envahir les rues ; pour les préserver, un entretien périodique, adapté aux conditions locales, est nécessaire.

En cas de dégradation, il est important de pouvoir procéder à temps aux constatations et aux réparations. Une approche planifiée et structurée est indispensable afin de satisfaire à tout moment aux exigences posées. Une gestion efficace des égouts n'est possible que si l'état du réseau est connu. Depuis des décennies, l'Europe donne une impulsion importante par le biais de la directive-cadre sur l'eau, que nous ne respectons toujours pas. On s'efforce d'inverser la tendance. La révision de ce dossier est l'occasion d'utiliser des techniques modernes et innovantes lorsque cela s'avère nécessaire. A cet égard, une mise en œuvre uniforme et le partage des données sont essentiels. Après la construction d'un réseau d'égouttage, il convient de vérifier que les dispositions du cahier des charges ont été respectées. Grâce à un bon contrôle du fonctionnement dans les conditions données, il est possible d'établir un plan d'entretien adapté, ainsi que, ultérieurement, un plan de rénovation. C'est de cette façon uniquement que la durée de vie théorique d'un réseau pourra être atteinte.



Figure 1 - Dégradations sévères causées par l'effondrement d'une canalisation d'égout (source : CRR)

La qualité est le fil rouge du présent dossier. Elle doit donc faire l'objet d'un suivi constant afin d'obtenir une amélioration continue des résultats. La garantie de la qualité nécessite des essais et des mesures. Cela doit se faire de manière uniforme et en fonction de l'objectif visé. Les résultats de ces essais et de ces mesures sont bien entendu le point de départ d'éventuelles actions ultérieures ciblées et réfléchies. Ils permettent un entretien et/ou une rénovation durable ainsi qu'une utilisation optimale des moyens financiers disponibles.

2. Objet du dossier

Le CRR dispose des connaissances, de l'expérience, de l'équipement et des accréditations nécessaires pour examiner et optimiser les contrôles pour la qualité des réseaux d'égouttage.

Sur cette base, le Centre souhaite contribuer à une description, une application et une exécution univoques et uniformes des méthodes de mesure et d'essai utilisées pour inspecter l'état, le fonctionnement et l'étanchéité des réseaux d'égouttage. Toutes les parties concernées (gestionnaires, rédacteurs de cahiers des charges, exécutants, fabricants et utilisateurs) ont à y gagner.

Ce dossier est une révision du dossier paru en annexe au Bulletin CRR 95 et s'intéresse plus en détail à l'investigation visuelle des égouts. Après un rappel historique des origines de l'égouttage et de l'inspection visuelle des égouts, le dossier 16 (Poelmans, 2013) décrit l'objectif (selon la norme NBN EN 13508-2 [NBN, 2011]), les exigences générales (accréditation, personnel, équipement, innovation et sécurité) et les différentes techniques d'investigation visuelle. Il traite également de l'échange de données numériques.

C'est pourquoi deux dossiers sont consacrés à ce sujet :

1. Qualité des réseaux d'égouttage : Partie 1 – Investigation visuelle
2. Qualité des réseaux d'égouttage : Partie 2 – Essais d'étanchéité

La deuxième partie du dossier examine de plus près les méthodes d'essai pour le contrôle de l'étanchéité des égouts.

Nous espérons donc que les prochaines dispositions des cahiers des charges feront référence à ces dossiers et contribueront à définir uniformément², entre autres, l'inventaire, l'état structurel, le fonctionnement et l'étanchéité des réseaux d'égouttage.

3. Investigation visuelle des égouts - Évolution

3.1. De l'égout au réseau d'égouttage

L'ancêtre du réseau d'égouttage actuel date de l'Empire romain. En effet, depuis que l'homme existe, il produit de l'urine et des déjections. Tant que les hommes vivaient en petit groupe, cela ne posait pas trop de problèmes. Avant qu'ils ne se mettent à habiter ensemble dans des grandes villes, ils faisaient leurs besoins à un endroit dédié à cet effet, et les déjections étaient décomposées par des micro-organismes. Mais lorsqu'ils ont commencé à vivre en grand nombre dans des villages et des villes, ils ont alors produit plus de déchets que l'environnement ne pouvait absorber. Lorsque Rome fut confrontée à ce problème, il a fallu trouver une solution.

² En se basant sur une méthode, un essai ou des valeurs mesurées, le cas échéant.

Un collecteur reliait le vieux centre-ville au Tibre. Toutes les saletés étaient déversées dans cet égout à ciel ouvert.

L'inconvénient majeur d'un égout à ciel ouvert de ce type est le contact direct avec l'air extérieur, ce qui cause des nuisances olfactives sur une grande distance. C'est pourquoi, au fil du temps, les égouts à ciel ouvert ont progressivement été remplacés par un réseau souterrain de canalisations. C'est ainsi qu'est apparu le premier « réseau d'égouttage ».

Étant donné que ces réseaux d'égouttage débouchaient dans les cours d'eau proches, un nouveau problème est apparu. Les cours d'eau, censés fournir de l'eau potable à la population, étaient contaminés par des germes. Cela a provoqué de nombreuses épidémies, notamment de choléra. Il a fallu attendre la fin du XIX^e et le XX^e siècle avant que des travaux d'égouttage ne soient réalisés à grande échelle en Europe et aux États-Unis.

Efforts de la Belgique en matière de traitement des eaux et la directive-cadre européenne sur l'eau (directive 2000/60/CE, 2000) :

Ces trente dernières années, la Belgique a investi massivement pour raccorder la quasi-totalité des immeubles au réseau d'égouttage. Cela signifie que les eaux usées sont réceptionnées par le réseau commun et évacuées vers des installations d'épuration, où elles sont traitées pour répondre à des normes de rejet strictes. L'eau épurée est ensuite rejetée dans les eaux de surface. Mais qu'en est-il des régions reculées où il n'est pas possible d'installer un système d'égouttage ?

En Belgique, il existe encore de nombreuses parcelles trop éloignées pour être raccordées au réseau d'égouttage. Dans ce cas, les eaux usées sont généralement déversées dans des fosses septiques et des sterputs. Malheureusement, cette méthode de traitement des eaux usées ne satisfait pas aux normes en matière de rejet. Cela constitue un défi pour la protection de l'environnement, car les eaux usées non traitées ou mal traitées peuvent s'avérer nocives pour les ressources en eau.

Pour relever ces défis et respecter les normes européennes de qualité de l'eau, l'Europe a instauré la directive-cadre européenne dans le domaine de l'eau (Directive 2000/60/CE, 2000). Cette directive vise à améliorer la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines à travers toute l'Europe. L'objectif est de parvenir à une bonne qualité de l'eau au plus tard en 2027. Les États membres sont donc tenus d'adopter une gestion durable des ressources en eau et d'élaborer des plans de gestion pour les différents bassins hydrographiques.

Ces plans de gestion prévoient souvent l'extension des réseaux d'égouttage, l'amélioration des stations d'épuration et la mise en œuvre de mesures individuelles d'épuration des eaux pour les parcelles reculées. Les efforts nécessaires pour se conformer à la Directive-cadre européenne sur l'eau susmentionnée et pour maintenir une gestion durable de l'eau nécessiteront des investissements importants.

En résumé, la Belgique a réalisé des progrès significatifs en matière de raccordement des bâtiments aux égouts et d'amélioration du traitement de l'eau. Toutefois, pour répondre aux normes européennes et assurer une gestion durable de l'eau, des investissements et des mesures supplémentaires sont nécessaires, en particulier dans les régions isolées où les techniques d'égouttage

traditionnelles ne sont pas envisageables. Ces efforts sont essentiels pour protéger et préserver la qualité des ressources en eau.

3.2. Évolution des techniques d'investigation visuelle des égouts

Jusqu'à l'apparition sur le marché des premières caméras pour l'investigation visuelle dans les années 1950, les problèmes étaient détectés manuellement.

Lorsque le diamètre de l'égout était trop petit pour pouvoir y accéder, on utilisait des regards ou « *lampholes* » pour déterminer le degré de pollution ou de dégradation. On faisait descendre par ces ouvertures une bougie dans la canalisation, et la lumière de cette bougie devait être visible à l'extrémité du tuyau.

Par la suite, cet essai a été « *affiné* ». On faisait descendre avec un fin fil une bougie allumée sur un radeau, qui était emporté par le courant d'un regard à l'autre. Si la bougie y parvenait allumée, la canalisation était alors « *approuvée* ». Si elle était éteinte (même si le radeau pouvait continuer à circuler sans problème), on considérait alors qu'il y avait un problème d'infiltration.

Le codage était simple : OK ou pas OK

Les tuyaux étaient alors composés de deux parties en forme de demi- « O », posées l'une sur l'autre sans étanchéité, ce qui avait pour conséquence des infiltrations considérables. Ces infiltrations étaient plus que bienvenues : elles avaient une fonction de purification.

Lorsque la marque « *Kodak* » développa le premier appareil photo à la fin des années 1880, la première « technique d'inspection photographique » vit rapidement le jour à New York.

La première caméra fut inventée en 1927 et brevetée en 1930. L'avancée technologique dans le domaine de l'investigation des égouts connut alors une période calme. La première caméra pour l'investigation des égouts date de 1946 et fut utilisée pour le contrôle de grands boilers. Les caméras de ce type étaient très lourdes et avaient une résolution de 200 lignes³. Elles consommaient énormément d'électricité et avaient besoin de beaucoup de lumière. Au début des années 1950, les premières caméras étanches de 5" furent conçues. Elles convenaient parfaitement pour l'investigation de tuyaux de 8".

En Europe, la première caméra destinée à l'investigation des égouts fut construite à la fin des années 1950. Une caméra à film était placée dans un boîtier étanche et équipée d'un phare de voiture pour obtenir le meilleur résultat. La méthode n'était pas si simple. Le câble était relié en aval et avec une grande prise à la caméra. Le câble et la caméra étaient ensuite tirés à la main à partir du bas du regard pendant que la caméra filmait. Le câble était simplement déposé dans le véhicule chargé du transport.

³ Une ligne d'image est une ligne qui constitue une image sur une télévision ou un écran analogique. Pour la télévision, PAL est le standard le plus connu avec 625 lignes (dont 576 sont visibles).



Figure 2 - Système d'inspection IBAK
(source : IBAK)



Figure 3 - Système d'inspection IBAK
(source : IBAK)



Figure 4 - Système d'inspection IBAK
(source : IBAK)

L'introduction du CCD⁴ au début des années 1970 a représenté une révolution en termes de poids et de dimensions de la caméra. Le CCD fut en premier lieu développé comme stockage de mémoire, mais il s'est avéré qu'il pouvait aussi servir de capteur d'image. Des tuyaux de diamètre inférieur ont alors pu être inspectés par caméra.

Il restait encore pas mal de « manipulations » à faire. La caméra devait toujours être introduite manuellement et la portée était généralement limitée à environ 150 m. La caméra se déplaçait grâce à un moteur électrique, mais le câble devait encore être ramené manuellement, ce qui représentait un certain travail physique. La distance et la position horaire pouvaient être lues, mais il fallait prendre en compte des écarts importants dans les dimensions.

Dans les années 1980, les véhicules pour l'investigation visuelle des égouts, aménagés comme des studios, furent dotés d'un groupe électrogène, leur permettant ainsi de fonctionner indépendamment d'une source de courant externe. Des photos analogiques de l'écran étaient prises, ce qui ne permettait pas toujours de proposer une qualité optimale. Le degré d'occultation dans le studio avait un impact important. Les rapports étaient rédigés manuellement et complétés de photos analogiques. Le nombre de photographies était un élément important du coût du rapport, qui relevait davantage du collage avec un commentaire sur l'aspect lié à l'état.

Vers le milieu des années 1980, l'enregistreur vidéo fut intégré au studio. La résolution d'image était de 240 lignes horizontales (Vidéo Home -System), ce qui offrait une multitude de possibilités. Le compteur vidéo pouvait servir de référence.

Dans les années 1990, la résolution passa à 400 lignes (*Super Vidéo Home System – SVHS*) et trois couleurs primaires furent utilisées et fusionnées pour obtenir une image en couleurs. Chaque image était rafraîchie trente fois par seconde. L'investigation pouvait être suivie depuis un moniteur et être enregistrée simultanément. Grâce à une automatisation plus poussée et un objectif œil-de-poisson, la

⁴ CCD : Charge-Coupled Device technology (dispositif à transfert de charge). Il s'agit d'une puce qui transforme les rayons électromagnétiques en charge électrique.

caméra pouvait « regarder autour d'elle » dans un angle limité. L'opérateur pouvait contrôler l'objectif avec une poignée et ainsi obtenir une image plus ciblée d'un aspect lié à l'état.



Figure 5 - Voiture-caméra IBAK avec objectif œil-de-poisson
(source : IBAK)



Figure 6 - Pearpoint Camera voiture avec objectif œil-de-poisson (source : CRR)

L'intégration du PC a encore élargi le champ des possibilités. Il fut alors possible de choisir des aspects liés à l'état des canalisations parmi des listes⁵ et la vidéo a pu être commandée par le logiciel.

Le groupe électrogène fut ensuite remplacé par une « batterie de traction », afin de pouvoir réaliser des investigations toute la journée sans risquer d'interruption intempestive du groupe électrogène. Le soir, le véhicule était rechargeé via une prise secteur, afin de pouvoir à nouveau travailler toute la journée le lendemain.

Les principaux acteurs sur le marché offraient des systèmes intégrés complets dans des véhicules, aménagés en studio. Au début des années 2000, il est devenu possible d'échanger des images sous format numérique. Dans la pratique, cela n'a pas toujours apporté une valeur ajoutée, car dans les premiers temps (MPEG1), la qualité SVHS n'était pas atteinte. Les images vidéo ont été numérisées et les cassettes vidéo remplacées par des CD, puis des DVD.

Par la suite, les images ont dû être livrées au format MPEG2 avec un débit binaire de 4 Mb/s⁶. Au début, plusieurs DVD étaient nécessaires pour chaque projet. Par la suite, de nombreuses données ont déjà été échangées via un disque dur portable. Le logiciel permet de consulter les images de manière interactive, et d'ouvrir aussi bien des photos que des vidéos à partir du rapport.

Depuis 2003, la norme européenne EN 13508-2 (NBN, 2003) et son annexe nationale (désormais NBN B 34-001 [NBN, 2015A]) sont en vigueur en Belgique. Ensemble, elles constituent la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) *Investigation et évaluation des réseaux d'assainissement à l'extérieur des bâtiments - Partie 2 : Système de codage de l'inspection visuelle*. L'intégration du système de

⁵ Listes : classification des dégradations des réseaux d'égouttage selon les cahiers des charges types

⁶ Mb/s (mégabits par seconde) : unité couramment utilisée en informatique pour la vitesse de transfert des données. Le débit est exprimé en bits par seconde.

codage dans le logiciel permet que l'enregistrement de toutes les observations faites au cours de l'investigation soit conforme à la norme. Les données sont échangées au format XML⁷.

Vers le milieu des années 2000 est apparu sur le marché un système indirect⁸ d'investigation visuelle. La caméra est équipée de deux unités optiques sphériques avec un objectif œil-de-poisson donnant une image hémisphérique de plus de 180°. Ces unités réalisent des images synchronisées pendant la progression de la caméra. Les images informatisées peuvent alors être enregistrées en continu et à une vitesse considérablement plus élevée qu'avec une caméra classique. Après l'enregistrement, les images sont analysées au bureau par un expert en investigation visuelle et codées selon les normes en vigueur. Il dispose d'outils supplémentaires comme la progression virtuelle dans la canalisation et l'observation d'une image dépliée pour constituer rapidement un aperçu général et précis. Toutes les mesures nécessaires peuvent être réalisées au bureau. Cette technique a par la suite aussi été utilisée pour l'investigation des regards. Il est évident que cette approche totalement nouvelle présente de nombreux avantages. Aujourd'hui, les systèmes sont disponibles en qualité d'image 4K. Plus aucun détail n'échappe à l'opérateur. Les aspects liés à l'état peuvent être examinés rétrospectivement sous différents angles, ce qui constitue un avantage majeur par rapport aux techniques traditionnelles. La bonne qualité d'image permet de zoomer. On peut ensuite se déplacer dans la canalisation (en quelque sorte virtuellement) tout en zoomant sur un détail. Avec un système traditionnel, l'opérateur a uniquement la possibilité d'effectuer le zoom en direct sur site.

La caméra *Full High-Definition* avec des résolutions de 1 920 x 1 080 a fait son apparition. La technologie 4K a été introduite dans le secteur avec une résolution de 3 840 x 2 160 pixels, soit 4 fois plus de pixels que la technologie Full HD. Grâce aux images très nettes, plus aucun détail n'échappe à l'opérateur. Ces systèmes fonctionnent de manière entièrement numérique, du capteur d'image au résultat final.

⁷ XML (eXtensible Markup Language) a été conçu pour le transfert et le stockage de données.

⁸ Le codage des aspects liés à l'état ne se fait pas pendant l'enregistrement des images et n'est ensuite pas nécessairement effectué par la même personne que celle qui a fait l'enregistrement.

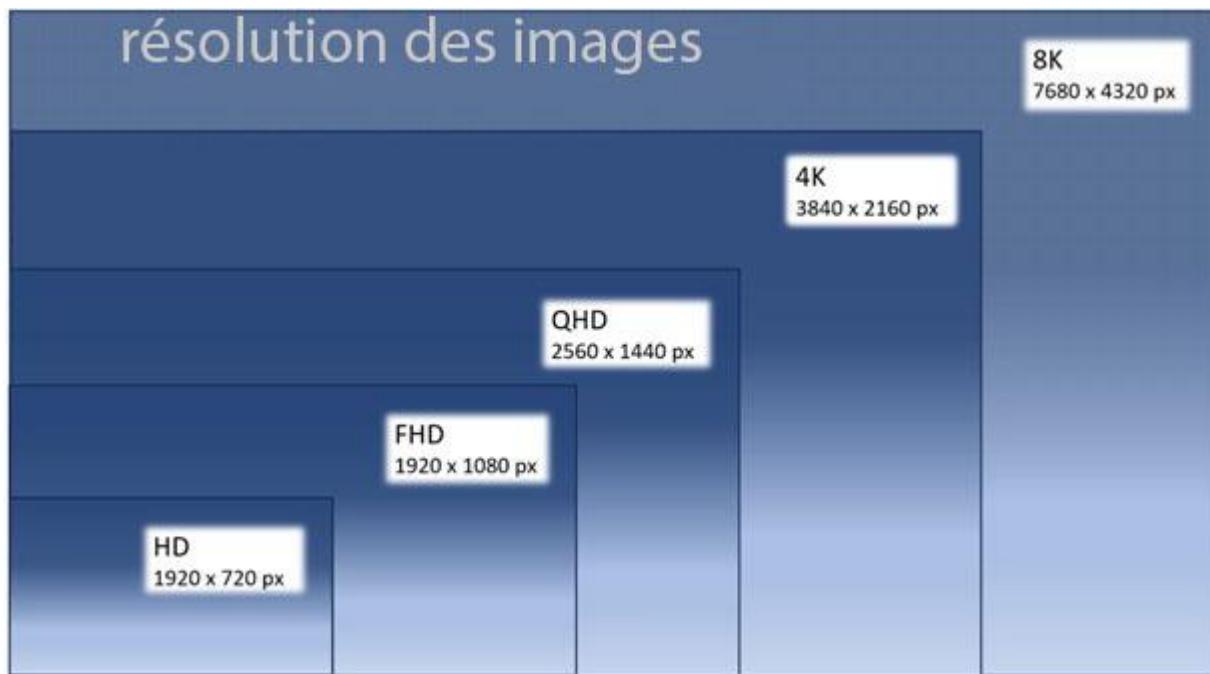


Figure 7 - Evolution de la résolution des images (source : CRR)



Figures 8, 9 et 10 - Evolution de la qualité d'image (source : CRR)

La technologie actuelle permet d'examiner de manière très détaillée une canalisation dans le sens axial ainsi que radial, et d'observer jusqu'aux défauts les plus petits. De nombreuses mesures peuvent être réalisées, ce qui fait que l'endroit de l'observation et la sévérité d'un défaut peuvent être évalués en détail.

Les systèmes d'investigation actuels ne fonctionnent pas de manière autonome ; l'opérateur se charge de toutes les manipulations et de tous les enregistrements, ce qui requiert une grande expertise. Il est aidé pour ce faire par un logiciel qui assure l'uniformité des observations enregistrées. L'enregistrement doit être conforme aux normes et au cahier des charges en vigueur.

On introduit actuellement des systèmes semi-autonomes, où le processus de codage est (en partie) automatisé. Généralement, la caméra est directement reliée à un studio. La semi-autonomie peut porter sur la partie du guidage du robot et/ou sur la reconnaissance automatique des joints et des

raccordements, sur le codage des images et l'exécution automatique de mouvements du robot. Ces systèmes sont en phase de test et devraient être mis sur le marché dans les années à venir.

Ailleurs dans le monde, des tests sont réalisés pour permettre au robot de réaliser des investigations de manière totalement autonome. Le robot est placé dans la canalisation et suivi à distance (sans fil).

Dans les développements les plus récents, nous parlons d'un dispositif qui se déplace à travers l'égout. Il existe plusieurs façons de déplacer l'appareil : le robot avec caméra relié à un « fil » tel que nous le connaissons aujourd'hui. Exemples d'entraînements différents des robots traditionnels : robots flottants, robots flottants combinés à des roues à hélice, drones sous-marins, robots à coussin d'air (aéroglisseurs), drones volants. Les dispositifs sans fil offrent des avantages et des inconvénients. L'avantage est leur liberté de mouvement, aucun fil ne venant interférer. Cet avantage peut s'avérer être un inconvénient dans certaines circonstances : que se passe-t-il si le dispositif se bloque ? L'autonomie des appareils sans fil varie également et est notamment limitée par la capacité de la batterie et la connectivité sans fil. Par conséquent, à l'heure actuelle, leur déploiement dépend de la situation.

L'objectif final est d'arriver à un processus d'investigation et de codage totalement autonome, afin de ne plus avoir à se charger que du contrôle de qualité des images et de leur codage. A l'heure actuelle, ce n'est encore qu'une utopie. Avec l'introduction de l'IA, nous assistons à une accélération ; d'ici quelques années, cela pourrait bien être possible.

4. Exigences générales

4.1. Accréditation conformément à l'ISO/IEC 17025 (ISO, 2017) (Accréditation, 2019)

4.1.1. Qu'est-ce qu'une accréditation ?

Une accréditation est une attestation délivrée par une tierce partie à un organisme d'évaluation de la conformité, tel qu'un laboratoire, un organisme de contrôle ou de certification.

Cette attestation est attribuée par un organisme d'accréditation après un audit approfondi reposant sur des exigences internationales et réalisé par l'organisme en charge de l'évaluation de la conformité. Elle constitue une preuve formelle de la compétence de l'organisme qui effectue des tâches spécifiques d'évaluation de la conformité.

L'accréditation permet aux laboratoires et aux organismes de contrôle et de certification de démontrer non seulement leurs compétences techniques, mais aussi leur indépendance et leur impartialité.

4.1.2. Pourquoi une accréditation ?

Les structures économiques actuelles sont soumises à une évolution dynamique sous la pression de l'internationalisation des échanges. En outre, les produits et les services doivent être conformes à des exigences réglementaires visant à garantir la sécurité de leur utilisation.

Il est donc essentiel de stimuler la confiance des acteurs économiques et des pouvoirs publics chargés du contrôle du marché dans la conformité des produits et des services.

La conformité est confirmée sur la base des documents accompagnant les produits et délivrés par les organismes d'évaluation de la conformité (laboratoires, organismes de contrôle et de certification). Un produit ou un service accompagné d'un certificat délivré par une instance accréditée a une crédibilité plus importante et accèdera plus facilement au marché.

L'accréditation est donc clairement un outil de promotion de la libre circulation des produits et des services. L'accréditation contribue aussi à lever les contraintes commerciales techniques, à encourager une concurrence saine et à harmoniser le fonctionnement des marchés.

4.1.3. Accréditation en Belgique

Depuis le 1^{er} août 2006, BELAC est le seul et unique organisme d'accréditation belge. Il relève de la compétence du SPF Économie, PME, Classes moyennes et Énergie.

BELAC fonctionne selon un système de management, conformément aux exigences internationales relatives à la gestion des organismes d'accréditation.

Les accréditations accordées par BELAC sont reconnues par l'État belge (*Accréditation, 2019*).

Les règles d'utilisation du symbole d'accréditation sont disponibles sur le site web de BELAC.



Figure 11 - Symbole Belac (source : BELAC)

4.1.4. Accréditation sur le plan international

Les organismes nationaux d'accréditation se regroupent en réseaux régionaux, qui coopèrent à leur tour au niveau mondial. Ces réseaux permettent d'harmoniser les pratiques d'accréditation et conduisent, entre autres, à la reconnaissance mutuelle des services d'accréditation.

Cela vise à mettre sur un pied d'égalité les accréditations délivrées par les différents organismes. Cela nécessite une évaluation approfondie au moyen d'un « *peer review* », selon des règles strictes internationalement reconnues.

BELAC a signé tous les accords et accréditations existant dans le cadre de la *European cooperation for Accreditation* (EA), de l'*International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC) et du *Forum of Accreditation and Licensing Bodies* (FALB).

Les rapports et certificats délivrés par les organismes accrédités par BELAC jouissent ainsi d'une reconnaissance internationale.

BELAC reconnaît à son tour les accréditations accordées par des organismes d'accréditation similaires avec lesquels il existe une reconnaissance réciproque, et encourage l'acceptation des rapports et des certificats délivrés par les organismes accrédités.

4.1.5. Accréditation dans le cadre d'une investigation visuelle des égouts ?

Avant de répondre à cette question, il faut d'abord établir ce qu'est un essai.

Un essai est une opération technique où une ou plusieurs caractéristiques d'un produit, d'un procédé ou d'un service sont déterminées selon une méthode spécifiée.

L'essai « investigation visuelle des égouts » est divisé en plusieurs techniques d'investigation. Ces techniques doivent être appliquées selon une méthode établie (propre ou décrite dans un cahier des charges) et dans un champ d'application bien défini. Cette portée est délimitée dans le champ d'application (ou *scope*). Pour pouvoir fournir les résultats souhaités dans les limites de ce champ, un appareillage adéquat est requis. Lors de l'audit pour l'accréditation, on contrôle notamment si :

- L'appareillage adéquat est disponible pour réaliser l'essai selon la norme et/ou la méthode d'essai donnée ;
- Le personnel exécutant dispose des connaissances nécessaires et a suivi la formation requise ;
- Les mesures réalisées sont validées par le laboratoire ;
- Les essais réalisés répondent aux critères de la norme et/ou de la méthode d'essai ;
- Le laboratoire réalise les essais de manière impartiale ;
- Les résultats sont rapportés conformément aux exigences de la norme et/ou de la méthode d'essai ;
- Le système qualité satisfait aux exigences de la norme ISO/IEC 17025 (ISO, 2017).

4.2. Personnel

4.2.1. Connaissances requises

Le personnel exécutant doit avoir des connaissances solides (voir ANNEXE III - « Programme de formation »).

De plus, le personnel doit disposer des compétences techniques suffisantes pour contrôler des caméras à distance. Les experts en investigation visuelle doivent pour ce faire avoir suivi une formation en interne ou chez le fabricant et, après une certaine période de rodage, avoir été déclarés, en interne, compétents en la matière sur la base de critères préétablis et de résultats démontrables.

Ces connaissances et aptitudes doivent être prouvées lors d'un test organisé par un organisme agréé par les comités de pilotage des cahiers de charges types régionaux en vigueur. Un certificat est attribué après la réussite du test.

Pour maintenir ces connaissances à niveau, il importe de suivre par exemple des cours de recyclage en cas de modification des normes. De plus, il faut participer régulièrement à des essais inter-

laboratoires⁹ afin d'évaluer les performances du personnel comparativement à d'autres laboratoires et entreprises et, si nécessaire, organiser le recyclage requis. L'objectif sous-jacent est d'améliorer constamment la qualité des investigations visuelles et de les amener au même niveau pour tout organisme accrédité.



Figure 12 - Formation numérique / recyclage CRR (source : CRR)

5. Modalités d'exécution de l'investigation visuelle des égouts

5.1. Normalisation

Les normes NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) (catalogue des aspects liés à l'état et à l'inventaire) et NBN B 34-001 (NBN, 2015a) (le complément national à la norme NBN EN 13508-2) sont utilisées en Belgique pour réaliser les investigations visuelles des égouts. Les documents susmentionnés ne contiennent pas d'informations sur l'exécution physique de l'investigation visuelle des égouts. Il importe toutefois que les investigations visuelles des égouts se déroulent de manière uniforme et qualitative. C'est de cette façon uniquement que l'on pourra garantir l'uniformité des données fournies, générées par des équipements de marques différentes et enregistrées par différents experts travaillant dans des laboratoires et des entreprises différents. Les exigences minimales en matière d'équipement et de mise en œuvre ont été définies dans ce dossier en concertation avec le secteur. Les experts en investigation visuelle des égouts ont suivi une formation et sont en possession d'un certificat de formation valide, comme l'exigent les différents cahiers des charges types. Un format d'échange BEFDSS¹⁰ a été développé pour l'échange de données sur l'investigation visuelle des égouts entre les différentes parties.

Dans l'intervalle, de nombreuses investigations visuelles des égouts ont été réalisées conformément aux normes susmentionnées. Les cahiers des charges types font référence à ce dossier. Les nombreuses investigations visuelles des égouts, le traitement des données et la contribution de toutes les parties ont permis de dégager un certain nombre de préoccupations qui ont été incluses dans cette

⁹ Les essais inter laboratoires ont pour but d'évaluer de manière comparative la précision de l'enregistrement des observations lors d'une investigation visuelle.

¹⁰ Belgian Exchange Format for Drain and Sewer Systems

version actualisée. Elles sont également utiles pour les gestionnaires du système d'égouttage, les entrepreneurs et les fabricants. Les préoccupations s'adressent principalement aux responsables techniques et aux experts en investigation visuelle de laboratoires et entreprises effectuant des investigations visuelles des égouts. Le document contient d'une part des informations techniques utiles sur l'équipement et les exigences auxquelles il doit répondre, et d'autre part des informations additionnelles susceptibles de représenter une valeur ajoutée pour l'expert.

5.2. Qualité

5.2.1. Qualité de l'exécution

La qualité a un prix. Le prix le plus élevé n'est pas gage de meilleure qualité, mais la meilleure qualité s'achète très rarement à un prix largement inférieur à la moyenne. Les exigences de qualité doivent être en accord avec les dispositions des cahiers des charges. Les écarts donnent généralement lieu à une moins-value. Les données doivent souvent être manipulées pour rester dans les limites des écarts autorisés.

Pour obtenir un bon rapport qualité-prix, il est essentiel de bien connaître tous les paramètres, en particulier :

- Objectif de l'investigation selon le point 5.3 (éventuellement de manière encore plus détaillée). Il n'est en effet pas possible de le modifier sans frais par la suite ;
- Nombre de personnes nécessaires à l'exécution (toujours au moins deux) ;
- Plan détaillé ;
- Accessibilité du terrain :
- Zone revêtue ou non ;
- Implantation des couvercles de regard : accessibles ou non avec un véhicule d'investigation visuelle ;
- Catégorie de route : route communale, route régionale ou autoroute ;
- Autres points importants à prendre en compte : ligne de tram, ligne de bus, marché ou autre événement ;
- Interdiction de stationner requise ou bien trafic continu possible sans interdiction de stationner ;
- Couvercles de regard sur les emplacements de parking ou non ;
- Fermeture de la route nécessaire ou non ;
- Caractéristiques :
- Utilisation de la canalisation ;
- Type de canalisation ;
- Caractéristiques géométriques et diamètre intérieur. Généralement, le diamètre intérieur est indiqué. Dans le cas de conduites thermoplastiques, en revanche, c'est le diamètre extérieur qui est donné. Si la classe de rigidité n'est pas connue, cela peut donner lieu à des erreurs ;
- Nombre de regards à chute ;
- Chambres de visite spéciales ;
- Diamètres des regards ;
- État de l'écoulement :

- Débit : normal (hauteur d'eau max. de 5 % pendant l'investigation visuelle) ou à réduire temporairement ;
- Hauteur de la boue ;
- Obstacles (en présence d'obstacles et/ou de dépôts adhérents ou décantés, la possibilité de réaliser une investigation dépend du diamètre du tuyau. Plus la caméra est petite, plus le risque que la caméra soit bloquée est grand) ;
- Nettoyage réalisé ou non ;
- *Cette liste n'est pas exhaustive.*

5.2.2. Qualité de l'investigation visuelle

La qualité de l'investigation visuelle des égouts est importante car il s'agit de l'un des tests de réception lors de la construction de nouveaux égouts et dispositifs d'infiltration. Le CRR s'est toujours engagé en faveur de la qualité, notamment en formant des experts en investigation visuelle des égouts (anciennement les inspecteurs). Cette formation de plusieurs jours est actualisée en fonction des exigences et s'appuie notamment sur l'utilisation d'images 3D. Le futur expert peut ainsi immédiatement mettre en pratique les connaissances qu'il a acquises. On ne devient un expert chevronné qu'après des dizaines de kilomètres d'investigation visuelle des égouts. Le cours pose les bases nécessaires pour commencer, mais un suivi adéquat est ensuite nécessaire. En validant les systèmes pour l'investigation visuelle des égouts, nous avons réussi à mettre en évidence certains points faibles. Une bonne collaboration avec les laboratoires qui effectuent des investigations visuelles des égouts, d'une part, et les auteurs des logiciels destinés à cette application et les fabricants des systèmes permettant d'effectuer des investigations visuelles, d'autre part, a permis d'obtenir des mesures de très bonne qualité. Aujourd'hui, les mesures ont tellement évolué que, selon le système, il est possible d'obtenir des mesures d'une précision de 0,5 mm, même dans des conduites d'un diamètre supérieur à 1 000 mm. Grâce à l'amélioration de la qualité des caméras, des mires et de la résolution des écrans, il est également possible d'effectuer toutes sortes de mesures précises dans le sens longitudinal, telles que les niveaux d'eau, les dépôts, la formation de croûte, les obstacles, les déplacements radiaux, etc. Nous constatons que les critères prédéfinis peuvent facilement être satisfaits. Nous constatons également que la validation des logiciels et du matériel a porté ses fruits. Il est très important de pouvoir se fier aux résultats des mesures. Un système bien entretenu soumis à une validation périodique, complétée par un contrôle intermédiaire, en est la garantie.

5.3. Objectifs possibles selon la norme NBN EN13508-2 (NBN, 2011)

5.3.1. Contrôle final d'une nouvelle construction

Un des objectifs d'une investigation visuelle peut être de vérifier si les dispositions du cahier des charges ont été respectées lors de l'exécution et si la canalisation satisfait aux exigences de qualité. Plus spécifiquement, le résultat du contrôle final peut démontrer que :

- Les matériaux prescrits ont été utilisés ;
- Les diamètres prescrits ont été appliqués ;
- L'épaisseur de paroi prescrite a été respectée pour les canalisations en plastique ;
- La profondeur est conforme aux exigences ;

- Les raccords prescrits ont été posés au niveau des raccordements ;
- Les raccordements et raccordements d'attente ont été correctement posés ;
- Les raccordements et raccordements d'attente sont en bon état ;
- Les valeurs mesurées (canalisations déplacées, déplacement axial, déplacement radial et déviations angulaires ou bien une combinaison de ceux-ci) restent dans les écarts autorisés selon la norme du fabricant ;
- La longueur de la canalisation est conforme aux exigences ;
- La canalisation a été posée selon l'inclinaison¹¹ prescrite ;
- La longueur des éléments de la canalisation est conforme aux exigences ;
- La longueur des éléments de regard est conforme aux exigences ;
- Le regard est correctement constitué ;
- Le dispositif d'accès prescrit est présent dans le regard ;
- Le couvercle du regard est satisfaisant ;
- Les canalisations sont correctement raccordées au regard ;
- La canalisation ou le regard présente des défauts de fabrication ;
- Les éléments du tuyau ou du regard ont été endommagés lors de l'assemblage ;
- La canalisation ou le regard ne présente aucun obstacle ni dépôt ;
- La canalisation ou le regard est étanche (aucune infiltration, exfiltration ou entrée de terre).

Sur la base des manquements observés et selon les sanctions prévues dans le cahier des charges en vigueur, le gestionnaire peut refuser d'approuver et de réceptionner la canalisation.

5.3.2. Fin de la période de garantie

Un autre objectif de l'investigation visuelle peut être, à la fin de la période de garantie, de vérifier si la canalisation satisfait encore aux exigences susmentionnées et si elle ne présente pas de défauts susceptibles de nuire à sa durée de vie.

Lors d'un contrôle de ce type, il faut accorder une attention particulière aux éventuels tassements et problèmes d'étanchéité qui ont pu se produire entre la pose de la canalisation et la fin de la période de garantie. Les raccordements qui ont été réalisés après la réception doivent satisfaire aux mêmes exigences.

La canalisation à inspecter doit être préalablement nettoyée.

5.3.3. Investigation de routine de l'état de la canalisation

Il s'agit d'une investigation visuelle détaillée, telle que décrite aux points 5.3.1 et 5.3.2, mais sur une canalisation existante. Il s'agit ici d'une canalisation déjà en service et déjà réceptionnée.

Ce n'est pas la même chose qu'une nouvelle canalisation qui a déjà été mise en service avant d'être réceptionnée.

Dans des conditions normales, un égout ne permettant pas le passage d'une personne devrait être soumis à une investigation de routine de ce type au moins tous les dix ans, et plus fréquemment encore

¹¹ Rapport entre les projections verticales et horizontales d'une section de la conduite.

dans les environnements sensibles (zones de captage d'eau potable ou zones protégées). Par défaut, chaque joint est inspecté et mesuré en cas de raccordement déplacé.

Dans sa demande, le gestionnaire doit mentionner s'il souhaite qu'il en soit autrement de manière à pouvoir en tenir compte dans l'offre. Le contrôle et la mesure des joints est en effet un travail intense et chronophage. L'objectif n'est alors plus une investigation de routine et doit être enregistré au point 5.3.11 « Autres ».

5.3.4. Suspicion d'un problème structurel

L'investigation visuelle peut aussi s'avérer utile lorsqu'on suspecte des problèmes structurels sur la base d'indicateurs externes (affaissements, canalisations percées, inondations locales, exfiltration, infiltration ou entrée de sable) ou de plaintes des riverains concernant un mauvais fonctionnement local ou des nuisances olfactives.

5.3.5. Suspicion d'un problème opérationnel

L'investigation visuelle permet également de rechercher les causes de problèmes opérationnels (accumulation de saletés, obstacles, clapets bloqués¹²), le plus souvent consécutivement à des plaintes des riverains concernant un mauvais fonctionnement local (eau sur la route, refoulement, etc.) ou des nuisances olfactives.

5.3.6. Suspicion d'un problème d'infiltration

Lorsqu'on suspecte une infiltration d'eau de drainage ou de la nappe phréatique, une investigation visuelle peut permettre de détecter l'endroit de l'infiltration. La suspicion est généralement déjà en partie confirmée par le fait qu'une trop grande quantité d'eau claire s'écoule en aval dans une conduite d'égouttage des eaux usées. Un affaissement de la rue au niveau du collecteur ou d'un raccordement au collecteur principal ou un avaloir mal raccordé qui s'est affaissé peuvent également être révélateurs de problèmes d'infiltration.

5.3.7. Contrôle final après rénovation ou réparation

Pour la réception d'une rénovation¹³ ou d'une réparation¹⁴, une investigation visuelle de l'égout est effectuée et toutes les observations relatives à la section rénovée ou réparée sont consignées en détail. Une attention particulière est accordée au raccordement précis à la paroi existante, à l'étanchéité, aux éventuel(le)s inégalités ou renflements.

¹² Clapets anti-retours bloqués, conduites d'étranglement bouchées, régulateurs de débits bouchés, etc.

¹³ Toutes les mesures visant à rétablir ou à améliorer le fonctionnement du système d'assainissement extérieur existant

¹⁴ Réparation des dégradations locales

5.3.8. Transfert de propriété

Lors d'un transfert de propriété (généralement entre un propriétaire privé¹⁵ et un gestionnaire du système d'égouttage), une investigation visuelle est réalisée afin de déterminer l'état de la conduite et de vérifier qu'elle satisfait aux exigences posées (voir 5.3.1 et 5.3.2).

5.3.9. Plans d'investissement

Les plans d'investissement aussi peuvent donner lieu à une investigation visuelle, qui a pour but d'obtenir rapidement un aperçu général du fonctionnement de la conduite et des défauts éventuels. Ces données permettent d'évaluer l'état général et de prévoir des investissements futurs. Pour une estimation plus précise, une investigation de routine doit être réalisée aux endroits où d'importants défauts ont été observés.

5.3.10. Étude par échantillon

Une investigation visuelle permet de déterminer où un échantillon a été prélevé, afin de garantir une identification correcte de l'échantillon.

Une investigation visuelle de certaines parties de conduites peut constituer une deuxième application. Les parties inspectées sont considérées comme des échantillons. Les résultats peuvent être extrapolés, afin d'évaluer l'état de tronçons équivalents dans le réseau.

5.3.11. Autres

Tous les autres objectifs non décrits dans les 10 objectifs formulés dans la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011). Il s'agit par exemple d'une « investigation de routine » qui s'écarte de la norme, comme le fait de ne pas examiner les raccords de joint.

5.4. Conditions ambiantes

5.4.1. Perturbation du trafic

La perturbation du trafic lors d'une investigation visuelle des égouts est souvent inévitable. La plupart des points d'accès au collecteur se trouvent généralement sur la chaussée. Une bonne préparation à une investigation visuelle des égouts passe par une vérification des environs, en particulier de la situation de la circulation. La perturbation attendue du trafic peut être estimée dans un premier temps par une visite sur site ou par la consultation d'informations actualisées fournies par le gestionnaire routier. Le moment auquel l'investigation visuelle des égouts a lieu peut être d'une grande importance. Ainsi, certains environnements, comme ceux situés à l'intérieur et aux abords d'écoles, de magasins, de petites et grandes entreprises requièrent une attention particulière. Les gens font souvent preuve d'impatience et d'incompréhension en cas de travaux d'entretien nécessaires qui perturbent le trafic. La règle d'or est de toujours rester aimable et calme et éventuellement d'expliquer (certainement en cas de blocage total) la durée des perturbations. Parfois, quand c'est possible, il est préférable d'interdire temporairement l'accès à la circulation dans un sens ou dans les deux sens, en concertation

¹⁵ Un propriétaire privé peut être une commune qui confie la gestion du réseau à une intercommunale, ou bien un lotisseur qui transfère une conduite à un gestionnaire.

avec le gestionnaire routier. Informer les riverains au préalable peut éviter bien des malentendus et des mécontentements. Une signalisation correcte des chantiers permet d'éviter des accidents. Les documents suivants donnent une meilleure idée des dispositions légales applicables aux chantiers routiers ou, dans le cas présent, aux chantiers mobiles :

- «Signalisatie van werken en verkeersbelemmeringen op de openbare weg - Dossier Constructiv 106» (Brems et al., 2005)
- «Arrêté Ministériel relatif à la signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique [M.B. 21.05.1999]» (Ministère des transports et de l'infrastructure, 1999)
- «Service Public De Wallonie (SPW) – Arrêté du Gouvernement wallon du 16/12/2020 relatif à la signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique» (Service Public de Wallonie [SPW], 2021)

5.4.2. Influence de la température ambiante

De grandes différences de température entre la température au-dessus et en dessous du niveau du sol peuvent avoir une incidence sur la formation de buée sur la lentille de la caméra. Si la température de la tête de caméra est inférieure à la température ambiante de l'égout, l'objectif se couvre de buée. Un phénomène très gênant, qui oblige l'opérateur à attendre que la buée disparaisse. Aujourd'hui, les classes de température d'une caméra pour l'investigation visuelle des égouts sont moins élevées qu'auparavant, ce qui est en partie dû à l'utilisation d'un éclairage LED. L'heure de la journée et le type d'égout jouent également un rôle. En hiver, la différence de température est de toute façon plus importante. Le matin, dans une canalisation d'évacuation des eaux usées, dans un environnement urbain comportant de nombreux immeubles d'habitation, la température de l'eau sera plus élevée (en raison des douches, entre autres), ce qui entraînera une formation de buée encore plus importante sur l'objectif. Il faut alors plus de temps à la tête de la caméra pour s'adapter à la température ambiante avant que la buée ne s'évapore. Certains fabricants ont tenu compte de ces éléments lors de la construction du studio mobile. L'installation d'une buse reliée au chauffage du véhicule permet de réchauffer la tête de la caméra pendant le trajet jusqu'au chantier. Par conséquent, la tête de la caméra est plus chaude que la température ambiante du collecteur et la lentille de la caméra ne se couvre pas de buée. Par temps froid, il faut réduire au maximum le temps que l'appareil passe au-dessus du sol sans être chauffé. Si rien n'y fait, une ventilation forcée peut être mise en place. Depuis la surface, de l'air est ensuite insufflé dans le regard de visite où l'investigation visuelle commence, sous pression, par un ventilateur, et ce dans le sens de l'investigation visuelle. L'air chaud saturé d'humidité est expulsé par le regard de visite suivant qui a été ouvert préalablement. La formation de buée sur la lentille et le brouillard éventuel disparaissent.



Figure 13 - Visibilité limitée en raison de la vapeur d'eau (source : CRR)



Figure 14 - Evolution de la résolution des images (source : CRR)

5.4.3. Influence du niveau de la nappe

Ce point est particulièrement important pour le maître d'ouvrage/gestionnaire du système d'égouttage.

A l'exception d'un contrôle lors d'une nouvelle construction (si le puits filtrant fonctionne toujours), il est conseillé de connaître le niveau de la nappe phréatique tout au long de l'année. Si une investigation visuelle est effectuée vers la fin du mois de septembre, lorsque le niveau de la nappe est le plus bas, les fuites enregistrées seront nettement moins nombreuses ou moins graves que celles enregistrées à la fin du mois de mars, lorsque le niveau de la nappe est le plus élevé. Ainsi, si une fuite ou une ancienne fuite est visible, il est utile de savoir à quelle période l'investigation visuelle a été réalisée afin de prendre en compte une éventuelle aggravation en fonction du niveau de la nappe phréatique.

L'expert qui enregistre la fuite ne fait que consigner ce qu'il observe visuellement au moment de l'investigation visuelle. Il ne tient pas compte du niveau de la nappe phréatique.

5.4.4. État de l'objet de l'investigation

L'affirmation « Le nettoyage des égouts représente un coût important, si ce coût peut être économisé, davantage d'investigations peuvent être effectuées »¹⁶ ne s'applique qu'à un faible pourcentage d'un système d'égouttage. Il est un fait qu'un égout est censé être « entretenu » si l'on veut garantir son fonctionnement hydraulique. En fonction de l'état structurel, si un égout n'est pas nettoyé avant l'investigation visuelle, il est possible que les aspects liés à l'état ou les défauts ne soient pas visibles et donc pas enregistrés. Les données dérivées d'éléments d'égouttage¹⁷ non nettoyés ne sont pas utilisables pour déterminer la durée de vie résiduelle. La plupart des défauts structurels n'ont pas été examinés de manière suffisamment détaillée, ce qui s'explique, d'une part, par l'état de l'égout, la technique d'investigation appliquée et les exigences relatives au degré de détail de l'enregistrement des aspects liés à l'état. Il n'est pas possible de prendre des mesures conséquentes et réfléchies en se basant sur des soupçons. Si les dégradations structurelles ne sont pas traitées à temps, elles peuvent

¹⁶ Constatation du secteur en général, en raison du manque de budget

¹⁷ Éléments d'égouttage : tronçons, puits, autres nœuds, canaux d'infiltration, conduites, puits d'infiltration, colonnes d'infiltration et autres éléments liés à l'eau (drainage).

également endommager les infrastructures environnantes, selon leur nature. Les affaissements et les dolines en sont un exemple. Il convient d'éviter de telles situations, car les inconvénients pour les riverains et les coûts économiques importants qui en découlent ne sont pas légitimes.

Un élément d'égouttage est prêt pour une investigation visuelle s'il a été nettoyé et qu'il n'y a pas d'écoulement d'eau ; si un écoulement d'eau est inévitable, il ne doit jamais dépasser 5 % à la réception ou 10 % pour des conduites.

5.4.5. Investigation visuelle d'un égout non nettoyé

Si, malgré les recommandations au point précédent, on choisit de soumettre des éléments d'égouttage non nettoyés à une investigation visuelle, on peut recourir à un nombre limité de techniques. La plus connue est la technique dite « du zoom », selon laquelle l'investigation visuelle des égouts est effectuée de manière statique à partir du regard de visite, les données étant échangées conformément au fichier d'échange « simplifié » BEFDSS-S. Il existe évidemment d'autres techniques pour l'investigation visuelle d'égouts non nettoyés, voire très sales. Elles sont reprises dans la partie « Techniques innovantes ». On obtient assez peu de données à partir d'une investigation visuelle d'éléments d'égouttage non nettoyés, comme indiqué au point précédent. Les données seront enregistrées et toujours échangées conformément au BEFDSS - annexe I.

Plusieurs dispositifs innovants peuvent être déployés dans le cadre de l'investigation visuelle de canalisations non nettoyées. L'accessibilité de la canalisation joue un rôle important à cet égard. Dans la plupart des cas, c'est une question de diamètre. Si, comme précédemment, on considère un état normal où plus de 50 % de la hauteur de la coupe transversale n'est pas occupée par des obstacles, des dépôts attachés ou décantés, on peut recourir à des techniques innovantes. Toutefois, il convient de tenir compte d'un diamètre minimal spécifique à la technique et au dispositif utilisé. Par exemple, un radeau a besoin d'un certain niveau d'eau et d'un certain débit pour se déplacer dans l'égout. D'autres techniques, comme les robots à tarière, peuvent flotter, naviguer ou se déplacer de manière autonome dans la boue ou les dépôts sédimentaires.

Les conditions dans lesquelles l'investigation visuelle des égouts est réalisée peuvent varier considérablement. « L'accessibilité » peut être entravée par :

- L'ouverture libre de l'accès à l'égout (trou accessible à l'homme) ;
- Le diamètre du nœud de départ et du nœud d'arrivée ;
- L'implantation des nœuds de départ et d'arrivée ;
- L'accessibilité des nœuds de départ et d'arrivée ;
- Le diamètre de la conduite ;
- L'état de l'écoulement :
 - % accumulation de saletés ;
 - % dépôts adhérents ;
 - % niveau d'eau ;
 - Des infiltrations importantes ;
 - La vitesse d'écoulement de l'eau ;
 - D'autres obstacles :
 - Des raccordements pénétrants ;

- Des affaissements ;
- Un effondrement local ;
- La taille du dispositif ;
- La capacité de déploiement du dispositif (capacités techniques).



Figure 15 - Photo stationnaire ; dépôt sédimentaire > 80 % (source : CRR)



Figure 16 – Photo stationnaire ; dépôt décanté + formation d'une croûte > 25 % (source : CRR)

L'aspect sécurité est très important lors de l'investigation visuelle d'un système non nettoyé. C'est dans les systèmes qui n'ont pas été nettoyés que le risque d'explosion est le plus grand. Il est important de n'utiliser à ces endroits que des dispositifs répondant aux exigences de sécurité définies par la directive ATEX 114, 2014. Il est de toute façon important d'aérer suffisamment en ouvrant en toute sécurité les couvercles de regard des tronçons adjacents. Lors d'une investigation visuelle des regards, on peut mesurer en permanence des gaz, ce qui permet de garantir en permanence la sécurité. L'investigation visuelle des conduites où un appareil se déplace dans l'égout nécessite une analyse plus approfondie. Les résultats de cette analyse indiqueront le niveau de risque et les mesures à prendre pour le réduire à un minimum. Dans la plupart des cas, il faudra au moins une mesure constante du gaz et une surveillance constante de cette mesure. En cas d'alerte, le dispositif devra automatiquement être débranché de l'alimentation électrique à partir du studio mobile.

L'investigation visuelle d'un système très pollué présente l'avantage d'économiser le coût du nettoyage, qui peut vite être élevé. Bien qu'un égout soit conçu pour évacuer l'eau en fonction d'un débit calculé, un entretien périodique est nécessaire pour garantir les propriétés hydrauliques. Si l'on déroge à cette règle, les risques que l'eau atteigne la rue augmentent considérablement. Ce n'est donc pas seulement l'état structurel qui importe dans la gestion des actifs, mais également l'état des eaux de ruissellement. En raison des problèmes de ruissellement, il n'est pas judicieux de procéder à une investigation visuelle périodique à l'aide de techniques innovantes dans les égouts très pollués. L'objectif est d'abord d'établir l'état structurel de l'égout non nettoyé, éventuellement à l'aide de technologies non visuelles supplémentaires telles que le radar, les ultrasons, le lidar, l'infrarouge, etc. Et ensuite, si l'état structurel le permet, dégager la canalisation fortement polluée afin de rétablir l'état de l'écoulement. Ensuite, la canalisation est intégrée au programme d'entretien régulier et fait l'objet d'une « investigation de routine ».

6. Equipement

Pour l'investigation visuelle des conduites selon la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011), le marché offre une gamme complète. En fonction de l'objectif de l'investigation, on peut utiliser un type particulier (voir annexe I). Il est nécessaire d'enregistrer les numéros de série des équipements utilisés au niveau du tronçon. Pour ce faire, on peut utiliser le logiciel de codage, les numéros de série sont notés dans le champ « *Equipment_Serial_Numbers* » prévu à cet effet du code ABI () ou CBI (« *Inspectors job reference* ») selon le cas. La traçabilité du dispositif est importante à la fois pour le maître d'ouvrage et pour le laboratoire ou l'entreprise qui réalise l'investigation visuelle :

- Le maître d'ouvrage peut vérifier si le dispositif utilisé répond aux exigences et si le laboratoire ou l'entreprise qui réalise l'investigation visuelle est accrédité(e) pour la gamme de diamètres et le type d'investigation visuelle prévus.
- En cas de défaillance du dispositif, le laboratoire ou l'entreprise qui procède à l'investigation visuelle peut vérifier l'endroit où l'équipement a été déployé et, le cas échéant, prendre les mesures nécessaires pour remédier au problème.

6.1. Systèmes pour l'investigation visuelle des égouts

6.1.1. Techniques classiques d'investigation visuelle des égouts

Pour l'investigation visuelle des égouts, la qualité d'image du système de caméra est très importante. L'investigation visuelle des égouts est basée sur le principe « *What you see is what you get* ». En d'autres termes, la combinaison d'une caméra appropriée, d'un éclairage approprié et d'un opérateur expérimenté permet d'obtenir les meilleurs résultats. La méthode d'investigation et la technique utilisée permettent aussi de déterminer les exigences en matière de qualité d'image.

La qualité d'image s'est considérablement améliorée au cours des dernières décennies et il est désormais possible d'obtenir des images en 4K. Là où le bât blesse, c'est pour la taille des fichiers images. La qualité des images actuelles de la caméra en HD-ready à HD, combinée à l'autofocus et à l'éclairage Power LED, est très bonne. Les nouveaux systèmes 3D sont équipés d'une résolution 4K, ce qui se traduit notamment par une résolution d'écran plus grande, une gamme de couleurs plus étendue, plus de détails dans les zones sombres et des blancs plus lumineux.

Les systèmes d'investigation visuelle des égouts les plus couramment utilisés aujourd'hui ont considérablement évolué ces 20 dernières années, la plupart des marques travaillant aujourd'hui avec des systèmes modulaires. Les robots modernes sont adaptables, ce qui permet d'examiner des diamètres plus grands (> 1 500 mm). Une investigation visuelle des égouts de qualité n'est possible que si l'égout a été nettoyé. Si les collecteurs n'ont pas été nettoyés, il est compliqué de les examiner à l'aide d'une technique classique d'investigation visuelle. En raison de leur poids, de leurs pneus et de leur instabilité dans les grands diamètres, les caméras mobiles classiques ne sont pas conçues pour se déplacer dans les égouts hautement pollués.

Les collecteurs accessibles à l'homme peuvent être soumis à une investigation visuelle par une personne munie d'une caméra portable. Le câble normalement attaché au robot est maintenant attaché à l'expert en sous-sol, le compteur de distance compte en fonction de la progression. Une mesure correcte de la distance nécessite une tension correcte du câble pour les enregistrements.

L'expert en sous-sol est en contact permanent avec l'expert en surface grâce à un système d'interphone intégré. Il donne des instructions pour que les images claires et les photographies soient enregistrées correctement et dans les meilleures conditions, ainsi que les aspects liés à l'état. Des règles de sécurité supplémentaires s'appliquent ici et doivent être respectées à la lettre ; la présence d'une troisième personne est nécessaire. Pour des raisons de sécurité et de santé, ces investigations visuelles ne devraient être effectuées que lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser un robot. De telles investigations visuelles demandent évidemment plus de travail et sont beaucoup plus onéreuses puisqu'elles nécessitent la présence de deux experts et d'un assistant.



Figure 17 - Studio mobile IBAK (source: IBAK)



Figure 18 - Studio mobile RAUSCH (source : RAUSCH)



Figure 19 - Studio mobile IPEK (source: IPEK)

Les progiciels sont modulaires et s'adaptent aux nouvelles tendances afin que toutes les données soient rapidement disponibles en cas de besoin. Le maître d'ouvrage/entrepreneur/gestionnaire du système d'égouttage peut consulter les photos et les résultats de manière interactive dans le « Cloud » presque immédiatement après la fin de l'investigation visuelle d'un élément d'égout. Il est également possible d'établir un lien avec une application GIS. En principe, cela permet de suivre la progression de

l'investigation visuelle presque en temps réel. Dès qu'un tronçon a été inspecté, il est coloré dans le système GIS dans le « Cloud », le maître d'ouvrage peut maintenant cliquer sur le tronçon et avoir immédiatement une vue sur les aspects liés à l'état qui ont été observés. Il convient de noter que seules les données approuvées par le laboratoire ou l'entreprise qui effectue l'investigation visuelle sont valables, les données mises à disposition étant plutôt provisoires.

6.1.2. Techniques innovantes – Investigation visuelle des égouts

L'innovation assure l'intégration des technologies de pointe dans de nouveaux domaines. Cela demande du courage, du temps et des investissements. Le marché doit être ouvert à l'innovation pour que les investissements soient rentables à long terme. Le secteur de l'assainissement a longtemps été assez conservateur. Certaines techniques existent depuis longtemps, comme la numérisation 3D des conduites et des regards, mais elles n'ont guère été utilisées jusqu'à présent. Aujourd'hui, les applications GIS et l'échange de données sont proposés via des applications Cloud. Sur le terrain également, de nombreuses applications sont testées et préparées pour le marché. Pour pouvoir accéder au marché, la technique innovante doit au moins proposer une qualité similaire aux techniques autorisées aujourd'hui. La sécurité est un élément primordial, toutes les techniques de recherche doivent s'y conformer, y compris les techniques innovantes. Des dispositifs dotés d'entraînements spéciaux, de chenilles, de vérins, d'hélices, de coussins d'air (hovercrafts), etc. sont commercialisés pour être déployés dans les conditions les plus « difficiles » (systèmes d'égouttage fortement pollués, non nettoyés et non vidés). Néanmoins, il convient de garder à l'esprit que c'est souvent à ces endroits que le risque de formation de gaz explosifs est le plus élevé, et que les dispositifs doivent être conçus en conséquence (voir également point 5.4.5).

Si une technique innovante permet d'obtenir un résultat aussi bon qu'une technique traditionnelle et peut être économiquement avantageuse, son intégration peut être assez rapide.

Si les conditions dans lesquelles se trouve l'objet à inspecter visuellement ne permettent pas l'utilisation d'une technique classique, une technique innovante peut apporter une solution. Le côté innovant sur lequel on se focalise peut-être très varié :

- Techniques relatives au déplacement dans l'élément d'égouttage
- Techniques de traitement d'images
- Techniques non visuelles et non destructives
- Intelligence artificielle

6.1.2.1. Techniques relatives au déplacement dans l'élément d'égouttage

1) Structures flottantes

Les structures flottantes permettent à une caméra robotisée classique de réaliser une investigation visuelle sur l'eau. La structure consiste généralement en deux cylindres creux reliés entre eux par une structure légère (généralement en aluminium) sur laquelle est monté le robot classique sans roues. La structure est adaptée au poids de la caméra. Une bonne répartition du poids assure un bon équilibre. En fonction du courant, des mesures supplémentaires contribueront à une bonne stabilité. D'une part, la structure est reliée par le câble classique du système à enrouleur du boîtier de la caméra ou de l'unité mobile et, d'autre part, par un câblage supplémentaire sur lequel une plus grande force peut

être exercée pour récupérer le radeau avec la caméra à contre-courant. Il est important de choisir un type de câble qui rencontre peu de résistance du courant et qui soit flottant. Par conséquent, elle ne se coincera pas facilement entre les objets situés sur le fond (par exemple, branches, pierres, etc.). Selon la situation, il est possible de débrancher la caméra à l’extrémité, de sorte qu'il suffit de tirer le câble vers l’arrière.



Figure 20 - Rovion-Float-Top-300x300 (structure flottante) (source : IPEK)



Figure 21 - Structure flottante avec caméra robotisée (source : IPEK)

2) Drones

Dans le monde de l’assainissement, les drones peuvent être déployés dans les endroits où les risques sanitaires pour l’homme sont élevés, pour autant que les règles de sécurité soient respectées. Ainsi, ils peuvent être utilisés dans des halls d’usine, des silos, des caves de pompage et à bien d’autres endroits. Les drones déployés aux endroits susmentionnés et dans les égouts sont généralement équipés d’une cage dans laquelle le drone est pour ainsi dire « emprisonné ». Ainsi, les hélices du drone n’entrent jamais en contact avec la paroi de l’égout ou tout autre obstacle, ce qui réduit les risques de chute. La durée de vol maximale du type de drone déployé dans les égouts est assez limitée. Le pilote doit en tenir compte, c'est un facteur de stress supplémentaire pour lui. Pour les longs tronçons, les gros diamètres ou les investigations visuelles où de nombreux aspects liés à l'état sont présents, il se peut que le temps de vol soit trop court pour effectuer l'investigation du tronçon en une seule fois. Il faut reprendre l'investigation visuelle des égouts après avoir rechargé ou remplacé le bloc-batterie. Une connexion sans fil entre le drone et l'opérateur est nécessaire.

Le déploiement de drones dans un réseau d’égouttage qui n'a pas été nettoyé présente un certain nombre de risques pour la sécurité (voir également point 5.4.5). Plus le diamètre est petit, plus le risque est grand. Le pilote devra se concentrer beaucoup plus dans un petit espace, la pression ascendante qui maintient le drone en l’air est plus facilement perturbée dans un petit espace, ce qui peut rendre le drone instable. Les conditions ambiantes dans un système d’égouttage non nettoyé peuvent également poser un problème. Ainsi, des raccordements pénétrants peuvent obstruer le passage. Un dépôt adhérant qui ne tient que très peu à la paroi peut se détacher et être aspiré par les hélices, ce qui pourrait déstabiliser le drone. La lentille de la caméra peut être salie par des

éclaboussures ou des entrées d'eau. En résumé, le pilote du drone doit être très attentif à toutes les situations précitées. Il doit également garder un œil sur les aspects liés à l'état. Si ceux-ci sont visibles, il peut orienter la caméra vers eux. Dans des conditions difficiles, il n'est pas possible de piloter le drone au-dessus et en dessous des obstacles tout en gardant un œil sur l'égout ; dans ce cas, le pilote du drone contrôlera uniquement le drone et non la caméra. Un « expert en investigation visuelle des égouts », équipé d'une seconde « télécommande », peut faire fonctionner la caméra et visualiser simultanément les images en direct. L'expert guidera en quelque sorte le pilote et l'obligera à s'arrêter si nécessaire. De cette manière, tout est correctement visualisé, ce qui permet un codage correct de l'aspect lié à l'état, immédiatement ou a posteriori. La qualité d'image des caméras qui forment un seul et même système avec le drone est généralement très bonne. Si la caméra est fixée sous le drone en tant que charge utile interchangeable, il est possible de déployer différentes caméras avec des spécifications personnalisées. Comme pour la plupart des caméras, l'éclairage est essentiel. Le fabricant doit indiquer de quel système de mesure le drone est équipé et comment il doit être utilisé. Un drone étant connecté sans fil, il n'a pas besoin de retourner au regard initial, il peut poursuivre son vol d'un regard à l'autre à partir de la chambre de visite suivante¹⁸. Pour qu'un drone se déplace sans problème dans une conduite souterraine, il convient d'assurer la communication nécessaire pour le contrôle et le flux de données vers et depuis le drone. Selon les circonstances, le drone sera commandé depuis la surface. Des mesures appropriées seront nécessaires pour assurer la communication dans le cas susmentionné.

Un nuage de points en surface peut être relié à un nuage de points souterrain de la conduite et du regard. Des mesures peuvent alors être effectuées en 3D avec une précision qui dépend de la résolution.

Qualité d'image : la qualité d'image dépend de la marque et du type ; HD étant une exigence minimale. Les appareils professionnels ont une qualité d'image HD, Full-HD ou 4K ; la qualité d'image augmente avec le temps. La tête de la caméra doit être de type rotative et inclinable, afin de pouvoir déplacer la lentille de la caméra dans une zone à partir d'une position stabilisée du drone. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'éclairage, généralement réglable, est très important. Il doit être adapté au diamètre, sinon le drone devra en quelque sorte scanner la paroi, ce qui n'est pas faisable dans la pratique.

Les images 3D en 4K offriraient davantage de possibilités. Le drone vole ensuite de regard en regard, les aspects liés à l'état sont codés et mesurés a posteriori (investigation visuelle indirecte) par un expert. Cela permettrait au drone de couvrir une plus grande distance avec la même capacité de batterie.

¹⁸ S'ils sont accessibles depuis la surface



Figure 22 - Investigation visuelle du conduit par drone (source : Medexon)



Figures 23 & 24 - Equipement de drone avec communication Medexon (source : CRR)



3) Drones sous-marins - submersibles

Dans certaines situations, il peut être judicieux de procéder à une investigation visuelle sous l'eau. Le risque que l'eau soit sale ou que des saletés ou de la boue se mélangent à l'eau lorsque le submersible se déplace est bien réel. Les drones sous-marins sont généralement équipés d'un sonar¹⁹ qui permet de détecter tous les objets et toutes les formes. La plupart des submersibles ne sont pas adaptés pour opérer dans les égouts, car ils ont besoin d'espace sous la surface de l'eau pour se déplacer. L'opérateur communique avec le sous-marin au moyen d'un câble relié à une « télécommande ». Le câble sert de moyen de communication et de ligne de vie, permettant de récupérer le drone en cas de dysfonctionnement. Comme pour un drone volant (voir point précédent), une deuxième « télécommande » peut être utilisée si nécessaire pour contrôler la caméra afin d'obtenir un résultat optimal. Les appareils sont conçus pour être déployés à une profondeur maximale spécifiée par le fabricant, l'étanchéité de l'appareil étant garantie jusqu'à cette profondeur. Comme pour toutes les techniques d'investigation visuelle des égouts, l'éclairage est très important, il doit fournir une dispersion suffisante et être réglable. Il doit être adapté à l'objectif de l'étude. Dans certains cas, un éclairage supplémentaire sera nécessaire.

La qualité d'image dépend de la marque et du type, HD étant une exigence minimale. Les appareils professionnels ont une qualité d'image HD, Full-HD ou 4K ; ici aussi, la qualité d'image augmente avec le temps. La tête de la caméra doit être de type rotative et inclinable, afin de pouvoir déplacer la lentille de la caméra dans une zone à partir d'une position stabilisée du drone. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'éclairage, généralement réglable, est très important. L'éclairage doit être adapté à l'objet à examiner. Le degré de turbidité de l'eau limite la visibilité lors d'une investigation visuelle. L'appareil est équipé d'un certain nombre de techniques qui permettent d'enregistrer des aspects liés à l'état qui ne sont pas détectables visuellement ou dans des zones où la visibilité est limitée. Ces techniques permettent de détecter les objets. Le submersible/drone sous-marin peut ensuite se déplacer vers l'objet pour obtenir la meilleure visualisation possible. Les lasers permettent de mesurer des objets.

19 Sound navigation and ranging, l'utilisation du son pour mesurer la distance par rapport aux objets.



Figure 25 - Deep Tracker Revolution (source: ROV NAV)



Figure 26 - Revolution monitor et commande (source : ROV NAV_Deep Tracker)

4) Bateau sonar avec scanner laser 3D

Cette application est principalement utilisée pour étudier des sections canalisées de cours d'eau ou de grands collecteurs. L'avantage de cette application est la combinaison des images de la caméra avec un scanner laser 3D et, sous la surface de l'eau, avec un sonar. Le résultat final, ce sont des images vidéo qui peuvent être reliées à une coupe transversale locale. D'une part, une ligne laser projetée est filmée sur la paroi du conduit ou du tuyau ; d'autre part, un sonar placé sous la surface de l'eau détermine la coupe transversale. Toutes ces données donnent une coupe transversale de l'ensemble. Cela permet, entre autres, de déduire la sévérité de la corrosion et/ou des dépôts décantés et/ou adhérents. Un logiciel peut être utilisé pour déterminer l'épaisseur résiduelle de la paroi et/ou la quantité de dépôt. Le logiciel peut visualiser toutes les données ensemble et les rendre consultables interactivement.



Figure 27 - Bateau sonar avec scanner laser 3D (source : Vandervalk-Degroot)

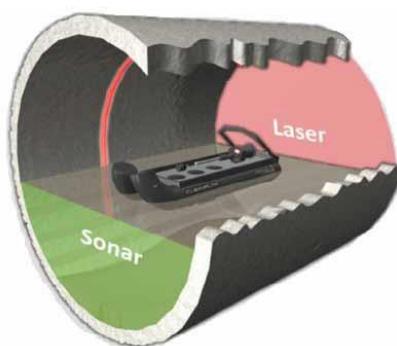


Figure 28 - Bateau sonar de principe avec laser scanner 3D et Sonar (source : Vandervalk-Degroot)

5) Caméras robotisées à hélice

Ces systèmes de caméras sont généralement similaires aux systèmes classiques (caméras avec fonction rotation et inclinaison). Le système est composé d'une tête de caméra montée sur un robot. Les deux extrémités du corps du robot sont reliées à deux cylindres creux et denses en forme de vis sans fin. La propulsion est assurée par des moteurs électriques intégrés à chacune des vis sans fin. L'appareil peut

flotter, les vis sans fin en rotation assurant la propulsion. Le pilotage se fait en augmentant ou en diminuant la vitesse de rotation entre les deux vis sans fin. Si l'on inverse le sens de rotation des vis sans fin, l'appareil peut également se déplacer transversalement et tourner sur place. L'appareil convient parfaitement aux conditions environnementales qui peuvent varier considérablement : sable, boue, terre, pierres et tout cela en alternance avec de l'eau.



Figure 29 - China-Sewer-Waste-Water-Pipe-Catvs-Combined-Sonar-Lidar-Multi-Sensor-Steerable-Inspection-Video-Crawler-Camera (source: Easysight.en.made-in-china.com)



Figure 30 - Systèmes d'entraînement pour toute une variété de terrains difficiles d'accès (source : Copperstone-Technologies)

6) Caméras robotisées montées sur un châssis flottant motorisé ou non :

- La distance peut être enregistrée en déroulant le câblage ou le câble de fixation²⁰.
- Les caméras robotisées sont équipées d'un éclairage approprié et sont dotées d'un zoom optique, capable d'agrandir 5x au moins.
- La caméra est montée sur un « gimbal »²¹ pour permettre une vision à angle droit par rapport à la paroi.
- Le châssis flottant doit pouvoir rester stable même en présence de courants relativement forts, de sorte qu'une capture d'image stable reste possible même dans ces conditions.
- Les châssis motorisés présentent le grand avantage de pouvoir ajuster la trajectoire, ce qui est très appréciable pour éviter les obstacles qui pourraient perturber le déroulement de l'investigation.

7) Têtes de nettoyage avec caméra intégrée

Les têtes de nettoyage de conduites équipées d'une caméra peuvent capturer des images dans le sens axial pendant le nettoyage. Grâce à la position de la tête de nettoyage par rapport à la tête de la caméra, cette dernière est relativement peu affectée par les éclaboussures d'eau. Grâce à la qualité

20 Un câble tether est un câble de connexion entre le robot et l'opérateur qui alimente le robot en courant et assure la transmission des données

21 Un gimbal est un support rotatif qui permet de faire pivoter la caméra autour de ses axes x et y.

d'image disponible aujourd'hui, ces images permettent de déduire l'état général. Il est également possible de déterminer immédiatement si l'égout a été correctement nettoyé partout. Tous les types de tête de nettoyage ne sont pas disponibles avec un tel système de caméra.



Figure 31 – Tête de nettoyage avec caméra intégrée (source : Sewer Robotics)



Figure 32 – Image en direct – Têtes de nettoyage avec caméra intégrée (source : Sewer Robotics)

8) Pipe pigging (piston racleur)

Un « *pig* » (*pipeline inspection gauge*) est un outil flexible que l'on pousse dans la canalisation à l'aide d'un fluide particulier. Le diamètre extérieur d'un piston est plus grand que le diamètre intérieur de la conduite, ce qui est important pour faire passer le piston. Le « *pipe pigging* » n'est pas une technique récente : elle existe depuis plus de 100 ans, mais elle est rarement utilisée pour l'investigation visuelle des égouts. Le piston racleur est utilisé dans plusieurs applications :

- a) Pour le nettoyage des canalisations : en cas de pollution importante, des racleurs de différents diamètres sont déployés de manière séquentielle pour éliminer progressivement la saleté. Pour les croûtes, on peut utiliser des pistons en acier entourés de poils d'acier. Dans l'industrie chimique, les pistons sont utilisés pour réduire considérablement le volume des déchets lors du nettoyage.



Figure 33 – Piston de nettoyage (source : Vecom)



Figure 34 - Piston avec poils en acier (source : T.D. Williamson)

- b) Pour la vidange d'une canalisation : lorsque la canalisation doit être vidée complètement, par exemple en cas d'affaissement ou de contre-pente, le « piston » peut vider la canalisation grâce à son « surdimensionnement ».
- c) Pour l'investigation des canalisations : les « pistons » peuvent être rendus intelligents par l'intégration d'équipements tels qu'une caméra, généralement statique. Il est également possible d'attacher plusieurs « pistons » ensemble avec des accessoires entre eux pour déterminer l'épaisseur et l'état de la paroi. Cette technologie convient vraiment bien au contrôle de conduites sous pression.



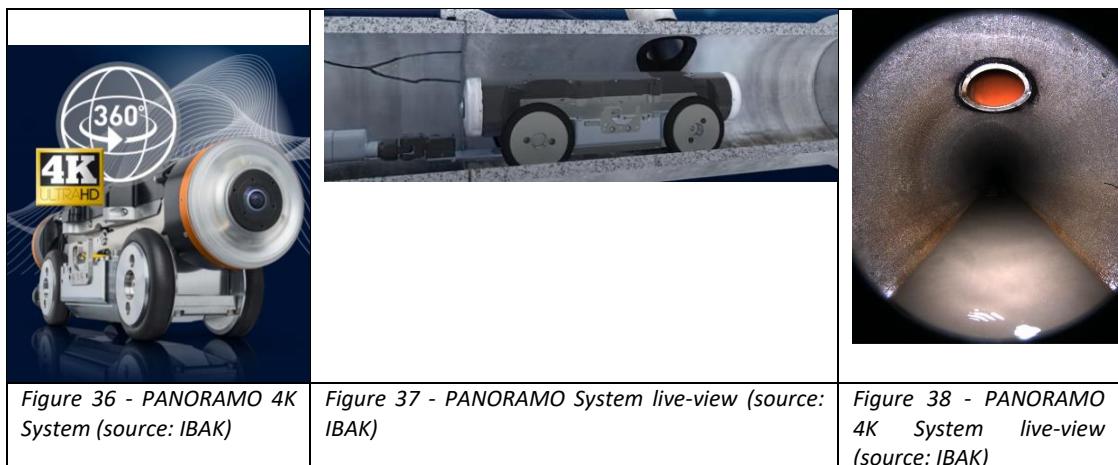
Figure 35 – Piston intelligent avec caméra et capteurs (source : Science Examinateur)

6.1.2.2. Techniques de traitement d'images

1) Scanner d'images 3D pour l'investigation visuelle de la canalisation

Il existe plusieurs types de scanner d'images 3D, le plus connu étant le Panoramo System© d'IBAK. Ce scanner d'images 3D possède deux objectifs œil-de-poisson opposés à 185° en sens inverse. C'est l'un des moyens de réaliser des captures d'images numériques en 3D. La caméra avance du nœud 1 au nœud 2, le scanning d'images 3D est réalisé lorsque la caméra revient du nœud 2 au nœud 1, en général sans s'arrêter. Cette technique existe depuis des années et est proposée par défaut avec le logiciel, mais elle est rarement utilisée aujourd'hui. L'évaluation des images se fait après l'investigation visuelle et peut être faite dans le véhicule par un second expert en investigation visuelle ou plus tard au bureau. Le scanner d'images 3D est un appareil dont la 2^e génération est déjà disponible aujourd'hui. La dernière génération peut enregistrer des images en résolution 4K. Il existe des caméras pour l'investigation visuelle des regards et des canalisations. Avec une vitesse d'environ 0,35 m/s, la progression de l'enregistrement est rapide pour des conduites. Lors de l'investigation visuelle des regards, 3 minutes suffisent entre le positionnement du véhicule et le départ vers le regard suivant ; cette rapidité d'exécution permet de réduire à un minimum les nuisances pour le trafic. Les films 3D combinés au logiciel qui les accompagne (pour encoder les aspects liés à l'état) présentent l'avantage que les images sont visualisées à la fois en 3D et en 2D. Le système permet de prendre des mesures sur la paroi. Par exemple, une conduite peut pour ainsi dire être coupée à la position horaire 12h ou 6h, puis déroulée dans une vue en 2D. Il est ainsi facile de constater au changement de largeur de la cunette, s'il s'agit d'un affaissement ou d'une contre-pente. Les raccordements et les ouvertures des emboîtements peuvent être mesurés. Les obstructions, les joints ouverts, les stagnations d'eau et les défauts structurels sont visibles au premier coup d'œil. On peut aussi regarder par derrière, pour ainsi dire, ce qui communique des informations supplémentaires sur certains aspects liés à l'état. Les « nuages de points » permettent d'effectuer des mesures supplémentaires, ce qui apporte une valeur ajoutée. Le cas échéant, il est possible d'enregistrer à l'arrêt, ce qui permet, par exemple, de visualiser de petites infiltrations. Ces systèmes permettent de visualiser les aspects liés à l'état de différentes manières en même temps, ce qui facilite le codage. L'utilisation de codages continus peut être utilisée et ajustée de manière cohérente. Quelques points importants doivent être pris en compte. Pour favoriser une répartition uniforme de la lumière lors de l'investigation de la canalisation et éviter une éventuelle distorsion de l'image au niveau des joints et des emboîtements, il est important que la lentille de la caméra soit placée au centre de la coupe transversale de la canalisation (comme dans les investigations visuelles classiques des égouts). Lors de l'investigation visuelle du regard, il est

souhaitable que l'accès à partir duquel la caméra est abaissée perpendiculairement se trouve approximativement au centre du regard. De cette manière, la répartition de la lumière est la même partout, ce qui évite les zones sombres ou surexposées. Le scanning 3D d'un regard commence au point le plus bas (juste au-dessus de l'écoulement ou du fond du regard) et s'arrête à la surface. Cela permet d'obtenir une image du dispositif de couverture et de l'environnement dans lequel il est intégré. La lumière directe et vive du soleil peut entraîner une surexposition, ce qui peut être évité en installant dans ces situations un écran solaire en surface (de la forme d'un tipi). Les dispositifs sont Eex²² et peuvent être déployés sans mesures supplémentaires. Les produits conformes aux exigences de la Directive ATEX 114 sont reconnaissables à un signe supplémentaire en combinaison avec le marquage CE.



2) Scanner 3D pour l'investigation visuelle du regard

²² La Directive ATEX 1142014 (et précédemment la directive ATEX 95, 1999) précise les normes auxquelles doivent répondre les équipements et les produits utilisés dans les environnements présentant des risques d'explosion.



Figure 39 - PANORAMO-SI System (source : IBAK)



Figure 40 - Représentation schématique PANORAMO-SI System (source : IBAK)



Figure 41 - PANORAMO - SI 4K Système mobile (source : IBAK)

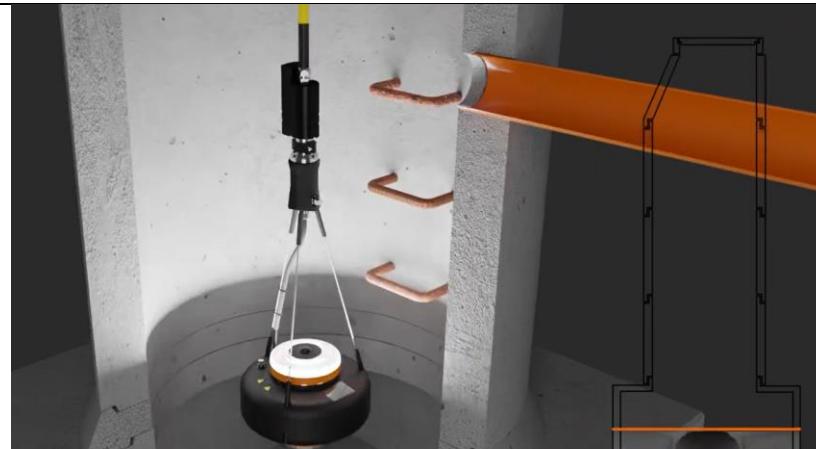


Figure 42 - PANORAMO-SI 4K System-live view (source: IBAK)

Le scanner permet de générer un modèle 3D du regard ou de la conduite. Avec les scanners 3D, il est souhaitable que le scanner soit abaissé dans l'axe du regard. Les sections de regard ou de conduite, ainsi que les conduites de raccordement, peuvent être mesurées. Lors de la prise simultanée d'images (pour l'investigation visuelle) sur lesquelles les mesures doivent être effectuées, il convient d'abaisser la caméra (qui ne fait souvent qu'un avec le scanner) le long de l'axe du regard (comme au point 1 précédent). Pour effectuer des investigations visuelles des égouts conformément à la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011), un scanning 3D ne suffit pas. Le scanning n'est pas suffisamment détaillé pour visualiser tous les aspects liés à l'état et donc les estimer correctement. Par conséquent, des images vidéo sont générées pendant le scanning par un système de caméras multiples. La profondeur du regard à scanner est déterminée à l'aide d'un laser à distance. Un lien avec les images permet d'effectuer des mesures sur les images à l'aide du scan. Là encore, la densité du nuage de points détermine la précision. Ces appareils ne sont pas protégés contre les explosions et ne sont donc pas couverts par un certificat ATEX 114 (Directive ATEX 114, 2014). Dans ce cas, une mesure continue des conditions ambiantes sera nécessaire pour garantir la sécurité. Ces scanners ont l'avantage de pouvoir être utilisés de manière autonome et sont donc très mobiles.



Figure 43 - 3D-Cleverscan - Dispositif (source : Sewervision)



Figure 44 - "3D-Cleverscan" - Image déployée (source : Sewervision)

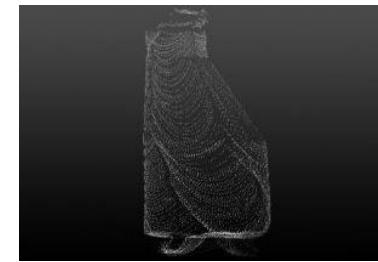


Figure 45 - "3D-Cleverscan" Nuage de points (source : Sewervision)



Figure 46 - Dispositif Sewer Mapper (source : Sewermapper)

6.1.3. Techniques innovantes – Techniques non visuelles, non destructives

1) 3D-GeoSense

Ce système permet de représenter les conduites latérales dans une visionneuse 3D dans leurs positions relatives. Cela est possible grâce à un gyroscope intégré à la tête de la caméra qui enregistre ses mouvements. Avec les données de la conduite principale, un plan interactif détaillé peut être créé avec la possibilité de rappeler des photos et des images animées de l'aspect lié à l'état sélectionné ou du tronçon en question.

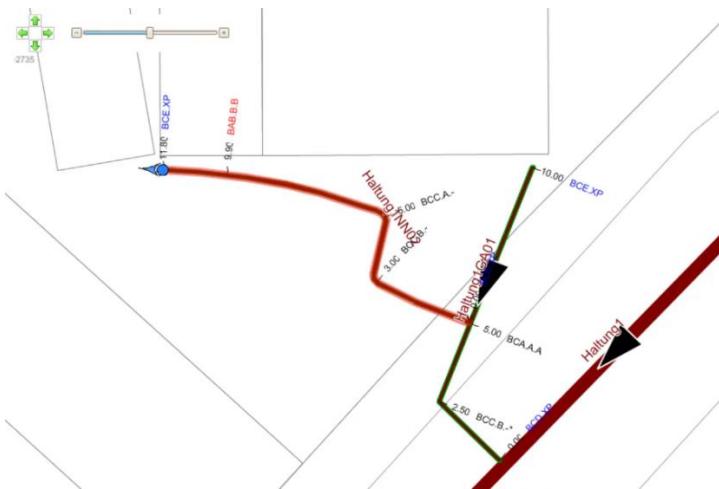


Figure 47 - IKAS EVOLUTION_3D-Geosense (source : IBAK)

2) Analyse du profil

Ces techniques permettent d'obtenir une image du profil de la conduite. Les déformations peuvent être mesurées avec précision. Il est important de vérifier comment les différents systèmes gèrent les changements de diamètre en effectuant des mesures dans les ouvertures des emboîtements, de même que dans les branchements. L'opérateur ou la personne qui traite les données doit s'assurer que ces mesures erronées sont « coupées ». Le logiciel apporte en général une solution à ce problème. Il existe aujourd'hui plusieurs techniques permettant d'obtenir une image du profil de la conduite :

2.1. Projection d'un anneau laser

Grâce à une projection laser, le logiciel peut comparer le profil réel au profil prévu. De cette manière, il est possible de mesurer à la fois la déformation des conduites thermoplastiques et la détérioration des conduites en béton p. ex.

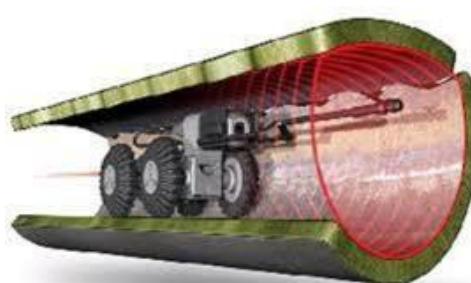


Figure 48 - Profilier (source : Envirosoft)

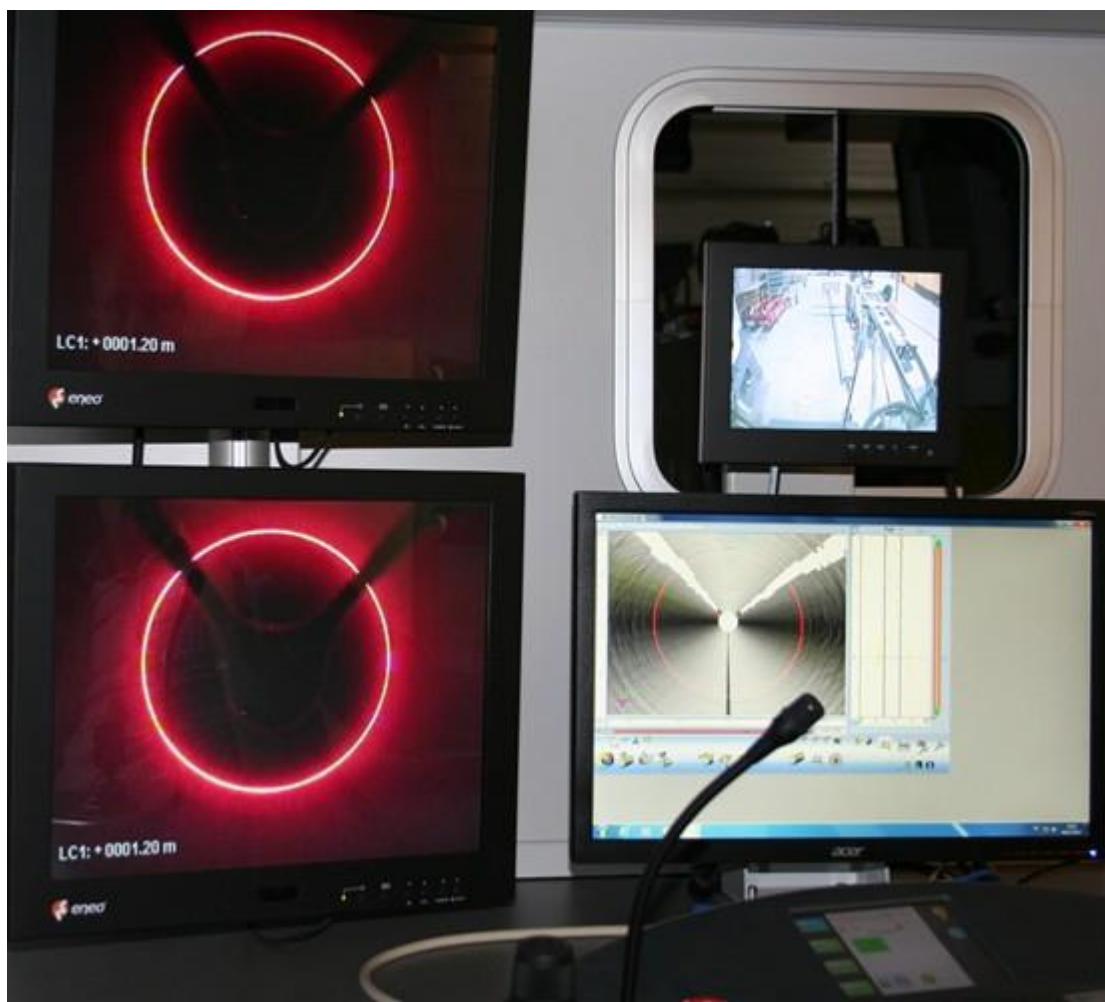


Figure 49 - Profilier Enregistrement et traitement vidéo (source : CRR)

2.2. Scanning laser :

Deux points laser sont projetés par la tête de la caméra sur la paroi du tuyau lorsque la tête tourne dans le sens radial et que la caméra avance dans le sens axial. Le post-traitement logiciel des images permet d'obtenir un profil de la conduite, de mesurer les déformations et les détériorations. Pour ce type de mesure, il est important de respecter les directives du fabricant, en particulier la vitesse de déplacement du robot.



Figure 50 - Scanning laser (source: IBAK)

2.3. Sonar :

Les signaux sonar (impulsions sonores) permettent de mesurer la distance entre la paroi du Dossier-16 Qualité des réseaux d’égouttage Partie 1 Investigation visuelle des égouts Rév.1 v2 20250326

tuyau et le capteur sonar. Une mesure pratiquement constante permet de mesurer le profil du tuyau dans ces trajectoires linéaires. Pour les détails localisés, la tête peut tourner sur son axe dans le sens radial afin de mesurer toute la circonférence. On peut fixer comme exigence minimale qu’au moins 8 capteurs soient répartis uniformément sur la circonférence de la tête.



Figure 51 - Sonar (source : I.T.D.V.)

3) Investigation à l'aide du sonar à partir du regard :

Le sonar actif émet des ondes sonores d'une certaine fréquence et les capte en retour. Il est possible de déterminer à l'aide d'un logiciel la distance qui sépare un objet de la source acoustique. Décomposer les ondes sonores (amplitude) permet d'obtenir davantage d'informations. Certains systèmes comparent ces informations à l'aide d'un logiciel avec une base de données connues. Cela permet notamment de reconnaître les assemblages, les déviations et les obstructions dans la conduite concernée et de les représenter dans un graphique.

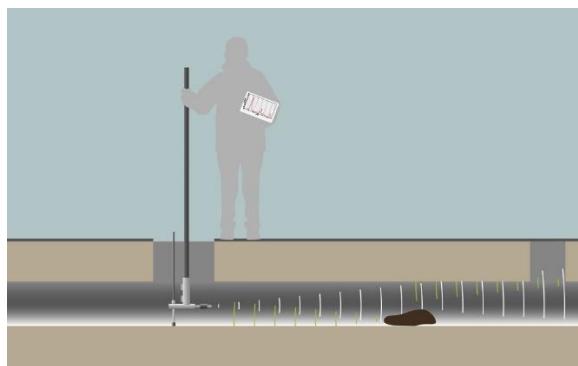


Figure 52 - Sewerbatt Schéma de principe (source : C4Sewer)

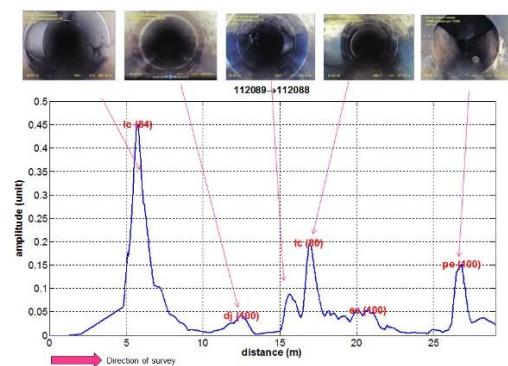


Figure 53 - Sewerbatt Graphique avec photos correspondantes (source : C4Sewer)

4) Systèmes de détection de gaz

La détection de gaz dans les conduites peut fournir des informations précieuses. Dans le cas de déversements illégaux, la concentration de gaz peut permettre de délimiter une zone particulière dans laquelle le déversement a eu lieu. La détection de gaz tels que les gaz d'acide sulfurique peut prévenir la détérioration et des mesures préventives peuvent être prises pour réduire ou éviter les concentrations. Les systèmes de détection de gaz peuvent être utilisés de manière autonome ou être intégrés à d'autres dispositifs qui pénètrent dans le réseau d'égouttage.

5) Mesure DTS (Distributed Temperature Sensing)

Les systèmes séparés ont pour but d'évacuer séparément les eaux de pluie et les eaux usées. Lorsqu'il y a un signe que de l'eau sale est connectée à une conduite d'eau de pluie quelque part, ce n'est pas toujours facile à détecter. La mesure DTS fonctionne à l'aide d'impulsions laser optiques envoyées par un câble à fibres optiques. Les différences de température peuvent être détectées à partir de la durée mesurée de l'impulsion lumineuse réfléchie. Tout d'abord, le câble à fibres optiques est introduit dans les tronçons d'égouts à examiner. Le câble reste plus longtemps dans le « flux du tuyau ». Pour qu'un mauvais déversement soit détecté, il doit avoir lieu pendant la mesure. La mesure se déroule sur une période relativement longue qui, selon le résultat, peut durer de quelques jours à une semaine. Le câble est relié à l'équipement de mesure qui traite les données. La différence de température avec la distance et le temps correspondants est enregistrée. Résultat : le mauvais raccordement a été localisé. Important : une trop grande quantité d'eau dans le tuyau affectera négativement les différences de température, ce qui perturbera la mesure. Dans certains cas, il est nécessaire d'arrêter ou de détourner temporairement le flux d'eau dans le collecteur principal.

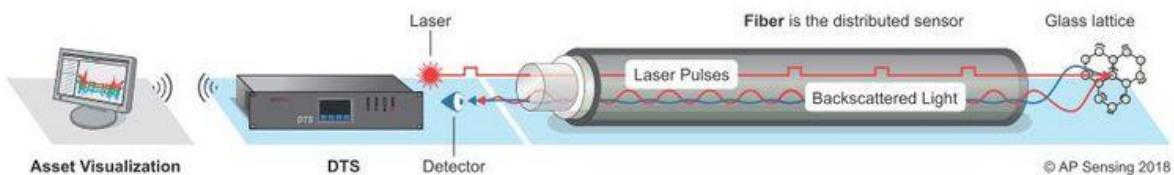


Figure 54 - Représentation schématique d'une mesure DTS (source : AP Sensing)

6.1.3.1. Intelligence Artificielle

Aujourd'hui, l'IA²³ est intégrée dans plusieurs domaines où la reconnaissance d'images est utilisée. Dans le secteur de l'égouttage, il existe aujourd'hui des applications qui permettent à l'expert d'être assisté lors de l'investigation visuelle. Ainsi, les accès et les raccords, ainsi que d'autres aspects liés à l'état peuvent être reconnus et mesurés. L'opérateur n'a plus qu'à confirmer ou à adapter la proposition. Aujourd'hui, nous n'en sommes pas encore au stade où de telles applications sont capables de remplacer l'expert. En dehors du phénomène de l'IA, il est vrai que certains aspects liés à l'état peuvent être reconnus assez facilement. D'autre part, selon l'état dans lequel le système se trouve, le matériau et l'état de propreté, il peut être plus difficile de reconnaître et de coder correctement les aspects liés à l'état. Le "Deep Learning" et ses "algorithmes Deep Learning" rendent les systèmes de plus en plus intelligents. En entraînant des algorithmes d'apprentissage automatique sur des ensembles de données existants, l'IA peut reconnaître automatiquement les défauts. La qualité des enregistrements sera en moyenne bien meilleure puisqu'il n'y aura plus d'erreur humaine.

Le post-traitement par l'IA des images en mouvement prises avec des caméras panoramiques et inclinables classiques est limité. L'IA ne peut en effet évaluer que les images que l'opérateur a enregistrées. L'utilisation des techniques 3D permet d'éliminer cette limitation et tous les aspects liés

23 L'Artificial Intelligence (ou intelligence artificielle) est la capacité d'une machine à présenter des aptitudes semblables à celles de l'homme, telles que le raisonnement, l'apprentissage, la planification et la créativité. (Qu'est-ce que l'intelligence artificielle, 2021)

à l'état peuvent encore être évalués par la suite. Les systèmes d'IA sont capables de détecter des modèles et des anomalies dans les données visuelles qui peuvent ne pas être immédiatement visibles pour des inspecteurs humains. Cela garantit une plus grande précision et une détection plus rapide des problèmes.

L'IA n'est pas encore capable de fournir des systèmes nouvellement construits. Les mesures doivent être traitées a posteriori avec une précision suffisante et les paramètres des mesures sont différents pour chaque installation, ce qui signifie que les mesures doivent être prises pendant l'investigation visuelle.

Aujourd'hui, les cas pour lesquels un doute subsiste et les aspects liés à l'état qui ne sont pas évalués sont examinés par un œil humain entraîné. Cette interaction rendra le programme d'IA plus efficace et, après un certain temps, une investigation visuelle pourra être effectuée automatiquement pour certaines applications. Une plus grande uniformité entre les différents États membres européens est nécessaire pour annoncer cette nouvelle ère.



Figure 55 - Artificial Intelligence (source : IBAK)

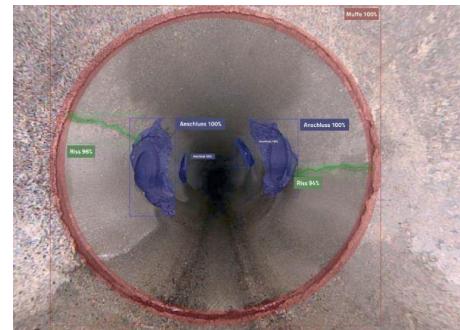


Figure 91 - Artificial Intelligence (source : IBAK)

6.1.3.2. MEVOSGROW

Methodiek voor het economisch verantwoord opsporen van structurele gebreken van riolering onder wegenis (ou Méthodologie de détection économiquement responsable des défauts structurels des égouts sous la voirie)

La presse relaie régulièrement que des routes sont fermées en raison de graves affaissements ; la cause est généralement due à de graves défauts structurels au niveau des égouts. Un affaissement se marque souvent longtemps à l'avance dans le revêtement. En principe, tous les égouts devraient faire l'objet d'une investigation visuelle périodique afin de procéder à l'entretien et/ou à la réparation si nécessaire. Dans de nombreux cas, le réseau d'égouttage n'est pas encore (complètement) cartographié. Cette méthode constitue également une première étape dans la cartographie du réseau d'égouttage.

Lors de la pose d'un nouveau système d'égouttage, une investigation visuelle est réalisée avant la réception ; après 10 ans, il y a la réception définitive (fin de la période de garantie) après laquelle un contrôle périodique tous les cinq ans serait souhaitable. Dans un premier temps, le contrôle périodique peut être effectué à l'aide d'une technique moins coûteuse, par exemple une investigation stationnaire

(caméra à zoom). Lorsque des problèmes structurels graves se présentent dans le réseau d'égouttage ou les impétrants (infiltration, exfiltration, entrée de terre, etc.), ils sont dans de nombreux cas mesurables depuis la surface, parfois visuellement et/ou sous forme d'affaissement. Il s'agit d'intervenir le plus vite possible pour réduire les coûts économiques importants.

Habituellement, les moyens financiers ne sont pas suffisants pour assumer un entretien adéquat. Lorsque l'état du système d'assainissement est inconnu ou insuffisamment connu, il est important de pouvoir intervenir à temps lorsque des problèmes se manifestent.

Le CRR a développé une méthodologie qui lui permet de cartographier l'affaissement et l'évolution de cet affaissement. Si les résultats le démontrent, il est nécessaire de procéder à des investigations plus spécifiques.

Principe :

L'équipement nécessaire existe déjà ; en combinant et en ciblant l'utilisation de l'équipement, le coût de l'essai peut être réduit. L'objectif est de scanner la trajectoire au-dessus du réseau de conduites.

Le scanning est effectué à l'aide d'un profilomètre pour pistes cyclables qui enregistre le profil longitudinal. En suivant l'itinéraire, l'opérateur indique chaque fois quand il passe un dispositif de couverture du réseau d'égouttage. Le profilomètre pour pistes cyclables est équipé par défaut d'un système GPS.

En équipant le profilomètre pour pistes cyclables d'une caméra (de type Imajbox), il est possible de réaliser un film de la trajectoire en même temps que le scanning du profil longitudinal. Lors du traitement des données, il est ainsi possible de vérifier visuellement si un changement soudain dans le profil suggère un lien de causalité avec les impétrants sous-jacents.

Si les images vidéo combinées au profil longitudinal mesuré ont permis de déterminer qu'il pourrait y avoir un problème structurel au niveau des impétrants, une investigation ciblée supplémentaire est nécessaire. S'il apparaît que le tampon s'est clairement affaissé dans la chaussée (une marque dans la surface de la chaussée est clairement visible), le regard doit être inspecté. Cette investigation visuelle peut être réalisée à l'aide d'une technique classique ou, de préférence, à l'aide d'un scanner 3D (en raison de ses fonctionnalités de mesure et de sa rapidité d'exécution).

Si les résultats de l'investigation visuelle du regard indiquent qu'un affaissement a pu se produire dans la conduite, il convient également d'examiner cette dernière.

L'utilisation ciblée des techniques susmentionnées permet de maintenir l'investigation à un coût moins élevé (également parce que le profilomètre pour pistes cyclables et l'Imajbox peuvent être utilisés en même temps par une seule et même personne).



Figure 57 - Profilomètre pour pistes cyclables avec équipement (source : CRR)



Figure 58 - Imajbox (source : CRR)

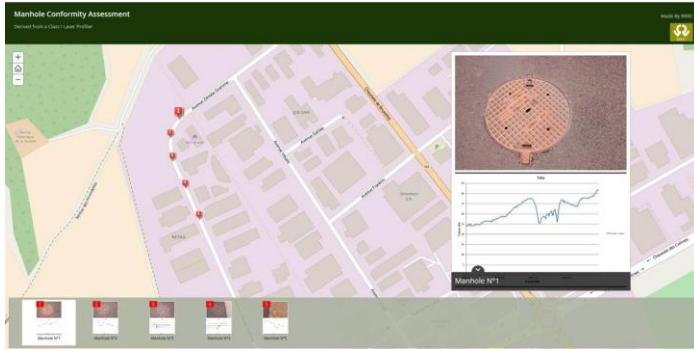


Figure 59 - Cartographie (source : CRR)

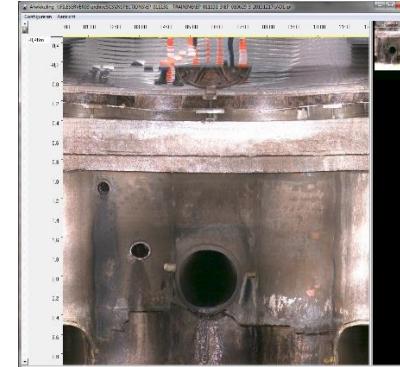


Figure 60 - Dégradation du regard (source : CRR)

Pour des informations détaillées, voir annexe VII : « **MEVOSGROW** »

7. Investigation visuelle de la canalisation

7.1. Généralités

Par défaut, l'investigation visuelle commence au début de la conduite. Il y a deux possibilités : soit la conduite est « entrante » dans l'avaloir, le regard ou la chambre de visite, soit elle se raccorde au raccord préfabriqué dans lequel une étanchéité est encastrée. En ce qui concerne les nouveaux égouts, chaque raccordement à un regard, des parties de tuyaux entre elles et une conduite latérale se fait toujours avec un joint flexible qui garantit l'étanchéité.

Il est primordial de visualiser toute la surface de la conduite, y compris le premier joint entre la conduite et le regard. Les conditions dans lesquelles se déroule l'investigation visuelle peuvent jouer un rôle dans la difficulté à visualiser ce joint, en particulier dans le cas de conduites non accessibles à l'homme. Néanmoins, il faut veiller à visualiser la totalité de la paroi de la conduite inspectée.

7.2. Conduites inaccessibles à l'homme

7.2.1. Distance de départ et position de la lentille de la caméra

L'investigation visuelle de la canalisation commence au niveau du « point de référence de l'emplacement dans le sens longitudinal ». Ce point a été fixé dans la norme NBN B 34-001 (NBN, 2015A) où, dans le code ABC, les sous-codes étaient limités par défaut à :

- A : La face intérieure de la paroi du nœud de départ (regard, chambre de visite ou dispositif d'inspection)
- B : L'extrémité du tuyau dans le nœud de départ (regard, chambre de visite ou dispositif d'inspection) où la conduite pénètre dans le regard (au-delà de la paroi intérieure du regard de visite, de la chambre de visite ou dispositif d'inspection)

Les autres sous-codes (C, D et Z) sont considérés comme optionnels.

La conduite doit être entièrement examinée, sachant que le premier et le dernier joint sont les plus susceptibles d'être déplacés. A la connexion d'un regard, une correction de la direction de la conduite est souvent effectuée. Cela peut se manifester par un assemblage déplacé ; il est donc important de le visualiser. La visualisation du premier mètre d'une conduite est parfois difficile à réaliser dans la pratique. Cela peut être dû à plusieurs raisons, par exemple la cunette du regard contient un coude, ce qui fait que la tête de la caméra est déjà dans le tuyau ; ou le tuyau qui arrive dans le regard est plus haut que la cunette du regard (regard à chute), ce qui fait que la caméra mobile/le dispositif doit être placé(e) dans la conduite dans son intégralité, tout en flottant sur le câble de levage. Afin d'éviter d'avoir une image incomplète de la canalisation dans les cas ci-dessus, l'enregistrement doit être lancé avant que la caméra ne soit placée dans la canalisation.

Dans ces conditions difficiles, il est également possible d'obtenir une image correcte du premier joint et du premier mètre de paroi du tuyau. C'est possible en insérant le dispositif avec la caméra étape par étape :

- a) D'abord, dérouler suffisamment de câble.
- b) Régler le compteur sur 0 m.
- c) Démarrer l'enregistrement avant d'insérer la caméra dans la conduite.
- d) Insérer la caméra le plus doucement et le plus souplement possible. Si cela n'aboutit pas, ce n'est pas si grave, tant que la paroi du tuyau et le premier joint sont visibles, même s'il y a un mouvement d'oscillation.
- e) Continuer ensuite à rouler au moins jusqu'au point de référence.
 - Si des aspects liés à l'état doivent être enregistrés avant que la distance de référence ne soit atteinte (par exemple, un raccordement, un assemblage déplacé, un obstacle, etc.) :
 - La distance doit ensuite être déterminée par l'estimation la plus précise possible, ce qui peut se faire de plusieurs manières :
 - À quelle distance dans le tuyau la caméra se trouve-t-elle ? La longueur de la caméra avec le robot doit être connue. Schéma par caméra ?
 - Longueur restante par rapport au point de référence ?

- Enregistrement de la distance susmentionnée dans le système afin qu'elle soit affichée à l'écran, et ce, avant l'enregistrement de l'aspect lié à l'état.
- L'enregistrement est lancé et l'aspect lié à l'état est enregistré avec la distance correcte.
- Enregistrer les aspects liés à l'état (si d'application) jusqu'à ce que le point (f) soit atteint.

f) Aligner le point central de la lentille de la caméra sur l'axe de la conduite :

- En plaçant l'élévateur électromécanique sur le robot dans la bonne position ;
- Ou ne rien faire du tout si la configuration de la caméra convient déjà (par exemple, par des roues personnalisées, ou préglées avec un élévateur mécanique). Mettre en pause l'enregistrement des images à l'endroit où la marque du point de référence fixé est située sur le raccord de joint regard-canalisation.
- Placer le guide-câble

g) Mettre le câble sous tension sans que la caméra robotisée ne bouge vers l'avant ou vers l'arrière.

h) Reprendre dans le système la distance de référence comme distance.

i) Redémarrer l'enregistrement des images et poursuivre l'investigation visuelle.

Note :

- Il est important de respecter l'ordre exact pour que la distance de référence soit correctement reprise.
- En fonction de la construction du robot et de la gamme de diamètres, la distance de référence peut être fortement affectée par la hauteur de l'objectif (centre de la section transversale = centre de l'objectif). Pour certains systèmes de caméras, la distance de référence peut varier de plus de 0,2 m entre la position la plus basse et la plus haute de l'objectif. Dans les images ci-dessous (voir les lignes rouges), la différence pour le type de robot-caméra représenté est de 0,07 m.



Figure 92 : La position la plus basse du pantographe
(source : CRR)

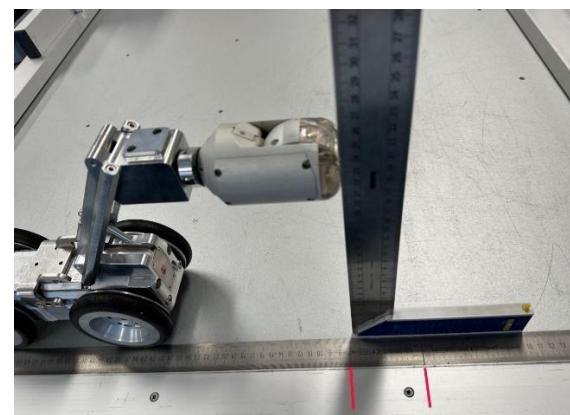


Figure 93 : La position la plus haute du pantographe
(source : CRR)

Les étapes susmentionnées (a - i) ne s'appliquent qu'au regard où se trouve le véhicule avec le système de caméra, en particulier les premiers tronçons qui partent de cet endroit.

Dans tous les tronçons suivants, le début de l'investigation (compteur à 0 m) est enregistré, le centre de la lentille correspondant au point d'intersection de la paroi du regard à la position 12h (ABC-A) ou à l'extrémité du tuyau s'il rentre dans le regard (ABC-B). Le réglage du zéro au départ et la distance à l'arrivée sont toujours fixés à l'aide d'un câble tendu. Sur la représentation schématique de la position de la caméra mobile par rapport au regard et à la conduite, vous pouvez voir la tête de la caméra orientée à 90° vers le haut. L'intersection avec la paroi du regard se trouve maintenant au centre de l'image (cas ABC-A).

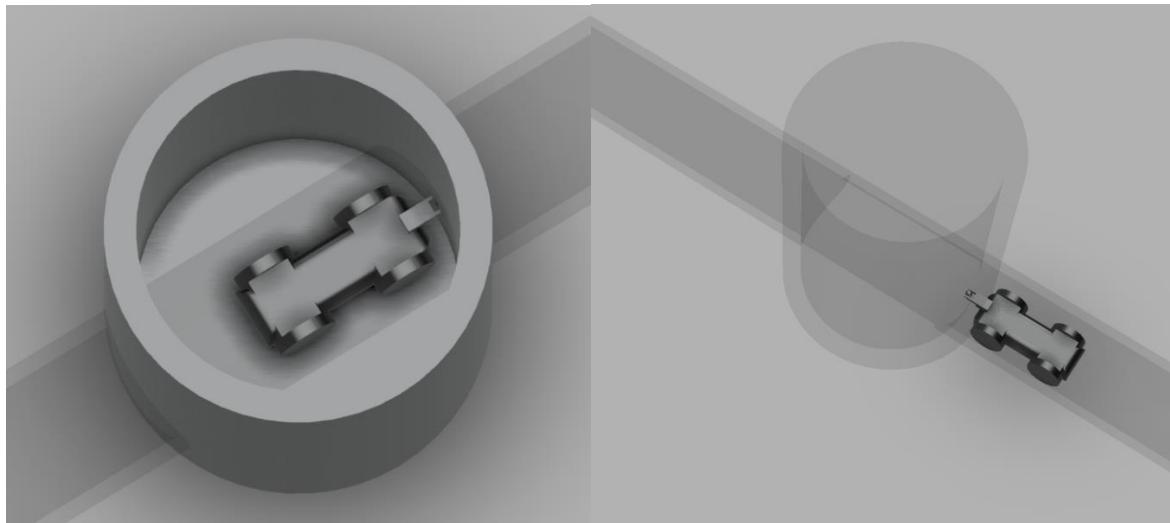


Figure 61 - ABC-A (début de l'investigation visuelle) (source : CRR) Figure 62 - ABC-A (fin de l'investigation visuelle) (source : CRR)

Important :

Pour évaluer correctement les aspects liés à l'état, il est nécessaire que le centre de la lentille de la caméra soit situé au centre de la coupe transversale de la conduite. Lorsque ce n'est pas le cas, cela a un impact négatif sur l'investigation visuelle, notamment en raison de l'illusion d'optique :

- La distance de la lentille par rapport à l'assemblage varie dans le sens radial sur toute la circonférence. En d'autres termes, à l'endroit où la lentille est la plus proche du joint, celui-ci apparaîtra plus large qu'à l'endroit où elle est la plus éloignée du joint. Plus la lentille s'écarte du centre de la coupe transversale de la canalisation, plus l'effet visuel négatif est important. Il devient alors très difficile pour l'opérateur d'estimer la largeur du joint, ce qui compromet l'enregistrement correct des assemblages déplacés. Selon le système de mesure, dans le cas d'une mesure optique sans points laser de référence, l'écart sera beaucoup trop grand.
- Il y a également un effet visuel négatif lorsque la lentille de la caméra regarde dans la direction axiale (parallèle à l'axe de la conduite). Toutes les mesures basées sur un rapport exprimé en pourcentage de la hauteur de la section transversale de la conduite présentent alors des écarts inacceptables. Il s'agit notamment des déplacements radiaux, des angles entre les axes des tuyaux, des aspects liés à l'écoulement, des niveaux d'eau, de la mesure des fissures/cassures.

La configuration de la caméra doit permettre de positionner correctement le centre de la lentille. Dans le cas d'une caméra montée sur un tracteur, cela peut se faire en réglant les roues et/ou la hauteur de

l’élévateur. En théorie, l’axe de la lentille de la caméra en position neutre devrait former une seule ligne avec l’axe de la section du tuyau dans laquelle la caméra mobile a été placée. Les données de validation indiqueront dans quelle plage de diamètre la caméra peut être déployée dans une configuration bien spécifique. Si l’alignement de la lentille est correct, c'est-à-dire si son axe est parallèle à l’axe du tuyau dans la direction axiale et se trouve à la même hauteur, les deux axes forment une seule ligne. Lorsque la caméra mobile, avec la caméra en position neutre, se déplace dans le tuyau, le joint au-dessus et en dessous disparaît de l’image en même temps. Il est important, pour que les mesures soient correctes, que la ligne axiale de la tête de caméra en position neutre forme une ligne parallèle au plan sur lequel la caméra robotisée a été placée.



Figure 63 - Lentille de caméra positionnée correctement ; en position neutre, le joint apparaît centré en bas et en haut de l'image (source : CRR)

Figure 64 - Lentille de caméra mal positionnée ; en position neutre, le joint en dessous et au-dessus n'apparaît pas centré dans l'image (source : CRR)

7.2.2. Vitesse de mouvement et de rotation

Les vitesses peuvent varier considérablement en fonction de la technique d’investigation utilisée. Lors d’une investigation par caméra où le codage a lieu pendant l’investigation (investigation visuelle directe), la vitesse permet à l’expert de reconnaître les aspects liés à l’état. Lorsque les aspects liés à l’état sont codés directement pendant le déplacement de la caméra mobile/de l’appareil dans la conduite, la vitesse de déplacement ne doit pas dépasser 0,2 m/s. Pour obtenir une image correcte et complète de la paroi du tuyau, la lentille de la caméra doit se trouver dans la direction axiale avant de continuer à se déplacer. Dans tous les autres cas, la caméra mobile/l’appareil est arrêté(e) pour cadrer et représenter correctement chaque aspect lié à l’état.

L’objectif doit toujours être de visualiser les aspects liés à l’état de manière à ce que le gestionnaire du système d’égouttage ou la personne chargée d’élaborer les mesures appropriées (réparation, rénovation partielle ou rénovation) dispose d’images suffisamment détaillées pour prendre sa décision.

Dans les techniques d’investigation où la conduite est scannée, telles que les techniques d’imagerie 3D et les scanners laser 3D, il convient de respecter à la lettre les directives du fabricant en ce qui concerne

la vitesse de progression. En l'absence de cette information, la vitesse de déplacement du dispositif sera enregistrée en fonction de la qualité d'image et des données disponibles.

Lorsque des codages continus sont utilisés au cours de l'investigation, il convient d'accorder une attention suffisante aux aspects liés à l'état pertinents :

- Par exemple, l'investigation visuelle d'une gaine, lorsque des aspects liés à l'état ont été identifiés, doit accorder une attention suffisante à chaque bourrelet, décoloration, formation de cloques ou rétrécissements (par exemple, en raison de assemblages déplacés de la conduite existante). Une photo d'ensemble prise à distance fournit souvent des informations supplémentaires et utiles.
- Pour l'investigation d'anciens égouts, souvent constitués de « tuyaux au mètre », il convient d'accorder suffisamment d'attention aux joints. Dans ce cas, il est important que les assemblages qui s'effritent et déplacés soient suffisamment visualisés. D'importants assemblages déplacés peuvent avoir été réparés, parfois des briques peuvent être visibles à travers le joint ouvert. Dans ce cas, le raccordement déplacé est mesuré et consigné, de même que la réparation locale. Avec un égout nettoyé, contrairement à un égout non nettoyé, l'entrée de terre n'est plus perceptible dans la direction axiale. Il est primordial d'inspecter les joints. Plus il y a de joints, moins le rendement est élevé. Il convient d'en tenir compte lors de la tarification.

7.2.3. Investigation visuelle des assemblages

Il existe plusieurs façons de raccorder les tuyaux de manière étanche :

- Avec les systèmes très anciens, on utilisait des raccordements embout mâle-embout femelle. Les tuyaux courts («au mètre ») n'avaient pas de collier et l'enfoncement était limité. On constate donc qu'avec de faibles déplacements axiaux, les tuyaux se séparent complètement les uns des autres, ce qui entraîne des déplacements radiaux. Les tuyaux embout mâle-embout femelle n'étaient pas munis d'une étanchéité en caoutchouc, souvent les raccords étaient scellés avec une cordelette imbibée de goudron. Si le diamètre le permettait, les assemblages étaient rejoints.
- Plus tard sont apparus les raccordements embout mâle-femelle, dotés d'un joint thorique (o-ring).
- Aujourd'hui, les tuyaux en béton sont équipés de joints d'étanchéité sous la forme d'un embout mâle profilé avec joint coulissant.

L'investigation des raccords de tuyaux est très importante. Les raccords peuvent être déplacés l'un par rapport à l'autre, dans différentes directions. A la réception après la pose, il faut souvent chercher la cause dans un placement incorrect. A la fin de la période de garantie, le tassement peut être à l'origine du déplacement des raccords. En fonction de la sévérité du déplacement, cela peut conduire à une mauvaise étanchéité des canalisations, à l'entrée de sable ou à des infiltrations. Pour obtenir une image correcte, la tête de la caméra doit être perpendiculaire au centre du raccord de joint et ce, pendant toute la durée de l'investigation de la circonférence.

Lors de l'investigation visuelle directe de la conduite, le temps de rotation²⁴ de la tête de caméra doit être ajusté en fonction du diamètre du tuyau à examiner.

²⁴ Le temps de rotation de la tête de caméra est le temps nécessaire à la tête de caméra pour effectuer un tour complet avec la tête de caméra orientée à 90° vers la paroi.

Lors de l'investigation visuelle du joint, il doit être possible de distinguer tous les aspects liés à l'état, qui sont ensuite enregistrés à l'aide d'une tête de caméra stationnaire. Si le temps de rotation de la tête de la caméra est trop court, il ne sera pas possible d'enregistrer tous les aspects liés à l'état. La rotation de la tête de caméra peut être manuelle ou automatique. Afin de distinguer facilement tous les aspects liés à l'état, les temps de rotation suivants en fonction du diamètre du tuyau sont donnés à titre indicatif :

Diamètre intérieur du tuyau [mm]	t[s] par 360° rotation
160	6
200	7
250	9
300	11
400	15
500	19
600	22
700	26
800	30
900	34
1000	37
1100	41
1200	45
1300	49
1400	52
1500	56
1600	60
1700	64
1800	67
1900	71
2000	75

Tableau 1

En cas d'utilisation d'autres techniques d'investigation telles que les techniques d'imagerie 3D ou les scanners 3D, les mêmes règles s'appliquent lors du codage (investigation virtuelle²⁵) des images conformément à la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011).

7.2.4. Graphique de pente

Pendant le trajet de retour, un graphique du profil longitudinal est généré. L'investigation visuelle même est alors terminée. Souvent, lors de l'investigation visuelle, il n'est pas évident de détecter la présence d'une petite contre-pente. Toutefois, il incombe à l'expert de confronter le graphique après la mesure de pente au sens de l'évacuation des eaux conformément au plan et/ou à la présence de contre-pentes individuelles. La norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) ne prévoit pas de code spécifique

²⁵ Après le scanning sur chantier, l'investigation visuelle (codage des aspects liés à l'état) sont faits au bureau par un expert, assisté d'un logiciel.

pour consigner la contre-pente. Des déviations angulaires significatives autour des positions horaires 6h et 12h sont une indication importante d'un changement dans le profil longitudinal.

Il existe certainement d'autres techniques pour obtenir un graphique de pente, mais elles impliquent souvent des mesures très spécifiques qui ne sont pas effectuées en même temps qu'une investigation visuelle.

7.2.5. Enregistrement des contre-pentes

La norme ne prévoit pas de code spécifique pour l'enregistrement des contre-pentes dans le profil longitudinal. Un changement dans le profil de la pente peut être constaté grâce aux phénomènes ci-après :

- Stagnation d'eau (le cas échéant) ;
- Changement du niveau de l'eau (une différence de 5 % au moins doit être enregistrée) ;
- Différence nette dans l'indication du degré d'inclinaison [%] à l'écran qui aura un tracé différent selon le sens de l'investigation visuelle.

Lors de la réalisation d'une mesure de pente (en retirant la caméra mobile), l'expert peut s'apercevoir qu'il n'a pas enregistré une mesure de pente locale. Il est quand même possible de l'ajouter aux données de l'investigation. Il est important d'enregistrer les contre-pentes dans le rapport.

La stagnation de l'eau dans certaines parties de la canalisation indique clairement des variations dans le profil longitudinal.

Lors du contrôle d'une réception, il serait souhaitable de déverser une certaine quantité d'eau (fonction du diamètre de la conduite) dans le regard en amont. Cela apporterait une aide précieuse à l'expert pour identifier visuellement les changements dans le profil longitudinal.

Les petites contre-pentes sont plus difficiles à constater, mais elles sont visibles sur le graphique de pente. Le schéma suivant montre où commence et où finit la contre-pente.

Les contre-pentes sont toujours précédées d'une stagnation d'eau, 2 codages continus, donc d'un niveau d'eau bas à un niveau d'eau élevé 2 codages (BDD).

Les contre-pentes importantes sont enregistrées à l'aide de deux codages continus (BDD) dont l'un indique le début (niveau d'eau le plus élevé) et l'autre la fin de la contre-pente (niveau d'eau le plus bas).

Distance	Code continu	Code principal	Caractérisation		Quantification		Emplacement circonférentiel		Raccordement	Référence photo	Référence vidéo	Remarques
			1	2	1	2	1	2				
9,2	A01	BDD	A		5					1	00:03:30	

11,1	B01	BDD	A		15				00 :03:58	
11,1	A02	BDD	A		15			2	00 :04:35	Contre-pente
13,6	B02	BDD	A		5				00 :04:55	

Tableau 2 - Enregistrement des contre-pentes

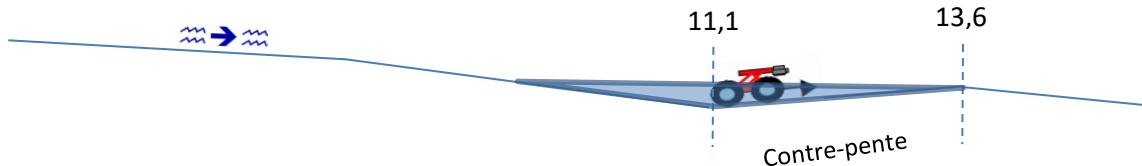


Schéma 1 - Représentation schématique selon le tableau 2

7.2.6. Investigation visuelle simplifiée

L'investigation visuelle simplifiée a pour but de déterminer l'état général de la structure et de l'écoulement dans un réseau d'égouttage non nettoyé. Pour réduire les coûts, il n'y a pas de vidange du système. D'autres facteurs qui influencent le coût de l'investigation visuelle sont la vitesse d'exécution et la préparation de l'état de la canalisation. A l'heure actuelle, on peut recourir à plusieurs techniques pour obtenir une image d'une canalisation non nettoyée, en se concentrant uniquement sur les défauts structurels généraux (pour autant qu'ils soient visibles) et les problèmes d'écoulement. Le risque d'explosion est élevé dans cette situation, car l'égout n'a pas été nettoyé. Des gaz peuvent être libérés lorsque les boues sont remuées. Des mesures de sécurité suffisantes doivent être prises pour éviter à tout moment une explosion. Une analyse de risques apporte une réponse quant aux mesures à prévoir.

Ici, la qualité de l'investigation visuelle dépend encore plus de l'état de la canalisation. S'il y a beaucoup de dépôts adhérents ou si la conduite est remplie à plus de 50 %, on aura peu d'informations sur lesquelles se baser pour prendre des décisions ultérieures. Il se peut que des défauts structurels importants ne soient pas visibles. D'autre part, une investigation simplifiée donne un bon aperçu du degré de remplissage, de l'accumulation de saletés et des défauts très graves tels que les fissures/fêlures, un effondrement partiel ou complet, une croissance significative des racines, un affaissement. Il va sans dire qu'on ne peut pas recourir à une investigation simplifiée :

- pour contrôler une nouvelle mise en œuvre ;
- à la fin de la période de garantie ou pour contrôler une réparation.

7.2.6.1. Investigation stationnaire de la canalisation (caméra à zoom)

Le type d'investigation visuelle qui consiste à zoomer sur la canalisation à partir du regard est une technique établie depuis des années. Cette technique a évolué au fil des ans avec la qualité des caméras disponibles. Aujourd'hui, la plupart des systèmes peuvent effectuer un zoom optique de 30x. Ils sont équipés d'un éclairage adapté. Il est souhaitable d'imposer un zoom optique minimum de 20x. La plupart des systèmes modernes sont équipés d'une fonction semi-automatique de rotation et

inclinaison qui permet, si nécessaire, de corriger la direction sans manipulation physique. Si la canalisation peut être inspectée des deux côtés, il est possible dans la plupart des cas d'obtenir une bonne image de son état structurel et de l'état de l'écoulement. En fonction de la capacité de zoom et de la visibilité dans la canalisation, il sera possible de l'examiner partiellement ou dans son intégralité. La plupart des systèmes vantent les mérites d'un système autonome doté d'un écran relativement petit, visible depuis l'endroit où se fait l'investigation visuelle. Cela dit, pour identifier correctement les aspects liés à l'état, il est indispensable de disposer d'un grand écran d'affichage protégé de la lumière directe du soleil. Il est important que les aspects liés à l'état soient représentés de manière adéquate en arrêtant de zoomer ou de dézoomer et en représentant ces aspects avec l'éclairage et la netteté d'image appropriés. Si la technique d'investigation est appliquée dans le but pour lequel elle a été conçue, elle est très utile dans certains cas, par exemple pour planifier un investissement, rechercher un problème structurel grave afin de procéder à un nettoyage sans risque.

Les champs qui doivent absolument être enregistrés sont énumérés à l'annexe I.

C'est dans les systèmes qui n'ont pas été nettoyés que le risque d'explosion est le plus grand. Il est important de n'utiliser à ces endroits que des dispositifs répondant aux exigences de sécurité définies par la directive ATEX 114, 2014. Lors d'une investigation visuelle des conduits à partir des regards, on peut mesurer en permanence des gaz, ce qui permet, en cas de surveillance continue, de garder le risque sous contrôle. Dans de tels cas, le gazomètre utilisé lors de l'investigation visuelle doit être enregistré au niveau du tronçon.

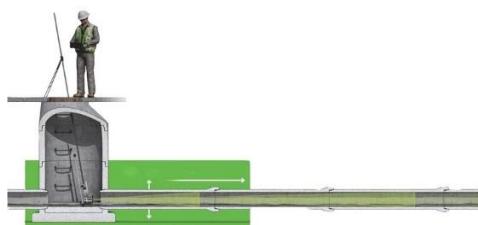


Figure 65 - Représentation graphique - EnviroSight (source : EnviroSight)



Figure 66 - Caméra à zoom Quickview (source: Quickview)

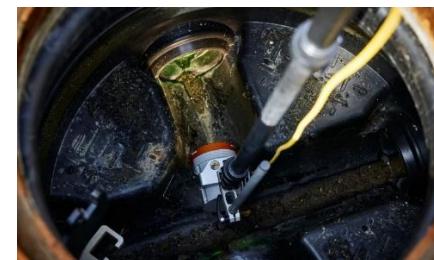


Figure 67 - Caméra à zoom ASPECTA (source : IBAK)

A. Méthode de travail

La caméra à zoom doit être fixée à l'aide d'un trépied ou d'un autre outil afin que l'image reste stable quand on zoome. Les mouvements de la caméra étant amplifiés linéairement dans les mouvements de l'image vidéo, et ce en fonction du nombre de fois où l'on zoome, il convient de le faire avec prudence et assez lentement.

- On commence par zoomer lentement jusqu'à atteindre la capacité de zoom maximale.
- On effectue ensuite un zoom arrière lent et complet. A ce stade, l'opérateur a déjà pu identifier les aspects liés à l'état qui sont présents et qui seront enregistrés.
- On zoome ensuite lentement sur le premier aspect lié à l'état, qui est immédiatement enregistré et dont on prend une photo (avec une mise au point appropriée et une exposition ajustée) ; cette étape est répétée jusqu'à ce que le dernier aspect lié à l'état soit enregistré.

- On zoome ensuite lentement jusqu'à atteindre la capacité de zoom extrême, ce qui met fin à l'investigation visuelle.
- En principe, aucune distance n'est enregistrée ;
- Certaines caméras à zoom modernes peuvent être équipées d'un laser à distance qui permet d'associer les obstacles ou d'autres aspects liés à l'état, à une distance, ce qui peut être enregistré comme une valeur ajoutée. En raison de l'état de l'égout dans lequel la technique de zoom est déployée, de très nombreux facteurs peuvent affecter cette mesure de la distance, ce qui doit plutôt être considéré comme un gadget pouvant être utilisé ici et là.

B. Avantages

- La caméra à zoom est placée dans le regard, stable, sur une tige réglable en hauteur. L'objectif de la caméra n'entre pas en contact avec de l'eau, de la boue ou d'autres dépôts. La lentille reste ainsi propre pendant l'investigation visuelle, ce qui améliore certainement la qualité d'image.
- Si la caméra ne peut pas être déployée sans risque d'explosion, la sécurité à ce niveau peut être garantie de manière assez simple. Un gazomètre étalonné est placé à proximité immédiate de l'opérateur ou de son assistant, l'un ou l'autre surveillant en permanence le gazomètre. Le gazomètre est relié à la buse d'aspiration par un tuyau en caoutchouc. La caméra à zoom est montée sur une tige réglable, la buse d'aspiration est située au niveau de la caméra. Le gazomètre est équipé d'une pompe intégrée qui aspire en permanence l'air du regard par le tuyau en caoutchouc via la buse d'aspiration. En cas d'alerte au gaz, le dispositif peut être éteint et retiré en toute sécurité.
- Vu que le dispositif est uniquement placé dans le regard, il n'est pas physiquement gêné par des obstacles, des raccordements pénétrants, des dépôts adhérents ou décantés. Par conséquent, l'appareil ne peut pas se bloquer.
- L'équipement est simple et l'investigation est statique. Par conséquent, la probabilité de défaillances techniques pour raison mécanique est très faible.
- L'équipement est simple à placer. L'investigation visuelle prend peu de temps. La rotation de la caméra à 180° permet d'examiner visuellement presque immédiatement le tronçon opposé, ce qui augmente considérablement l'efficacité.
- Les tronçons relativement courts²⁶ peuvent, dans des conditions normales,²⁷ être examinés en une seule fois.
- Les systèmes les plus modernes sont équipés d'une fonction semi-automatique de rotation et inclinaison. Cela permet à la lentille de la caméra d'être parfaitement positionnée à tout moment pour capturer tous les aspects liés à l'état. L'objectif est bien sûr de visualiser la plus grande partie possible de la conduite et de la paroi.

26 +/- 25 m

27 Dans ce contexte, les conditions sont considérées comme normales lorsque le degré d'accumulation de saletés et les niveaux d'eau sont ≤ 50 % de la hauteur de la coupe transversale du tuyau.

C. Inconvénients

- Dans la plage supérieure du facteur de zoom numérique, il devient plus difficile d'attribuer tous les aspects liés à l'état. Cet inconvénient peut être partiellement surmonté en prévoyant une capacité de zoom optique suffisante, par exemple un zoom optique 30x.
- Des obstacles trop nombreux réduisent la visibilité. En conséquence, l'investigation visuelle au niveau des obstacles sera interrompue.
- Les reflets sur les objets situés dans les premiers mètres du tronçon peuvent provoquer une surexposition gênante. Il devient alors presque impossible de voir plus loin dans la conduite.
- La lumière directe du soleil sur l'écran de contrôle de l'investigation visuelle peut s'avérer très gênante. Elle empêche de distinguer tous les aspects liés à l'état, ce qui nuit à la qualité de l'investigation. Ce problème peut être évité en installant un écran suffisamment grand dans une pièce à l'abri de la lumière du soleil.
- La configuration de la caméra doit tenir compte des vibrations à la surface. Celles-ci peuvent être transférées à la caméra via les supports généralement situés au-dessus de la surface revêtue autour du regard. Il en résulte une image tremblante. Des blocs de caoutchouc sous les supports à la surface et aux points de fixation entre la tige et la caméra permettent d'y remédier.

7.2.6.2. « Simplified visual inspections »

Par ailleurs, il existe d'autres formes physiques d'équipement pour l'investigation visuelle qui se prêtent à une forme simplifiée d'investigation. La partie « Techniques innovantes » cite la plupart des techniques actuellement disponibles sur le marché. Il s'agit principalement de « drones », de « drones sous-marins », de bateaux équipés de sonars avec scanner laser, de caméras robotisées à hélice, de têtes de nettoyage avec caméra intégrée et de pistons « intelligents ».

L'état de la canalisation étant déterminant pour le résultat final, il est difficile de déterminer à l'avance la technique la plus adaptée. Les dimensions du dispositif qui sera déployé seront souvent choisies en fonction du diamètre et de l'espace disponible restant ainsi que de l'état de l'écoulement. Il convient de tenir compte des dépôts décantés attendus ou d'autres obstacles qui restreignent l'accessibilité. Lorsqu'il y a suffisamment d'eau, on peut opter pour un bateau-robot motorisé. Dans le cas de matières solides, un robot tout-terrain peut aider, ou dans un état mixte d'eau et de matières solides, un robot flottant avec des tarières rotatives peut être utilisé. Les meilleurs résultats seront obtenus si plusieurs groupes de techniques sont disponibles, de sorte que la technique la plus appropriée puisse être appliquée en fonction de la situation locale. Il va sans dire que l'évaluation de l'état et l'expérience acquise avec les appareils influent grandement sur les chances de succès.

Une investigation visuelle simplifiée est enregistrée conformément au format BEFDSS_DP-nvm (voir Annexe-I).

Dans le cadre des « simplified visual inspections », des données peuvent également être échangées mais il n'est pas possible de fournir toutes les données, comme c'est le cas pour une nouvelle réception ou une investigation de routine. Un ensemble de données à fournir adapté à la technique utilisée fait partie des options. Bien entendu, l'objectif est d'indiquer à l'avance clairement les données qui ne seront pas fournies ou qui le seront en partie. Par exemple, lors de l'investigation visuelle d'une conduite latérale (avec une caméra satellite), il n'est pas possible de mesurer un joint déplacé, par

exemple une déviation angulaire. Lorsqu'une déviation angulaire est signalée, il n'est pas obligatoire de saisir le nombre de degrés. Cela permet une investigation uniforme et structurée des conduites latérales à partir de la conduite principale à l'aide d'une caméra satellite (dans le but de contrôler les nouvelles mises en œuvre dans le cadre d'une investigation de routine). Il est également possible d'effectuer des relevés visuels des conduites latérales à partir de la conduite principale (« caméras satellites ») et à partir de la chambre de visite de raccordement domestique à l'aide d'une caméra poussée.

Pour plus d'informations, voir point 10.2.

Il est important que l'équipement réponde aux exigences de sécurité ou que des mesures soient prises pour y répondre.

7.3. Tuyaux ou canalisations non circulaires

Les mesures des assemblages déplacés dans les formes non circulaires de tuyaux ou de conduites n'offrent pas la précision requise. Ces formes seront étudiées à l'aide de l'option 7 de « Investigation visuelle directe ou indirecte des égouts à l'aide d'une caméra télécommandée se déplaçant dans une canalisation (NVM) » (voir Annexe I).

7.4. Canalisations et conduits accessibles à l'homme

Les canalisations sont en principe accessibles à l'homme à partir du moment où la hauteur de la coupe transversale est supérieure ou égale à 1 200 mm. Si des canalisations plus larges sont examinées à l'aide d'un robot/dispositif, les points suivants doivent être pris en compte.

7.4.1. Éclairage

- L'éclairage doit être adapté au diamètre de la conduite à inspecter. Ce n'est pas toujours facile, il faut éviter l'effet « spot »²⁸.
- Même dans les grands diamètres, l'éclairage doit être équilibré et suffisant ; lorsque le robot/dispositif avance dans la canalisation ou la conduite, la paroi du tuyau doit être suffisamment éclairée sur toute sa circonférence pour que les aspects liés à l'état soient facilement reconnaissables. Les aspects liés de l'état sont ensuite examinés en détail avec un éclairage approprié et enregistrés.

7.4.2. Aspects liés à l'état

- Les aspects liés à l'état doivent être facilement observables de manière normale, sans zoomer. Dans la pratique, il s'est avéré qu'il existe de grandes différences entre l'investigation visuelle d'un pertuis à l'aide d'un robot exclusivement et celui réalisé par une personne, ou une combinaison des deux. Lorsque la distance entre le robot et la paroi du conduit ou du tuyau est importante, la zone à inspecter est étendue. L'investigation visuelle doit être réalisée à une vitesse suffisamment lente. Dans les tuyaux et conduits de grand diamètre, la progression axiale devrait être considérablement plus faible que dans les tuyaux de petit diamètre. L'angle

²⁸ Lumière trop concentrée, n'éclairant qu'une surface limitée

de vue d'une caméra classique pour l'investigation visuelle des égouts est d'environ 150°. Plus le diamètre du tuyau est grand, plus la distance dans le sens axial augmente par rapport à l'image visible à l'extrémité de l'angle de vue.

- La vitesse circonférentielle de la tête de caméra lors de l'inspection du raccord de tuyau dans le sens radial doit être ajustée en fonction de la circonférence (intérieure) du tuyau.

7.4.3. Points à prendre en compte

- Contrairement à l'investigation de petits diamètres, il est nécessaire de zoomer très souvent pour obtenir le même résultat.
- Cela signifie que, dans le cadre d'une investigation effectuée par un expert qui pénètre physiquement dans des conduits plus grands, l'expert devra également se déplacer dans une direction radiale pour constater en image les aspects liés à l'état.
- Lors de l'investigation de diamètres plus importants, l'expert devra être très attentif et vigilant pour observer tous les aspects liés à l'état.
- L'investigation visuelle des tuyaux et conduits de grand diamètre sera d'un rendement nettement inférieur à celui de canalisations non accessibles à l'homme.
- Il serait plus logique que le calcul du prix soit basé sur la taille de la zone soumise à l'investigation visuelle.

7.4.4. Conduits et canalisations de grande taille

On obtient un meilleur résultat :

- En combinant une investigation visuelle directe avec une caméra, accompagnée d'un expert qui peut indiquer où la caméra doit regarder et ce qui doit être mesuré. Lorsque le centre de l'objectif n'est pas situé au centre de la canalisation ou du conduit, il devient plus difficile d'effectuer des mesures dans des conduits carrés ou rectangulaires ; la caméra doit alors être équipée de lasers de référence.
- Une « caméra portative » avec éclairage portée par l'expert est reliée par un câble à un boîtier de connexion qu'il porte à une ceinture autour de sa taille. Avec cette technique, le câble provenant de l'enrouleur de câble du véhicule équipé du matériel d'investigation visuelle des égouts, qui est normalement connecté à la caméra mobile/l'appareil, est relié au boîtier. Grâce à un casque équipé d'un microphone, l'expert est en contact direct avec un opérateur qui se trouve dans le véhicule. Ce dernier saisit tous les codes conformément à la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011). Un tel système rend possible une bonne communication, ce qui est essentiel. Les enregistrements relatifs au codage des photos et du film, à la réalisation de mesures manuelles ou numériques doivent être communiqués correctement. Lors de l'enregistrement, la lentille de la caméra doit être dirigée vers l'endroit où se trouve l'aspect lié à l'état en question. La sécurité est une priorité.

7.4.5. Généralités

- Même dans les grands conduits et canalisations, le résultat de l'investigation visuelle dépend fortement de l'état de propreté. Un égout non nettoyé sera difficile à inspecter et l'état structurel et celui de l'écoulement ne pourront être établis que partiellement, ce qui laisse un risque réel de vices cachés.

- Dans le cadre d'une investigation menée conformément au point 4.2.4, la présence de deux experts en investigation visuelle des égouts et du personnel de sécurité est nécessaire. Les experts en investigation visuelle des égouts peuvent descendre alternativement, ce qui permet d'effectuer l'investigation visuelle de manière quasi continue. Cela permet d'obtenir des résultats de meilleure qualité. Le déploiement du personnel nécessaire entraîne un coût plus élevé.
- Les mesures des raccordements déplacés dans les formes non circulaires de tuyaux ou de conduites n'offrent pas la précision requise. Ces formes seront examinées à l'aide de l'option 7 « Investigation visuelle directe ou indirecte des égouts à l'aide d'une caméra télécommandée se déplaçant dans une canalisation (NVM) » (voir annexe I).

8. Regards, chambres de visite ou dispositifs d'inspection

Lors de l'investigation visuelle du regard, il est nécessaire de prendre des images vidéo et des photos de l'implantation afin de pouvoir consulter cet(te) photo/enregistrement en cas de doute sur le numéro du regard. En outre, le dispositif de couverture est visualisé lorsqu'il est fermé, ce qui permet d'évaluer le type et l'état du tampon et du cadre. Après ouverture du tampon, une photo panoramique est prise afin de visualiser le bord intérieur et d'autres composants tels qu'un collecteur de sable ou un dispositif réglable en continu. Ces photos en surface sont enregistrées à 0,0 m. Le couvercle est ensuite inspecté dans le sens radial. Il est très important d'inspecter le dessous de la plaque de réduction, qui peut présenter des fissures ou des fêlures. La surface entière de la paroi du regard est alors visualisée, ainsi que les joints, les conduites de raccordement, la banquette et la cunette du regard.

Pour plus de clarté, il est souvent préférable de prendre la photo d'un aspect lié à l'état sous un certain angle lors de l'investigation visuelle afin de mieux le visualiser. Bien entendu, le compteur de distance et la position doivent correspondre à la distance réelle et à la position de l'aspect lié à l'état en question. Le logiciel d'investigation visuelle permet également d'ajouter des images prises avec d'autres appareils que la caméra robotisée.

9. Investigation visuelle des dispositifs d'infiltration

9.1. Généralités

Les aspects liés à l'état sont enregistrés conformément aux normes NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) et NBN B 34-001 (NBN, 2015a). L'accessibilité d'un système d'infiltration détermine dans une large mesure la qualité de l'investigation visuelle. Plus l'accès est petit, plus la configuration de la caméra doit être réduite. Dans la pratique, cela se traduit par une qualité d'image moindre et des possibilités de zoom plus limitées. C'est normal lorsqu'une caméra n'est pas utilisée de manière adéquate dans un diamètre pour lequel elle ne convient pas. La coupe transversale à examiner visuellement est souvent un multiple du diamètre du tuyau d'accès. Si l'accès est inférieur à 200 mm (ce qui implique un passage libre de ± 185 mm) ou s'il est inférieur à 160 mm (ce qui implique un passage libre de ± 150 mm), il y a un certain nombre de conséquences négatives. Une configuration de la caméra robotisée pour un petit diamètre de tuyau rend la caméra plus instable. C'est lié au poids de la caméra, à la largeur de l'essieu

et à la hauteur souhaitée pour l'objectif. Le point central de l'objectif ne pourra pas être relevé aussi haut en raison de la configuration de la caméra, et dans la plupart des cas, l'éclairage sera plus faible lors de l'utilisation d'une tête de caméra plus petite. En fonction du diamètre du tuyau, il se peut que le centre de la lentille ne se trouve pas à mi-hauteur de la coupe transversale. Cela entraîne une diffusion moins uniforme de la lumière et un impact optique négatif en termes de mesure et d'estimation des aspects liés à l'état.

Il convient de prévoir, pour l'accès, des tuyaux d'un diamètre minimal de 250 mm. Ce passage permet une configuration de caméra mieux adaptée à l'investigation de tuyaux ou d'espaces plus grands.

Un regard d'accès est le plus approprié pour effectuer une investigation visuelle et une maintenance périodique. Ce passage permet d'accéder au fond du dispositif d'infiltration et offre plus d'options en cas de problèmes techniques pouvant survenir lors de l'investigation visuelle ou de l'entretien périodique. On s'attend à une telle configuration par défaut pour effectuer correctement toutes les tâches nécessaires au cours de la durée de vie.

9.2. Étude préliminaire

- Pour s'assurer que la caméra puisse revenir sans problème à son point de départ une fois l'investigation terminée, l'expert doit bien évaluer les risques avant le début de l'investigation. La condition préalable à la réalisation d'une investigation visuelle est que la caméra mobile/le dispositif puisse se déplacer sans risque supplémentaire et revenir sans problème une fois l'investigation terminée. Si cela n'était pas possible, on pourrait alors affirmer qu'un dispositif d'infiltration ne peut pas être soumis à une investigation visuelle.
- Lorsqu'un système d'infiltration est proposé comme « inspectable », il arrive malgré tout qu'après la pose, le système ne soit plus « inspectable » facilement, par exemple :
 - Il se peut que le diamètre du tuyau menant au système soit trop petit pour permettre un accès facile à la caméra.
 - L'utilisation de coudes peut rendre l'accès impossible.
 - Il peut y avoir une différence de hauteur entre le tuyau d'arrivée et le radier du dispositif d'infiltration, ce qui peut constituer un risque important pour l'accessibilité du robot ou de l'appareil.
- Un bon plan qui reprend, entre autres, toutes les données en termes de possibilités d'accès est un atout important lors du choix de la configuration de la caméra appropriée.
- Pour limiter les risques lors d'une investigation visuelle, il convient d'équiper le système d'une caméra de recul. La plupart des systèmes modernes disposent d'une telle caméra intégrée, ou bien elle peut être placée à l'arrière du connecteur.
- La composition d'un dispositif d'infiltration peut être complexe, il est donc essentiel qu'un plan as-built soit mis à la disposition de l'expert lors de l'investigation visuelle préliminaire. Il n'est pas censé faire lui-même un plan. Le plan as-built doit également inclure tous les détails concernant les possibilités d'accès. C'est très utile pour faire le bon choix de la technique d'investigation et de sa configuration.
- L'accès direct par un passage (par exemple au sommet d'un bassin d'infiltration) est préférable.
- Tester les attentes supplémentaires du client par rapport aux possibilités.
- Le niveau d'eau prévu dans le dispositif d'infiltration exerce une influence significative sur l'investigation visuelle. Lorsque l'on s'attend à un niveau d'eau très élevé en raison des

conditions météorologiques actuelles ou récentes, il est conseillé d'effectuer l'investigation visuelle à un niveau d'eau plus bas. Le gestionnaire du dispositif peut alors fournir des informations utiles pour mieux planifier l'investigation visuelle.

9.3. Données d'inventaire

Les dispositifs d'infiltration étant très divers en termes de forme, de contenu et de possibilités d'accès, il est très important de disposer d'informations suffisantes comme référence concernant le point de départ et le point d'arrivée de l'investigation visuelle :

- Un plan univoque avec une numérotation unique de tous les passages et nœuds à l'intérieur et à l'extérieur du dispositif d'infiltration permet de localiser les observations. Les passages non inspectable doivent également figurer sur le plan.
- Planification logique de l'investigation ; par exemple, il faut savoir combien de passages sont nécessaires pour tout visualiser.
- Photos de l'implantation du point d'accès fermé (tampon) ; orientation nord. Photos d'ambiance, qui donnent un bon aperçu de l'implantation du système avec tous ses points d'accès, celles-ci pouvant être prises depuis les airs, par un drone par exemple.
- Indiquer le sens de l'investigation sur le plan/le croquis.
- Type et structure (longueur, largeur, hauteur).
- Le diamètre du tuyau d'accès, le cas échéant.

9.4. Technique d'investigation

Les dispositifs d'infiltration et leurs dispositifs périphériques (tels que préfiltres, limiteurs de débit, grilles, paniers filtrants, bassins de décantation, structures de débordement, etc.) peuvent être très variés en termes de géométrie et de possibilités d'accès. Il est essentiel que des informations suffisantes soient disponibles à ce sujet.

La géométrie, l'emplacement, les possibilités d'accès de l'élément à inspecter, ainsi que le niveau d'eau et la sécurité jouent un rôle majeur dans le choix de la technique d'investigation.

Ainsi, pour un dispositif d'infiltration donné avec tous ses dispositifs périphériques, il se peut qu'on doive recourir à plusieurs techniques. Les différentes techniques sont décrites supra. L'utilisation d'une technologie particulière, par exemple une caméra à zoom, peut s'avérer utile pour certains dispositifs connexes.

10. Commentaire sur l'utilisation des codages de la norme

Les codages prévus par la norme sont répartis en deux groupes, investigation de la canalisation ou du regard. Le premier groupe comprend les codages liés à l'inventaire, tandis que le second groupe comprend les codages liés à l'investigation visuelle même, y compris l'enregistrement des aspects liés à l'état. Toutefois, il est important de noter que les codes relatifs aux aspects liés à l'état d'une canalisation ou d'un regard ne peuvent être appliqués que dans une canalisation ou un regard faisant l'objet d'une investigation visuelle.

Exemples

- L'expert est sur le point de conclure l'investigation de la canalisation, mais il constate que des infiltrations sont visibles dans le regard. Il ne peut inscrire l'infiltration dans le regard que comme commentaire code BDB. Le code BBF ne peut pas être utilisé pour cela car il s'agit d'une infiltration dans le regard.
- Lors d'une investigation de canalisation, un défaut de structure ou d'écoulement est constaté dans une canalisation latérale, seul le code BAH est alors possible. Si les options sous le champ de caractérisation 1 ne décrivent pas le problème structurel ou d'écoulement, il convient d'utiliser l'option « z ». Dans tous les autres cas, il convient d'utiliser le code BDB.
- Les mêmes règles s'appliquent lors d'une investigation du regard. Si un défaut structurel ou d'écoulement est constaté dans une conduite de raccordement, seul le code DAH est possible. Si les options sous le champ de caractérisation 1 ne décrivent pas le problème structurel ou d'écoulement, il convient d'utiliser l'option « z ». Dans tous les autres cas, il convient d'utiliser le code DDB.

10.1. Investigation de la canalisation

10.1.1. Codages continus

Les codages continus sont indiqués en utilisant l'indication au début de l'observation - A+ numéro de suite (par exemple A01) ; le codage ouvert est terminé par B+ numéro de suite (par exemple B01).

A01 et B01 sont liés par le même numéro de suite, ce qui permet d'indiquer la longueur de l'observation. Plusieurs codes continus peuvent être actifs en même temps, avec un nouveau numéro de suite incrémentiel à chaque fois. Le numéro est unique dans le cadre d'une seule et même investigation d'un tronçon. Le logiciel doit également permettre l'enregistrement de plusieurs codages continus du même type d'observation, par exemple des fissures axiales, des dépôts adhérents, des entrées de terre, etc. Les codages continus sont terminés à la fin ou lorsqu'on suspend l'investigation visuelle du tronçon.

Attention : Un codage continu peut également être utilisé pour indiquer les observations qui se reproduisent à chaque assemblage de la canalisation (A) (tant que le code continu est ouvert), par ex. BBF (infiltration) ; BBB (dépôt adhérent) à condition que :

- L'ampleur de l'observation soit la même et se trouve à la même position.
- Si quelque chose de plus important apparaît, cela peut être constaté individuellement tandis que l'ampleur plus petite continue.

Les codages continus ne doivent pas être utilisés pour enregistrer les assemblages déplacés (BAJ).

Cette méthode d'enregistrement permet de réduire considérablement le nombre de codages dans un rapport, ce qui rend le rapport et l'évaluation qui s'ensuit beaucoup plus clairs. Ainsi, dans les anciens systèmes où les tronçons sont souvent composés de tuyaux de 1 m de long, le nombre de codages peut être fortement réduit en cas d'infiltrations, de formation de croûte, d'entrée de terre, etc. à l'assemblage des tuyaux.

Distance	Code continu	Code principal	Caractérisation		Quantification		Emplacement circonférentiel		Raccordement	Référence photo	Référence vidéo	Remarques
			1	2	1	2	1	2				
0,0		BCD	A		P1	Xyz					00:00:00	...
0,0	A01	BDD	A		5					1	00:00:45	
1,0	A02	BBB	A		5		7	5	A	2	00:01:30	...
1,0	A03	BBF	A				5	7	A	3	00:01:38	...
21,0	A04	BDD	A		5					7	00:15:30	Début de l'affaissement
21,0		BBF	B				4	8	A	4	00:16:09	
21,0		BBB	A		18		8	4	A	5	00:17:21	...
21,0		BAJ	C		1,6		6		A	6	00:19:25	
26,0		BAJ	C		1,4		12			8	00:20:35	
26,0	B04	BDD	A		15						00:20:58	Fin de l'affaissement
26,0	A05	BDD	A		15					9	00:21:34	Début de la contre-pente
31,0		BAJ	C		1,4		6			11	00:25:30	
31,0	B05	BDD	A		5						00:27:08	Fin de la contre-pente
41,0	B02	BBB	A		5		7	5	A		00:32:20	...
41,0	B02	BBF	A				7	5	A		00:32:37	...
50,0	B01	BDD	A		5						00:37:30	
50,0		BDB								12	00:37:35	Accumulation de sable dans le regard
50,0		BCE	A		P2	xyz				13	00:38:00	...

Tableau 3 - Données d'investigation d'une conduite

Explication du tableau précédent

1. Une canalisation de 50 m de long a été inspectée complètement dans le sens de l'écoulement du fluide (BCD + BCE).
2. Dès le début de la canalisation, un niveau d'eau (BDD) de 5 % est visible sur toute la longueur de la canalisation (voir A01 → B01).
3. Il y a affaissement du profil longitudinal, le niveau d'eau (BDD) augmente progressivement de 10 % à 15 % de 21,0 m à 26,0 m (voir A04 → B04).
4. La contre-pente commence au point le plus profond de l'affaissement, le niveau de l'eau diminue progressivement de 10 % à 5 % de 26,0 m à 31,0 m (A05 → B05).
5. L'affaissement et la contre-pente peuvent être déduits du niveau d'eau élevé, mais même sans ce niveau d'eau, l'affaissement et la contre-pente pourraient être déduits des assemblages déplacés sous la forme de déviations angulaires avec les positions 6h et 12h (à 21 m, 26 m et 31 m).
6. De 1 m à 41,0 m, des croûtes (BBB) avec une réduction de la coupe transversale du tuyau de 5 % ont été observées à chaque raccord de joint²⁹ entre les positions 5 → 7 (voir A02 → B02).
7. De 1 m à 41,0 m, des infiltrations (BBF) ont été observées à chaque joint entre la position 5 → 7.
8. Il convient de noter que localement, au niveau du joint à 21 m, il y a une formation de croûte (BBB) plus étendue que le code continu (voir point 5) ; réduction de la section de la canalisation de 18 %, (position 4 → 8).
9. Enfin, une accumulation de sable dans le regard terminal a été observée. Cette observation ne relève pas de l'investigation de la canalisation (car elle est située dans le regard). Le code BBC (dépôt décanté) ne peut pas être utilisé ici ; l'expert peut ajouter un code commentaire dans lequel il signale cette observation. Il est important de noter que le code DBC ne peut pas non plus être utilisé car il s'agit de l'investigation d'une canalisation et que les codages « D » ne s'appliquent pas.

10.1.2. Observations pour un assemblage

Un assemblage est le point de jonction entre deux sections de conduite adjacentes dans le sens longitudinal.

Les observations effectuées pour un assemblage sont indiquées dans la case du même nom par la lettre « A ».

Il est important de pouvoir distinguer les observations faites au niveau d'un raccordement, notamment pour choisir ensuite une technique de réparation appropriée.

Certains codages sont toujours liés à un raccordement. En voici quelques exemples :

- BAJ (raccordement déplacé : A (axial), B (radial), C (déviation angulaire)).
- BAI (matériau d'étanchéité en suspension).

²⁹ Le 'A' dans la colonne « articulation » indique que l'observation se situe au niveau de l'articulation

Certains codages peuvent éventuellement être constatés à un raccordement. En voici quelques exemples :

- BAG (raccordement pénétrant)
- BAH (raccordement défectueux)
- BAL (réparation défectueuse)
- BAO (sol visible en raison d'un défaut)
- BAP (vide visible en raison d'un défaut)
- BBA (racines)
- BBB (dépôt adhérent)
- BBD (entrée de sable-terre)
- BBE (autres obstacles)
- BBF (infiltration)
- BBG (exfiltration)
- BBH (présence de vermine)
- BCA (entrée)

10.1.3. Positions horaires

Le nombre de positions dépend du codage correspondant. La position permet de décrire un point, une ligne ou, en combinaison avec un codage continu, une surface.

Si un aspect lié à l'état est présent sur l'ensemble de la circonférence, on utilise les deux mêmes positions, par exemple 03-03, et il convient de noter que l'aspect lié à l'état est le plus prononcé à la position 03.

10.1.4. Début et fin de l'investigation

L'investigation d'une canalisation commence avec le code BCD (informations sur le nœud de départ) et se termine lorsque le point d'arrivée est atteint avec le code BCE (informations sur le nœud d'arrivée). Dans tous les autres cas, l'investigation est interrompue avec le code BDC (investigation interrompue).

Attention : si, lors de l'investigation visuelle, le point final prévu n'est pas atteint parce qu'on a abouti dans un regard intermédiaire, il convient d'adapter l'identification du point final prévu qui a été initialement encodé. Cela permet d'éviter les problèmes d'identification lorsque le regard est rendu accessible en surface ; il y a alors un regard dans la conduite, alors qu'il y a en réalité 2 conduites entre 3 nœuds. Il peut s'agir d'un puits aveugle, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de chambre de visite avec un dispositif de couverture. Une autre possibilité est que le dispositif de couverture soit enterré sous la terre végétale (on peut alors observer le dessous du couvercle depuis le regard). Par exemple, dans les collecteurs posés dans les champs, le remblai au-dessus du couvercle peut avoir plus d'un mètre d'épaisseur. Cette méthode est indispensable pour cartographier correctement un réseau d'égouttage.

10.1.5. Investigations interrompues

Si le nœud d'arrivée prévu n'a pas été atteint à la fin de l'investigation visuelle, celle-ci est clôturée avec le code BDC (investigation interrompue). Ce code est toujours précédé d'un code expliquant la

raison de l'interruption. Par exemple, un raccordement pénétrant obstrue le passage ; l'investigation doit être interrompue :

- Dans un premier temps (dans ce cas), le raccordement pénétrant est enregistré (BCA ; BAG ; éventuellement BAH ; BDE).
- Ensuite, l'investigation est interrompue avec le code BDC avec le champ de caractérisation « A » (obstruction).

Il va de soi que les constatations qui ont été saisies précédemment (par exemple un raccordement pénétrant là où l'investigation a été interrompue) ne seront plus saisies à la fin de la deuxième partie de l'investigation du tronçon qui sera menée dans la direction opposée.

Important : Depuis l'utilisation de la version NBN EN 13508-2+A1 (NBN, 2011), il a été stipulé qu'on ne commence jamais une investigation qui a été interrompue avec le même ensemble de données d'inventaire dans la direction opposée. En effet, les données d'inventaire initiales ne correspondent plus aux conditions dans lesquelles s'est déroulée la seconde partie de l'investigation. Exemple : une canalisation qui n'a pas été nettoyée fait l'objet d'une investigation visuelle lors d'une averse. Cependant, en raison de la présence de 25 % de dépôt décantés et d'un niveau d'eau de 35 %, l'investigation est interrompue. La conduite est ensuite nettoyée et une semaine plus tard, par une journée ensoleillée, l'investigation se poursuit à partir du regard d'arrivée. Il convient de noter que les données de l'inventaire initial ne correspondent pas à l'état dans lequel la deuxième partie de l'investigation a été réalisée (la canalisation a été nettoyée et l'eau de pluie ne s'écoule plus des raccordements). Voici quelques exemples de codages qui peuvent ou non avoir été modifiés :

- ABF : la date de l'investigation
- ABG : le moment de l'investigation
- ABH : (le cas échéant) l'expert en investigation visuelle
- ADA : (éventuellement) les précipitations
- ADB : (éventuellement) la température
- ADC : (éventuellement) des mesures visant à limiter l'écoulement des fluides
- ACM : nettoyage

Avec l'introduction de la version 2011 de la norme, le format d'échange BEFDSS a été adapté. Depuis lors, les données d'inventaire sont liées à une investigation visuelle plutôt qu'à un seul tronçon bien défini. Par conséquent, dans le cas d'investigations partielles³⁰, il est possible de créer des investigations multiples pour un tronçon précis avec un nouvel ensemble de données d'inventaire. De cette manière, une conduite peut être inspectée plusieurs fois sans compromettre la variété des circonstances dans lesquelles les différentes investigations ont eu lieu.

Les « contre-investigations » ne sont plus nécessaires. Les aspects liés à l'état rendus visibles par le nettoyage doivent être consignés lors de la reprise de l'investigation visuelle, le cas échéant.

³⁰ Une investigation partielle peut être une investigation qui a été interrompue pour l'une des raisons suivantes : l'état du flux, l'état structurel, le niveau d'eau, la formation de brouillard ou en cas de problèmes techniques de l'équipement.

10.1.6. Raccordements

10.1.6.1. Généralités

Afin de rédiger un rapport structuré et univoque et de le rendre plus lisible pour le client, il est souhaitable que les experts en investigation visuelle des égouts suivent la même systématique générale. Les raccordements sont d'abord inventoriés BCA (type de raccordement) et ensuite tous les aspects supplémentaires liés à l'état tels que : BAH (branchement défectueux) ; BAG (raccordement pénétrant) et BDE (écoulement de fluide dans le tuyau pénétrant) sont à enregistrer. De cette manière, tous les aspects liés à l'état sont consignés et une uniformité est créée entre les différents experts, tant en interne dans les laboratoires qu'en externe. La lisibilité des différents rapports s'en trouve améliorée. Il est important de noter que certains aspects liés à l'état qui sont visibles dans les raccordements³¹ ne peuvent pas être enregistrés en tant que tels avec les codages de la canalisation. Par exemple, une fissure ou une fêlure dans un raccordement ne peut pas être enregistrée avec un code BAB ou BAC. Pour les défauts dans les branchements, seul le code BAH (raccordement défectueux) est disponible.

L'enregistrement d'un raccordement lorsqu'il est utilisé doit se faire de la manière suivante :

Les aspects liés à l'état et les mesures doivent être consignés comme suit :

- On marque l'arrêt à hauteur du centre du raccordement. La circonference autour du raccordement (par exemple, le caoutchouc entre le trou percé et la pièce) est correctement visualisée.
- On vérifie ensuite si le raccordement est ouvert ou fermé.
- Après avoir désactivé l'enrouleur automatique³², la caméra mobile/l'appareil est déplacé(e) vers l'arrière, jusqu'à ce que le raccordement soit entièrement visible. Une photo est alors prise.
- S'il s'agit d'un raccordement pénétrant, il faut reculer suffisamment pour permettre de mesurer le pourcentage de pénétration. La coupe transversale de la conduite doit être entièrement visible au niveau du raccordement.

En cas d'utilisation de techniques 3D et/ou d'autres techniques (par exemple, le scanning laser), la procédure peut être différente.



Figure 68 - Prise d'eau avec fixation de la selle BCA-B (source : CRR)



Figure 69 - Prise d'eau ciselée BCA-E (source : BRRC)

31 Canalisations latérales :

32 Si ce mécanisme est présent, sinon la distance à laquelle se trouve l'accès doit être maintenue d'une autre manière lors de la prise d'une photo à partir d'une position longitudinale différente.

Données détaillées sous forme de tableau en prenant l'exemple d'un « raccordement ouvert ciselé pénétrant» :

Distance	Code continu	Code principal	Caractérisation		Quantification		Emplacement circonférentiel		Raccordement	Référence photo	Référence vidéo	Remarques
			1	2	1	2	1	2				
16,5		BCA	E	A	100		9				00:12:20	...
16,5		BAG			50		9			1	00:12:20	

Tableau 4 - Codage d'un raccordement pénétrant dans une canalisation

10.1.6.2. Inventaire

- Les branchements sont d'abord inventoriés à l'aide du code BCA (type de raccordement).
- Si un raccordement présente un défaut, il doit être enregistré en premier lieu et ensuite seulement le défaut.
- Si de l'eau s'écoule dans la conduite par le raccordement au moment de l'investigation, le code BDE (écoulement de liquide dans le tuyau raccordé) doit également être enregistré.
- Lorsqu'un raccordement est enregistré comme « fermé », cela indique un « raccordement d'attente » (c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'un raccordement partiellement ou totalement obstrué).

10.1.6.3. Type de raccordement

- Raccordement préfabriqué :
 - L'orifice du branchement est réalisé en usine, et un raccord avec joint est généralement intégré.
 - Une section de tuyau courte fabriquée en usine est équipée d'un raccordement fini et est placée entre les sections de tuyau.
- Raccordement avec selle ou plaquette par forage :
 - Raccordement le plus courant, réalisé à l'aide d'une perceuse. Le raccord est muni d'une selle ou plaquette avec un joint en caoutchouc pour assurer l'étanchéité du raccordement.
 - Attention :
 - Selon le type de tuyau, la culotte doit être adaptée à l'épaisseur de la paroi du tuyau principal, sinon, par exemple, il se peut que l'insertion de la culotte soit trop importante.

- Certaines culottes sont adaptées au rayon du tuyau principal. Ici, il est important que les pièces de la culotte soient placées avec l'arrondi dans la bonne direction. Un positionnement incorrect doit être consigné avec le code BAH-A «la position du raccordement n'est pas correcte ».
- un raccordement mal percé (par exemple, la dernière couche du trou s'est détachée de la paroi pendant le perçage; une coquille de béton se détache lorsqu'une pression excessive est exercée sur la perceuse; il en résulte un trou de forage qui présente un effritement important. Il ne faut pas indiquer qu'il s'agit d'un raccordement ciselé (pour cela, il faut utiliser le code BAHZ, où Z= effritement du trou").
- Raccordement plat percé :
 - Raccordement réalisé avec une perceuse sans utiliser d'accessoire spécial.
 - En raison de l'absence d'accessoire (avec butoir de protection et joint en caoutchouc), la conduite latérale ne peut pas être insérée suffisamment ou est insérée trop loin.
- Raccordement plat buriné :
 - Raccordement courant à l'époque (avant 1990), réalisé au burin (trou dentelé).
 - En raison de l'absence d'accessoires (avec butoir de protection et joint en caoutchouc), la conduite latérale ne peut pas être insérée suffisamment ou est insérée trop loin.
 - Si une ouverture importante est apparue entre la circonference du tuyau de raccordement et le tuyau principal, le code supplémentaire BAH(C) doit être enregistré.

10.1.6.4. Autres aspects liés à l'état pour les raccordements

- Les obstacles tels que les pierres, les racines, etc. dans les raccordements ne peuvent être enregistrés qu'en utilisant le code BAH (raccordement défectueux) avec le choix « E » « le tuyau de raccordement est bloqué ».
- Si plusieurs aspects liés à l'état se présentent sur le même raccordement, le code BAH doit toujours être répété pour décrire ces aspects liés à l'état.
- L'axe du raccordement doit être perpendiculaire à l'axe du tuyau principal et se situer entre les positions 10 et 2 sur la coupe transversale du tuyau principal.
- BAG raccordement pénétrant, ici le % de saillie est enregistré par rapport à la hauteur de la coupe

10.1.7. Code BAN « Tuyau poreux »

Selon la norme, le code BAN signifie que « le matériau du tuyau est considéré comme poreux ». En pratique, cela signifie qu'une dégradation superficielle peut permettre à l'expert d'identifier une infiltration visible au moment de l'investigation visuelle. L'utilisation de ce code est souvent fondée sur des hypothèses. La règle d'or pour un expert en investigation visuelle est de ne noter que ce qui est visible au moment de l'investigation visuelle :

- Souvent, une infiltration à travers la paroi du tuyau s'accompagne de dépôts de calcaire, et la fuite est à peine visible. Cela rend l'enregistrement plus difficile. En outre, l'enregistrement

correct du niveau de sévérité du défaut est difficile à résumer dans le code BAN, étant donné que seules la position et la distance sont consignées.

- Pour permettre un enregistrement correct et clair, l'utilisation du code BAN est fortement déconseillée.

Un enregistrement correct, applicable dans tous les cas, est possible en décomposant ce qui est réellement visible. Ces codages peuvent se produire seuls ou en combinaison :

- Infiltration visible (BBF)
- Dépôts de calcaire ou d'oxyde de fer : (BBB) dépôts adhérents - par exemple croûtes
- (BAF) dégradations superficielles - par exemple, agrégats manquants

Plus d'informations : *explication détaillée sur les dépôts de calcaire dans les tuyaux en béton (voir document « STC1CTS1/42/03 ») (Probeton, 2023). Ce document est mis à disposition pour information à l'annexe VI.*

10.1.8. Codes BBF (Infiltration) et BBG (Exfiltration)

Selon la norme, l'infiltration signifie que de l'eau pénètre de manière indésirable dans l'égout. L'exfiltration, à l'inverse, concerne la fuite d'eau non désirée depuis l'égout vers l'extérieur. Ces deux cas peuvent se produire en raison d'un défaut, d'une détérioration de la paroi ou d'un raccord de joint, entre autres. Il est évident que ce codage ne peut être utilisé pour désigner les infiltrations ou exfiltrations qui se produisent lors du fonctionnement normal d'un dispositif d'infiltration.

Les infiltrations peuvent se produire à des degrés divers, du suintement à l'entrée sous pression. Il est très important que, quelle que soit la localisation de l'infiltration, sa sévérité soit correctement évaluée visuellement. Pour pouvoir faire une évaluation correcte, il doit s'écouler suffisamment de temps (au moins quelques jours) entre le nettoyage du tuyau et l'investigation visuelle. Si cela s'avérait impossible pour des raisons pratiques, les suintements et les infiltrations goutte à goutte (en fonction du temps écoulé entre le nettoyage et l'investigation visuelle) pourraient être difficiles à identifier.

Explication des différentes possibilités qui peuvent se présenter :

- Suintement : le tuyau présente une tache ou une zone humide alors que ce n'est pas le cas dans d'autres zones. Comme indiqué supra, cette constatation ne peut se faire que dans de bonnes conditions. Lors du contrôle d'une réception, il est souhaitable que ces conditions soient respectées. Les suintements ne produisent jamais de traînées d'eau qui forment une trace (petite quantité d'eau en pente) dans la cunette du tuyau ou à travers le raccord de tuyau.
- Goutte à goutte : les gouttes qui tombent ne peuvent être détectées que dans un segment de conduite relativement petit, à savoir entre les positions 10h et 2h. Pour la grande majorité des infiltrations par le joint ou par le reste du segment de la conduite entre les positions 2h et 10h, l'expert doit être attentif à la quantité d'eau formée par la fuite. Cela nécessite une attention et une capacité de jugement satisfaisantes de la part de l'expert en investigation visuelle. Lorsqu'une quantité d'eau se forme et s'écoule à intervalles réguliers (en petites quantités) le

long de la paroi ou du joint de la canalisation, on parle d'infiltration goutte à goutte. Si l'eau qui pénètre est calcaire, des traces de dépôt calcaire se formeront également au niveau de la fuite. Les infiltrations goutte à goutte produisent (selon l'emplacement de la fuite) des traînées d'eau qui forment une ligne (petite quantité d'eau en pente) sur la paroi pour entrer dans la cunette du tuyau. La paroi du tuyau est mouillée et présente une pellicule d'eau qui se reflète fortement lorsque l'éclairage est braqué dessus. Les infiltrations goutte à goutte sont plus difficiles à voir dans le joint, un zoom avant et une observation statique pendant un certain temps peuvent apporter une réponse définitive. L'expert en investigation visuelle doit prendre suffisamment de temps pour identifier correctement les infiltrations en tenant compte de leurs caractéristiques.

- Infiltration injectée : un flux continu d'eau pénétrant par un raccordement de tuyaux ou à travers la paroi.
- Injection sous pression : le flux d'eau continu est si important qu'il crée un jet d'eau en fonction du point d'entrée. Si le point d'entrée est situé sous la surface de l'eau, il peut être facilement visible bien qu'aucun jet d'eau visible ne se forme.

10.1.9. Diamètre intérieur du tuyau

Certains systèmes de mesure peuvent mesurer le diamètre intérieur du tuyau/de la canalisation (di).

Le diamètre intérieur du tuyau est une information cruciale pour le calcul d'un certain nombre de données importantes telles que : les déformations, les déviations angulaires, les déplacements axiaux, la mesure des aspects liés à l'état de la paroi (par exemple, les fissures, les raccordements). Il est très important de consigner le diamètre intérieur correct avant le début de l'investigation visuelle. Si ce n'est pas le cas, les valeurs calculées pour les aspects liés à l'état dont question supra sont erronées. Par conséquent, après le contrôle d'une réception, lorsque les valeurs calculées sont comparées aux tolérances imposées par le fabricant en fonction de son produit, il arrive qu'une conduite soit refusée à tort ou inversement, qu'elle soit acceptée à tort.

Certains matériaux utilisés pour les tuyaux, tels que le grès ou le béton, indiquent le diamètre intérieur dans leurs fiches techniques et sont également repris de cette manière sur les plans. Ainsi, un tuyau de 500 mm de diamètre a également un diamètre intérieur de 500 mm (compte tenu des tolérances admises lors de la production).

Les matériaux thermoplastiques, en revanche, ont un diamètre extérieur soumis à une norme. Cela permet de les raccorder de manière étanche, quel que soit le groupe de matériaux au sein des thermoplastiques et l'épaisseur de la paroi. Il faut déduire le diamètre intérieur en se basant sur la classe SN.

Attention : il y a des exceptions ; au moindre doute, la fiche technique des tuyaux doit être demandée à l'entrepreneur.

Le document « Systèmes de canalisation en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement selon la norme NBN EN 1401-1 (NBN, 2019+2023) et les tuyaux d'assainissement en polypropylène selon la norme NBN EN 1852-1 (NBN, 2018+2022) - Diamètre intérieur par classe SN (DN/ID) » constitue une bonne aide pour choisir le diamètre intérieur correct en fonction du type de matériau thermoplastique. Voir Annexe V”.

10.1.10. Modification du diamètre du tuyau pendant l'investigation visuelle

Le code AEC permet d'enregistrer les changements de diamètre et de forme au cours de l'investigation visuelle. Des mesures en fonction du système sont possibles dans différents diamètres. Certains systèmes continueront à utiliser la valeur introduite dans le code d'inventaire initial AEC pour calculer les valeurs basées sur le nouveau diamètre. Ce problème (erreur dans le logiciel) peut être résolu temporairement en associant au code AEC le diamètre modifié lorsqu'un changement de diamètre est effectué. Une fois l'investigation du tronçon terminée, cette valeur doit être remodifiée.

Il convient de vérifier comment le système gère cette question avant d'utiliser la valeur mesurée (calculée).

Attention : lorsque, en raison d'un diamètre intérieur initial incorrect, le diamètre de la conduite est ajusté, il faut s'assurer que les mesures qui ont été prises sont basées sur ce diamètre incorrect et sont

donc également erronées (voir point précédent). En conséquence, il faut recommencer l'investigation de la canalisation en question.

10.2. Investigation visuelle des conduites latérales

Les raccordements latéraux, y compris la chambre de visite de raccordement domestique, qui est généralement situé dans l'alignement, font partie du réseau public d'assainissement. Lors de l'investigation de réception d'un nouveau système, ces conduites latérales sont en principe inspectées en même temps que celui-ci. Il existe souvent une certaine confusion quant à la technique d'investigation visuelle à utiliser pour ces investigations de réception. La norme prévoit une investigation à partir de l'égout principal jusqu'à la chambre de visite de raccordement domestique, également connue sous le nom d'investigation satellite (voir section suivante 10.2.2). C'est le seul moyen de vérifier si le système latéral a été mis en œuvre comme prévu. La norme prévoit que la conduite principale et les conduites latérales doivent être pourvues de nœuds. Les nœuds de la ligne latérale sont reliés à la conduite principale. De cette manière, tout peut être intégré dans un système GIS.

Une investigation de réception d'une conduite latérale a la même qualité qu'une réception de la conduite principale. Cependant, il y a un certain nombre de préoccupations :

- Il faut s'efforcer de positionner la tête de la caméra au centre de la coupe transversale de la conduite. Pour ce faire, il est possible d'utiliser des accessoires placés autour ou juste derrière la tête de la caméra. Là encore, il y a une illusion d'optique entre les images prises près de la paroi et celles qui sont prises à 180° par rapport à la paroi. Il est alors compliqué, voire impossible de mesurer l'ampleur de l'aspect lié à l'état.
- La mesure de la distance enregistrée avec l'appareil doit correspondre à la distance réelle calculée à partir du point de départ (ABC A ou B).
- La saisie correcte et complète des données d'inventaire fournies est également nécessaire.
- La plupart des systèmes ne permettent pas de mesurer la pente. Les irrégularités visibles du profil longitudinal doivent être consignées. On peut souvent déduire leur présence par la stagnation de l'eau dans la canalisation. Les contre-pentes significatives sont consignées à l'aide de deux niveaux d'eau continus (voir point 7.2.5).
- La mesure correcte des assemblages déplacés est due au fait que le centre de la lentille de la caméra ne se trouve pas au centre de la section transversale de la canalisation. Si la tête de caméra est équipée de lasers de référence, cela représente un avantage lorsqu'ils sont utilisés correctement.

Attention : lors de la réception de conduites latérales (raccordements domestiques) nouvellement mises en œuvre, les capacités techniques de la tête de caméra font que, dans la plupart des cas, il n'est pas possible d'effectuer toutes les mesures prévues. Le format d'échange BEDFSS_DP-nvm peut alors être utilisé (voir annexe I). Il est important que le laboratoire indique clairement quelles mesures sont fournies et avec quelle précision.

10.2.1. Investigation visuelle à l'aide d'une caméra poussée

Pour l'investigation visuelle de conduites latérales, les données et les images sont transmises de la même manière que pour la conduite principale. Les investigations de réception effectuées avec une caméra poussée depuis la chambre de visite de raccordement domestique vers l'égout principal ne donnent pas le même résultat et il est très compliqué de les relier au nœud avec la conduite principale.

Un système de caméra poussée doit remplir les critères suivants :

- La qualité d'image doit correspondre aux exigences définies pour l'investigation visuelle de la canalisation principale (résolution et palette de couleurs).
- La tête de la caméra est inclinable et rotative et peut regarder vers la paroi du tuyau à un angle d'au moins 90°.
- L'éclairage est réglable.
- La caméra est dotée de réglages manuels et autofocus.

Les points suivants offrent une valeur ajoutée mais ne sont pas encore, à ce jour, des caractéristiques standard :

- Les points de référence laser permettent d'effectuer des mesures sur la paroi du tuyau, même lorsque le centre de la lentille de la caméra n'est pas dans l'axe de la conduite.
- Les lasers à distance rotatifs permettent de déterminer le diamètre et d'identifier les éventuelles déformations de la conduite.
- Les accessoires montés autour du boîtier de la caméra permettent de s'assurer que le centre de la lentille de la caméra correspond à l'axe de la conduite.

Le laboratoire/la société qui effectue l'investigation visuelle doit indiquer à l'avance les aspects liés à l'état qui seront mesurés et la précision de ces mesures si elles ne sont pas conformes au tableau 7 « Écarts admissibles » (voir le point 11.4). Le format BEFDSS-DP (nvm) permet d'échanger les aspects liés à l'état. (Voir Annexe I)

10.2.2. Investigation visuelle à l'aide d'une caméra satellite

Une caméra satellite est une tête de caméra fixée à l'extrémité d'un câble rigide (généralement renforcé de fibres optiques). Un robot autopropulsé amène la tête de la caméra avec un câble jusqu'à l'entrée (d'où le tuyau latéral sera soumis à une investigation visuelle). Le tout est relié par deux câbles distincts à l'installation dans le véhicule. Un câble pour le robot de la conduite principale et un câble rigide (qui transporte notamment les images vers le studio mobile) relié à la tête de caméra qui est poussée dans la conduite latérale par un système de transmission monté sur le robot de la conduite principale). Ce robot (qui se trouve dans la conduite principale) est équipé d'une caméra qui effectuera deux tâches : d'une part, s'assurer que la tête de caméra (satellite) qui effectuera l'investigation latérale est correctement positionnée devant l'entrée d'où partira l'investigation visuelle ; d'autre part, vérifier que la tête de la caméra (satellite) est insérée dans la conduite latérale en douceur et sans risque (idem lors du retrait de la tête de la caméra). Un système d'entraînement (plusieurs rouleaux

d'alimentation souples entraînés) monté sur le robot dans la conduite principale fournit la force de poussée sur le câble rigide. La force de poussée est nécessaire à la progression de la tête de la caméra dans la conduite latérale. En raison des fortes différences possibles entre les diamètres de la conduite principale, et donc de la distance entre le robot dans la conduite principale et le branchement, le robot dans la conduite principale est équipé d'un accessoire modifié (généralement en plastique). Cet accessoire sert à insérer la tête de la caméra juste en dessous de la conduite latérale à inspecter et l'investigation visuelle de la conduite latérale peut alors commencer.

Le compteur de distance est remis à zéro et l'investigation visuelle du premier branchement peut commencer. L'expert en investigation visuelle peut visualiser les images des deux caméras. La caméra sur le robot dans la conduite principale permet à l'expert d'avoir une bonne vue du raccordement où le câble de la caméra satellite est inséré. Il peut ainsi vérifier que tout se passe bien. La plupart des systèmes modernes permettent, à partir de la première conduite latérale, d'inspecter visuellement une deuxième conduite, qui est une dérivation de la première (voir les représentations schématiques ci-dessous). Il existe plusieurs outils, en fonction de la marque, qui permettent de placer facilement la caméra dans « un branchement ». Ainsi, une sorte de tige directionnelle peut être montée sur la tête de la caméra. D'autres systèmes utilisent un col directionnel monté sur le câble, juste derrière la tête de la caméra. Ces deux outils peuvent être actionnés par l'opérateur du système. La tête de la caméra est mobile (rotation et inclinaison). Si la tête de la caméra est équipée de lasers de référence, il est possible de mesurer les dommages causés à la paroi du tuyau. Si ce n'est pas le cas, seule une estimation de l'ampleur de l'aspect lié à l'état peut être réalisée. Le laboratoire/la société qui effectue l'investigation visuelle doit indiquer à l'avance les aspects liés à l'état qui seront mesurés et la précision de ces mesures si elles ne sont pas conformes au tableau 7 « Écarts admissibles » (voir le point 11.4). Le format BEFDSS-DP (nvm) permet d'échanger les aspects liés à l'état susmentionnés. (Voir Annexe I)

Certaines têtes de caméra sont équipées d'un gyroscope, la direction suivie par la tête de caméra est enregistrée ainsi que la distance. Ainsi, un dessin en 3D des conduites latérales peut être généré par la suite.

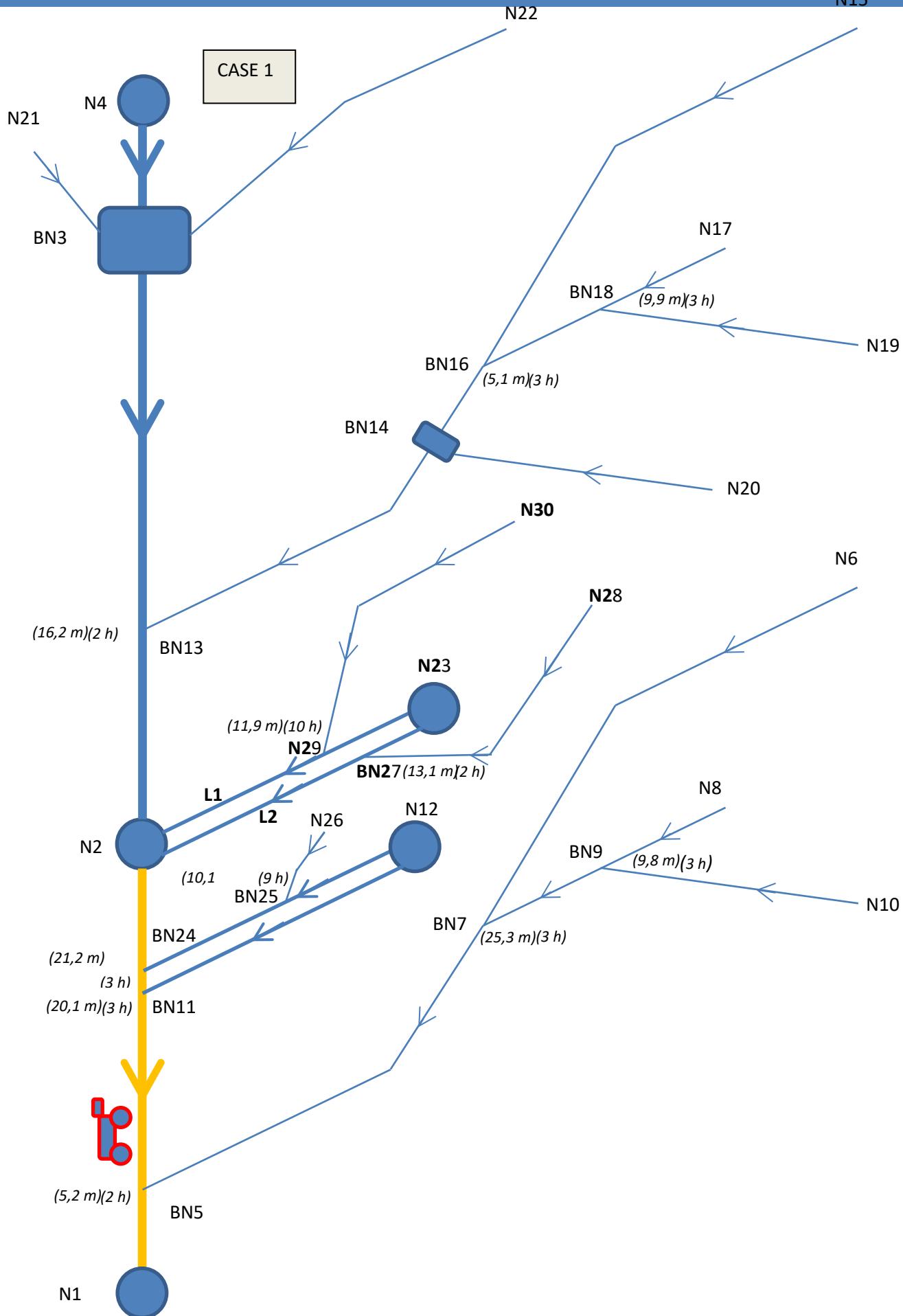
Une investigation d'une conduite latérale à l'aide d'une caméra satellite est effectué à partir de la conduite principale. Attention : par conduite principale, on n'entend pas toujours la conduite où se trouve la caméra mobile, à partir de laquelle la caméra satellite a été introduite dans une conduite latérale. De fait, l'investigation peut commencer à partir d'un branchement qui part de la conduite où est installé(e) la caméra mobile/l'appareil avec structure satellite. Pour plus de précision sur les possibilités offertes pour les enregistrements de branchement à branchement, consultez les schémas ci-après. Chaque schéma est suivi d'un tableau qui indique les codages à indiquer pour cartographier l'ensemble.



Figure 70 - ROVION-SAT-II (source : _IPEK)



Figure 71 - PKM 200 (source : RAUSCH)



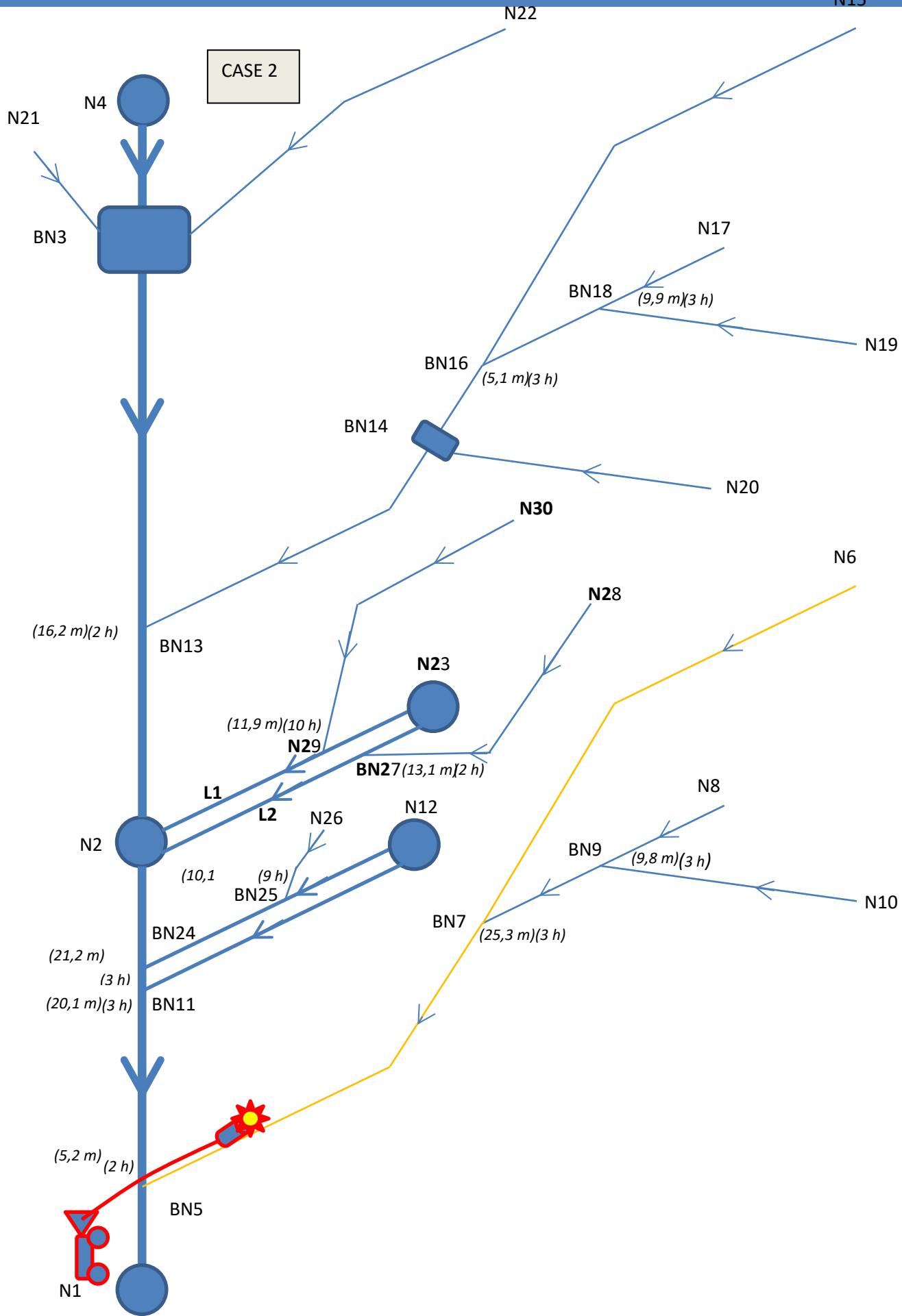
AAA	AAZ	AAB	AAC	AAD	AAE	AAF	AAG	AAH	AAI	AAK	AAT	AAU	AAV
N1-N2	-	-	-	N1	xyz	N2	xyz	-	-	B	-	-	-
N2-BN3	-	-	-	N2	xyz	BN-3	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N4	-	-	-	BN3	xyz	N4	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N21		-	-	BN3	xyz	N21	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N22		-	-	BN3	xyz	N22	xyz	-	-	B	-	-	-
BN5-N6	N1-N2	N1	xyz	BN5	xyz	N6	xyz	5,2 m	2 h	B	N2	xyz	A
BN7-N8	BN5-N6	BN5	xyz	BN7	xyz	N8	xyz	25,3 m	3 h	B	N6	xyz	A
BN9-N10	BN7-N8	BN7	xyz	BN9	xyz	N10	xyz	9,8 m	3 h	B	N8	xyz	A
BN11-N12	N1-N2	N1	xyz	BN11	xyz	N12	xyz	20,1 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN24-N12	N1-N2	N1	xyz	BN24	xyz	N12	xyz	21,2 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN25-N26	BN24-N12	BN24	xyz	BN25	xyz	N26	xyz	10,1 m	9h	B	N12	xyz	A
L1	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN29-N30	L1	N2	xyz	BN29	xyz	N30	xyz	11,9 m	10 h	B	N23	xyz	A
L2	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN27-N28	L2	N2		BN27	xyz	N28	xyz	13,1 m	2 h	B	N23	xyz	A
BN13-BN14	N2-BN3	N2	xyz	BN13	xyz	BN14	xyz	16,2 m	2 h	B	BN3	xyz	A

BN14-N20	-	-	-	BN14	xyz	N20	xyz	-	-	B	-	-	-
BN14-N15	-	-	-	BN14	xyz	N15	xyz	-	-	B	-	-	-
BN16-N17	BN14-N15	BN14	xyz	BN16	xyz	N17	xyz	5,1 m	3 h	B	N15	xyz	A
BN18-N19	BN16-N17	BN16	xyz	BN18	xyz	N19	xyz	9,9 m	3 h	B	N17	xyz	A

AAA = conduite à examiner**AAF** = nœud 2 (l'investigation se termine à ce nœud)**AAD** = nœud 1 (l'investigation commence à ce nœud)**AAG** = coordonnées du nœud 2**AAE** = coordonnées du nœud 1**AAK** = le sens de l'investigation (SO - SA - O)

N (Node)

BN (Blind Node)



AAA	AAZ	AAB	AAC	AAD	AAE	AAF	AAG	AAH	AAI	AAK	AAT	AAU	AAV
N1-N2	-	-	-	N1	xyz	N2	xyz	-	-	B	-	-	-
N2-BN3	-	-	-	N2	xyz	BN-3	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N4	-	-	-	BN3	xyz	N4	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N21		-	-	BN3	xyz	N21	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N22		-	-	BN3	xyz	N22	xyz	-	-	B	-	-	-
BN5-N6	N1-N2	N1	xyz	BN5	xyz	N6	xyz	5,2 m	2 h	B	N2	xyz	A
BN7-N8	BN5-N6	BN5	xyz	BN7	xyz	N8	xyz	25,3 m	3 h	B	N6	xyz	A
BN9-N10	BN7-N8	BN7	xyz	BN9	xyz	N10	xyz	9,8 m	3 h	B	N8	xyz	A
BN11-N12	N1-N2	N1	xyz	BN11	xyz	N12	xyz	20,1 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN24-N12	N1-N2	N1	xyz	BN24	xyz	N12	xyz	21,2 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN25-N26	BN24-N12	BN24	xyz	BN25	xyz	N26	xyz	10,1 m	9h	B	N12	xyz	A
L1	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN29-N30	L1	N2	xyz	BN29	xyz	N30	xyz	11,9 m	10 h	B	N23	xyz	A
L2	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN27-N28	L2	N2		BN27	xyz	N28	xyz	13,1 m	2 h	B	N23	xyz	A
BN13-BN14	N2-BN3	N2	xyz	BN13	xyz	BN14	xyz	16,2 m	2 h	B	BN3	xyz	A

BN14-N20	-	-	-	BN14	xyz	N20	xyz	-	-	B	-	-	-
BN14-N15	-	-	-	BN14	xyz	N15	xyz	-	-	B	-	-	-
BN16-N17	BN14-N15	BN14	xyz	BN16	xyz	N17	xyz	5,1 m	3 h	B	N15	xyz	A
BN18-N19	BN16-N17	BN16	xyz	BN18	xyz	N19	xyz	9,9 m	3 h	B	N17	xyz	A

AAA = conduite à examiner

AAI = position par rapport à AAB (nœud AAD)

AAB = référence du nœud pour l'emplacement de la conduite latérale

AAK = sens de l'investigation (SO - SA - O)

AAC = coordonnées du nœud de départ

AAT = référence du nœud 3 (nœud utilisé comme point de référence et indiquant donc déjà la direction sur laquelle AAH est basé)

AAD = nœud 1 (l'investigation commence à ce nœud)

AAU = coordonnées du nœud 3 (nœud utilisé comme point de référence et indiquant donc déjà la direction sur laquelle AAH est basé)

AAE = coordonnées du nœud 1

AAV = point de départ latéral (le point de départ de l'investigation latérale comme suit :

- Le raccordement au « collecteur principal » (A) - / - (B) -) AAV sera donc toujours « A » du fait que, dans un système complexe, la conduite à laquelle est raccordée la conduite à examiner est considérée comme la « conduite principale ».

AAF = nœud 2 (l'investigation se termine au niveau de ce nœud)

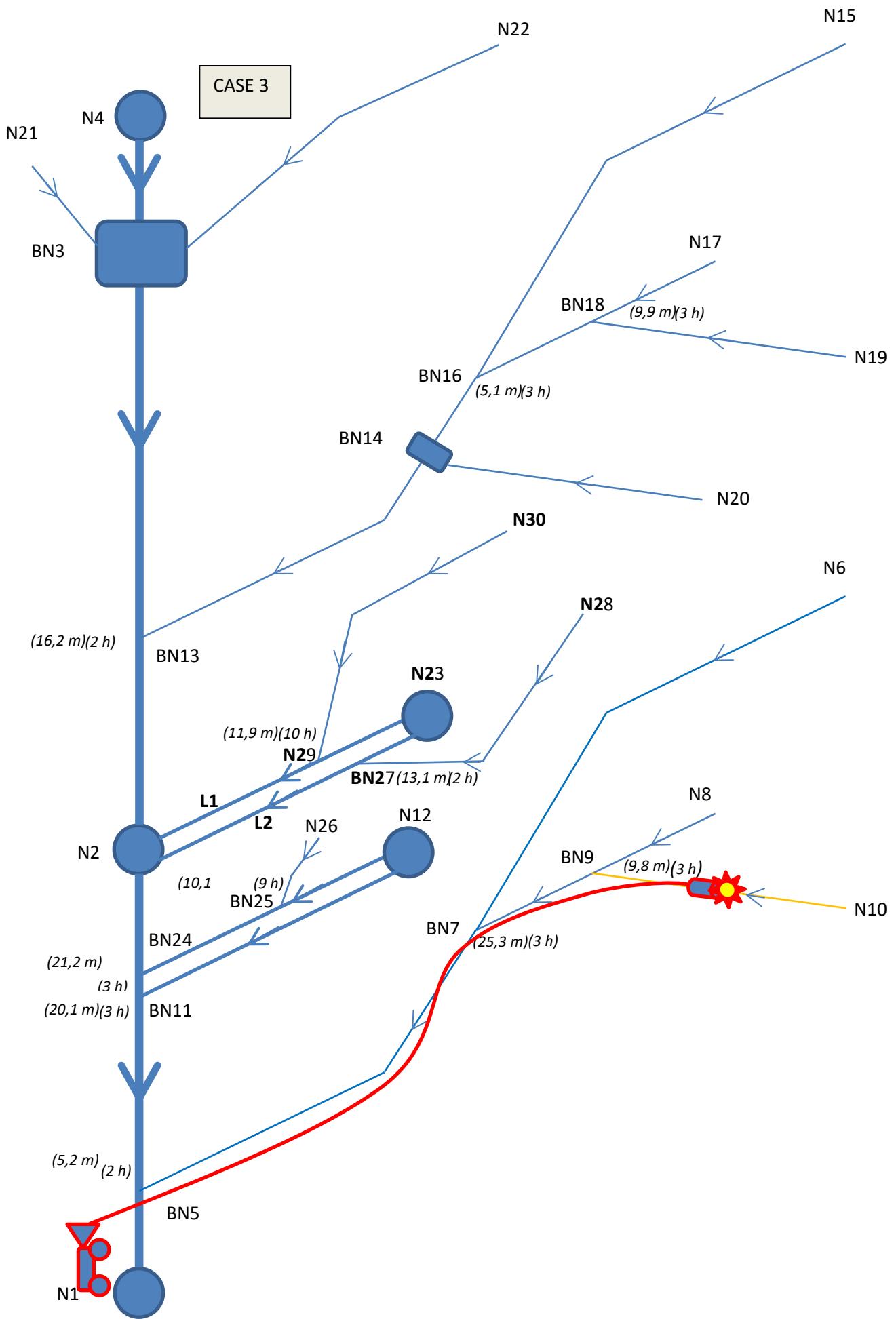
AAZ = référence de la « conduite principale » à partir de laquelle la canalisation latérale est dérivée

AAG = coordonnées du nœud 2

N (Node)

AAH = distance par rapport à AAB (nœud AAD)

BN (Blind Node)



AAA	AAZ	AAB	AAC	AAD	AAE	AAF	AAG	AAH	AAI	AAK	AAT	AAU	AAV
N1-N2	-	-	-	N1	xyz	N2	xyz	-	-	B	-	-	-
N2-BN3	-	-	-	N2	xyz	BN-3	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N4	-	-	-	BN3	xyz	N4	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N21		-	-	BN3	xyz	N21	xyz	-	-	B	-	-	-
BN3-N22		-	-	BN3	xyz	N22	xyz	-	-	B	-	-	-
BN5-N6	N1-N2	N1	xyz	BN5	xyz	N6	xyz	5,2 m	2 h	B	N2	xyz	A
BN7-N8	BN5-N6	BN5	xyz	BN7	xyz	N8	xyz	25,3 m	3 h	B	N6	xyz	A
BN9-N10	BN7-N8	BN7	xyz	BN9	xyz	N10	xyz	9,8 m	3 h	B	N8	xyz	A
BN11-N12	N1-N2	N1	xyz	BN11	xyz	N12	xyz	20,1 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN24-N12	N1-N2	N1	xyz	BN24	xyz	N12	xyz	21,2 m	3 h	B	N2	xyz	A
BN25-N26	BN24-N12	BN24	xyz	BN25	xyz	N26	xyz	10,1 m	9h	B	N12	xyz	A
L1	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN29-N30	L1	N2	xyz	BN29	xyz	N30	xyz	11,9 m	10 h	B	N23	xyz	A
L2	-	-	-	N2	xyz	N23	xyz	-	-	B	-	-	-
BN27-N28	L2	N2		BN27	xyz	N28	xyz	13,1 m	2 h	B	N23	xyz	A
BN13-BN14	N2-BN3	N2	xyz	BN13	xyz	BN14	xyz	16,2 m	2 h	B	BN3	xyz	A

BN14-N20	-	-	-	BN14	xyz	N20	xyz	-	-	B	-	-	-
BN14-N15	-	-	-	BN14	xyz	N15	xyz	-	-	B	-	-	-
BN16-N17	BN14-N15	BN14	xyz	BN16	xyz	N17	xyz	5,1 m	3 h	B	N15	xyz	A
BN18-N19	BN16-N17	BN16	xyz	BN18	xyz	N19	xyz	9,9 m	3 h	B	N17	xyz	A

AAA = conduite à examiner

AAI = position par rapport à AAB (nœud AAD)

AAB = référence du nœud pour l'emplacement de la conduite latérale

AAK = sens de l'investigation (SO - SA - O)

AAC = coordonnées du nœud de départ

AAT = référence du nœud 3 (nœud utilisé comme point de référence et indiquant donc déjà la direction sur laquelle AAH est basé)

AAD = nœud 1 (l'investigation commence à ce nœud)

AAU = coordonnées du nœud 3 (nœud utilisé comme point de référence et indiquant donc déjà la direction sur laquelle AAH est basé)

AAE = coordonnées du nœud 1

AAF = nœud 2 (l'investigation se termine au niveau de ce nœud)

AAG = coordonnées du nœud 2

AAH = distance par rapport à AAB (nœud AAD)

AAV = point de départ latéral (le point de départ de l'investigation latérale comme suit :

- Le raccordement au « collecteur principal» (A) - / le troisième nœud (B) -) AAV sera donc toujours «A» du fait que, dans un système complexe, la conduite à laquelle est raccordée la conduite à inspecter est considérée comme la principale».

AAZ = référence de la « conduite principale » à partir de laquelle la canalisation latérale est dérivée

N (Node)

BN (Blind Node)

10.3. Investigation visuelle du regard

Exemple de données détaillées sous forme de tableau :

Distance	Code continu	Code principal	Caractérisation		Quantification		Emplacement circonférentiel	Raccordement	Localisation décrite	Référence photo	Référence vidéo	Remarques	
			1	2	1	2							
0,00		DDA					12	12	A	1	00:00:30	Vue d'ensemble de l'implantation	
0,00		DDA							A	2	00:01:05	Tampon fermé	
0,00		DDB							A	3	00:01:38	Tampon ouvert avec cadre	
0,35		DBF	B	A			8	10	A	C	4	00:02:10	...
0,35	A01	DBB	A		20		8	10		C	5	00:02:20	...
1,35		DBB	A		65		9			C	6	00:05:12	
2,05		DCO	A		1000					F	7	00:08:03	...
2,05		DDA					12	12		F	8	00:08:30	Aperçu banquette, cunette
2,24		DCA	A		P0-P1	P0	6			H	9	00:10:10	...
2,24		DCG	A	A	400		6			H	10	00:10:18	...
2,24		DDE	A	C	10		6			H	11	00:10:25	...
2,25		DCA	A		P1-P2	P2	12			H	12	00:11:18	...
2,25		DCG	A	B	400		12			H	13	00:11:41	...
2,25		DCH	B							H	14	00:11:58	...
2,51		DDD							I	15	00:12:36	...	
2,55	B01	DBB	A		20		8	10	A	I		00:13:25	...
2,55		DCI	B		400	200				I	16	00:14:05	...

Tableau 5 - Données à titre d'exemple

10.3.1. Généralités

Toute observation est photographiée, à l'exception de celles pour lesquelles un codage continu est désactivé (B01, B02, B...).

Il est important d'examiner également le dessous de la dalle de couverture et, le cas échéant, le dessous de la dalle de réduction. Pour ce faire, la lentille doit être inclinée vers le haut, en fonction du système de caméra.

Le radier ou la cunette du regard n'est pas toujours physiquement accessible, par exemple en raison d'un niveau d'eau élevé. La profondeur totale peut être mesurée physiquement ou calculée à partir de la conduite entrante et sortante, selon le cas.

L'investigation visuelle est menée dans la direction de 12h (la plus grande conduite sortante la plus profonde se trouve à la position 12h lorsque la caméra est dirigée vers le bas). Les photos prises depuis la surface, par exemple du tampon, sont également prises dans la direction de la position 12h. L'avantage est que vous n'avez pas à vous demander après coup dans quel sens la photo aurait été prise.

10.3.2. Codages fixes

L'investigation du regard ne commence pas explicitement par un code fixe. Si le couvercle du regard ne présente aucune dégradation, le code DDA est utilisé pour enregistrer une photo générale montrant le dispositif de couverture en position fermée. Ceci s'applique également au cadre lorsque le tampon est ouvert, les deux enregistrements susmentionnés sont enregistrés à 0,00 m (voir exemple de données tableau et photo ci-dessous).

Pour l'investigation d'un regard, il convient d'enregistrer au moins les codages suivants :

- DDA (photo générale): ce codage est utilisé à plusieurs reprises pour donner un aperçu visuel de certaines parties du regard.
- DCA (type de conduite de raccordement).
- DCG (conduite de raccordement).
- DDE (débit de fluide dans la conduite d'arrivée).
- DCO (coupe transversale de la chambre) si les regards sont très peu profonds, la chambre se réfère à la partie inférieure du regard à laquelle la conduite entrante et/ou sortante est raccordée. Les dimensions sont mesurées au-dessus de ces tuyaux.

Si présent :

- DCH (Banquette).
- DCI (Cunette).
- DDD (Niveau d'eau).

10.3.3. Codages continus

Les codages continus dans le sens vertical sont indiqués en utilisant l'indication au début de l'observation « A » + numéro de suite (par exemple A01). Le codage ouvert est désactivé par « B » + numéro de suite (p. ex. B01).

« A01 » et « B01 » sont liés par le même numéro de suite. Cela permet de déterminer la longueur de l'observation (dans le sens vertical). Plusieurs codages continus peuvent être actifs en même temps, avec un nouveau numéro de suite incrémentiel à chaque fois. Le numéro est unique dans le cadre d'une seule et même investigation de regard. Des codages continus sont désactivés à la fin ou lorsqu'on suspend l'investigation visuelle du regard.

Attention :

Les codages continus peuvent également être utilisés pour indiquer les observations qui se reproduisent à chaque joint (tant que le code continu est ouvert), par ex. DBF (infiltration) ; DBB (dépôt adhérent) à condition que :

- L'ampleur de l'observation soit la même et se trouve à la même position horaire.
- Pour les codages continus, une plus grande partie peut être enregistrée individuellement tandis que la partie initiale (plus petite) se poursuit parallèlement. Bien entendu, l'inverse n'est pas possible.
- Les codages continus ne peuvent pas être utilisés pour enregistrer les assemblages déplacés (DAJ).
- La lettre « A » au raccordement est indiquée dans la case du même nom (voir point 10.3.4)

(Voir le tableau 5 des exemples de données)

10.3.4. Observations pour un assemblage

Un assemblage est le point de jonction entre deux sections de regard adjacentes reliées dans le sens vertical.

Les observations effectuées pour un assemblage sont indiquées dans la case du même nom par la lettre « A ».

Il est donc possible de distinguer si les observations ont été constatées à un assemblage. Pour certains codages, c'est la norme. En voici quelques exemples :

- DAJ (raccordement déplacé : A (axial), B (radial), C (déviation angulaire)).
- DAI (matériau d'étanchéité en suspension).

Pour d'autres codages, cela peut aussi être le cas, mais pas nécessairement :

- DAG (raccordement entrant).
- DAH (branchemennt défectueux).
- DAL (réparation défectueuse).
- DAO (sol visible en raison d'un défaut).
- DAP (vides visibles en raison d'un défaut).

- DAQ (défauts sur un échelon ou une échelle).
- DBA (racines).
- DBB (dépôt adhérent).
- DBD (entrée de sable-terre).
- DBE (autres obstacles).
- DBF (infiltration).
- DBG (exfiltration).
- DBH (présence de vermine).
- DCA (entrée).
- DCG (conduite de raccordement).

Pour choisir une technique de réparation appropriée lors de l'évaluation, il est important de pouvoir distinguer les aspects liés à l'état, identifiés au niveau d'un raccordement ou au niveau de la paroi du tuyau.

(Voir l'exemple de tableau de données).

10.3.5. Positions horaires

On attribue la position 12h au centre de la plus grande conduite sortante (la plus profonde). Selon le codage, une ou deux positions peuvent être indiquées.

10.3.6. Localisation décrite

L'emplacement décrit est la partie du regard où se trouve l'aspect lié à l'état (il ne s'agit pas nécessairement de l'emplacement à partir duquel la photo correspondante a été prise).

- Pour une investigation de regard, chaque observation doit indiquer l'emplacement décrit :
 - Tampon et cadre (A) ;
 - Construction de réglage (B) ;
 - Cheminée (C) ;
 - Cône de réduction (D) ;
 - Dalle de réduction (E) ;
 - Chambre (F) ;
 - Palier (G) ;
 - Banquette (H) ;
 - Cunette (I) ;
 - Radier (J).

On a soit une cunette (accompagnée d'une banquette), soit un radier (sans cunette). En d'autres termes, lorsqu'un radier est enregistré, il s'agit généralement d'un regard ayant une fonction supplémentaire de collecteur de sable ou de bassin de décantation. Dans la pratique, d'autres combinaisons sont possibles, par exemple au niveau d'un regard initial ou d'un regard à chute, il se peut que la cunette dans le radier ne soit que partiellement présente.

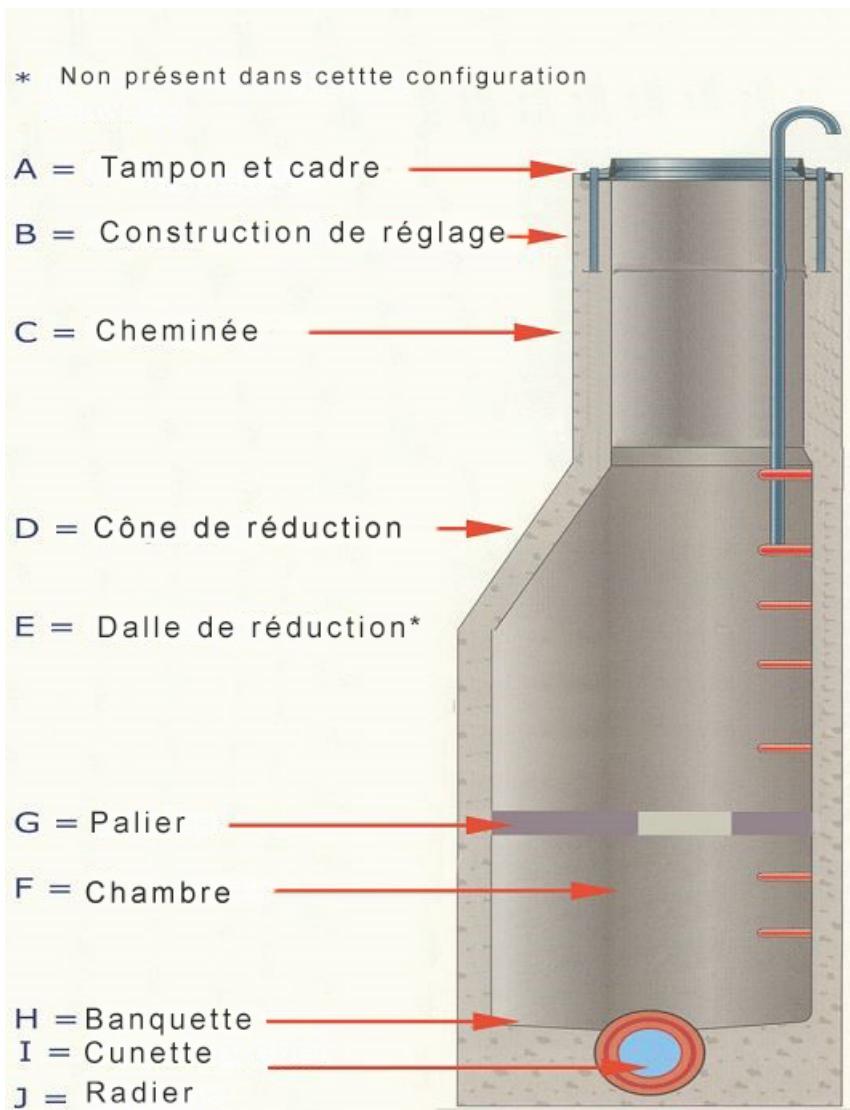


Figure 72 - Représentation schématique d'un regard et de ses éléments (source : CRR)

10.3.7. Début, fin et interruption d'une investigation

L'investigation d'un regard commence avec le code DDA (photo générale) et se termine quand le point d'arrivée est atteint avec le code DCI (informations sur la cunette). Dans tous les autres cas, l'investigation est interrompue avec le code DDC (investigation interrompue) précédé du code qui a provoqué l'interruption, par exemple DDD (niveau d'eau). Lorsqu'une investigation est interrompue pour une raison quelconque, elle peut être recommandée au début (après nettoyage, suppression de l'obstacle ou autre intervention); ou on peut reprendre l'investigation à partir de l'endroit où elle a été interrompue. Si cette option est choisie (en concertation avec le maître d'ouvrage), cela doit clairement figurer dans le rapport. Comme les aspects liés à l'état sont plus visibles après nettoyage, il est préférable d'opter pour la première option.

Les aspects liés à l'état rendus visibles après nettoyage doivent être consignés lors de la reprise de l'investigation visuelle, le cas échéant.

10.3.8. Branchements

10.3.8.1. Généralités

Pour rédiger un rapport de manière structurée et sans ambiguïté, il est préférable que l'expert s'en tienne à une seule systématique générale :

- D'abord, répertorier les branchements DCA (type de raccordement) et DCG (conduite de raccordement).
- Ensuite, enregistrer tout autre aspect lié à l'état, tel que DAH (branchement défectueux).

De cette manière, tous les aspects liés à l'état sont consignés et une uniformité est créée entre les différents experts, tant en interne dans les laboratoires qu'en externe. La lisibilité des différents rapports s'en trouve améliorée.

Il est important de noter que certains aspects liés à l'état visibles dans les raccordements ne peuvent pas être enregistrés en tant que tels avec les codages du regard. Par exemple, une fissure ou une fêlure dans un raccordement ne peut pas être enregistrée avec un code DAB ou DAC, mais uniquement avec le code DAH (raccordement défectueux).

Lors de l'enregistrement d'un raccordement, tous les aspects liés à l'état et aux mesures doivent être enregistrés comme suit :

- On marque l'arrêt à hauteur du centre du raccordement.
- La circonférence autour du raccordement (par exemple, le caoutchouc entre le trou percé et la pièce) est correctement visualisée.
- On constate si le raccordement est ouvert ou fermé.
- Compte tenu du système utilisé pour l'investigation, une attention suffisante doit être accordée à l'enregistrement correct de la distance dans le sens vertical et de la position où se trouve le raccordement. L'axe passant par le centre de la lentille doit être perpendiculaire à la paroi du tuyau.

Pour éviter que la distance change lorsqu'une photo est prise d'un point situé plus haut ou plus bas afin d'obtenir une image complète de raccordement, en fonction de la technique d'investigation utilisée :

- Le mécanisme à enrouleur automatique est désactivé.
- L'angle de vue est ajusté sans toucher à la distance (par exemple, dans une investigation 3D pendant le codage).

La procédure peut varier en cas d'utilisation de techniques 3D et/ou d'autres techniques (par exemple, le scanning laser, etc.).

10.3.8.2. Inventaire

Les branchements sont d'abord inventoriés à l'aide du code DCA (type de raccordement) et DCG (conduite de raccordement) :

- Code DCA : le nom de la conduite de raccordement + le nom du nœud auquel cette canalisation est raccordée, par exemple avaloir. Si ces références sont disponibles sur le plan, elles doivent être reprises. Si elles ne sont pas disponibles, il convient de trouver un nom logique qui puisse

être facilement retrouvé par la suite. En voici quelques exemples : AVC1, AVC2, ... (conduite d'avaloir); AV1, AV2, ... (avaloir); C1, C2, ... (conduite); R1, R2, ... (regard).

- Le code DCG (conduite de raccordement) comprend la forme et le diamètre et indique si le raccordement se déverse dans ou hors du regard ou s'il est fermé (= « raccordement d'attente »).

Si un raccordement présente un défaut, on consigne d'abord le raccordement, puis seulement le défaut.

Il est conseillé d'enregistrer les raccordements à partir du point de référence (position 12h) en descendant en spirale dans le sens des aiguilles d'une montre. On peut ainsi s'assurer de l'enregistrement de tous les raccordements.

Si de l'eau est déversée dans la conduite par le raccordement au moment de l'investigation, le code DDE (écoulement de liquide dans le tuyau raccordé) doit également être enregistré.

Lorsqu'un raccordement est enregistré comme « fermé », cela indique un « raccordement d'attente » (c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas d'une obstruction partielle ou totale).

10.3.8.3. Autres aspects liés l'état pour les branchements

- Les obstacles tels que les pierres, les racines, etc. dans les raccordements ne peuvent être enregistrés qu'en utilisant le code DAH (raccordement défectueux) avec le choix « E » « le tuyau de raccordement est bloqué ».
- DAG (raccordement entrant), la longueur de la saillie en mm.
- En cas de défauts multiples sur le même raccordement, le code DAH doit toujours être répété pour décrire ces défauts.

10.3.9. Code DAN « Paroi du regard poreuse »

Selon la norme, le code DAN signifie que «la paroi du regard est considérée comme poreuse ». En pratique, cela signifie qu'une dégradation superficielle peut permettre à l'expert d'identifier une infiltration visible au moment de l'investigation visuelle. L'utilisation de ce code est souvent fondée sur des hypothèses. La règle d'or pour un expert est de ne noter que ce qui est visible au moment de l'investigation visuelle.

Souvent, une infiltration à travers la paroi de la conduite s'accompagne de dépôts de calcaire, et la fuite est à peine, voire pas, visible. Cela rend l'enregistrement plus difficile. En outre, l'enregistrement correct de la sévérité du défaut est difficile à résumer dans le code DAN, étant donné que seules la position et la distance sont consignées.

Pour permettre un enregistrement correct et clair, l'utilisation du code DAN est fortement déconseillée. Un enregistrement correct, applicable dans tous les cas, est possible en décomposant ce qui est réellement visible. Ces codages peuvent se produire seuls ou en combinaison :

- Infiltration visible (DBF).
- Dépôts de calcaire ou d'oxyde de fer : DBB (dépôts adhérents) – p. ex. croûtes.
- Dégradations superficielles : DAF – p. ex. agrégats manquants.

Plus d'informations : explication détaillée sur les dépôts de calcaire dans les tuyaux en béton (voir document « STC1CTS1/42/03 ») (Probeton, 2023). Ce document est mis à disposition pour information à l'annexe VI.

10.3.10. Diamètre intérieur du regard ou de l'élément de regard

Par défaut, le diamètre du regard dans la chambre est mesuré dans une zone des 10 premiers centimètres en dessous de la dalle de réduction. N'oubliez pas qu'un élément de regard doit être indiqué à chaque encodage. De cette manière, on sait exactement dans quelle partie et à quelle distance la mesure a été faite. Si la chambre et le conduit sont construits de manière identique, les mesures sont prises juste sous le joint, entre le tuyau du regard (chambre) et le tuyau suivant (conduit) (les regards en béton peu profonds sont souvent conçus de cette manière). L'enregistrement se fait à l'aide du code DCO (forme ; coupe transversale). Si souhaité, d'autres éléments du regard peuvent également être mesurés pour autant qu'ils ne soient pas déjà repris dans les codes d'inventaire. C'est le cas, entre autres, pour le dispositif de couverture. En fonction du matériau, de la profondeur et de l'objectif visé, la structure et la composition des regards peuvent varier considérablement. Le système de mesure utilisé pour mesurer le regard ou l'élément de regard dépend de l'appareil utilisé pour examiner l'ensemble du regard. Le diamètre intérieur de l'élément de regard est une information cruciale pour le calcul d'un certain nombre de données importantes telles que : les déformations, les déviations angulaires, les déplacements axiaux, la mesure des aspects liés à l'état de la paroi (par exemple, les fissures, les raccordements). Il est très important de consigner le diamètre intérieur correct avant de commencer une investigation visuelle. Il convient de vérifier la nécessité ou non d'adapter (dans le logiciel de codage) le diamètre de l'élément de regard s'il change, afin que les valeurs de mesure basées sur ce diamètre soient correctes. Si ce n'est pas le cas, après une investigation de réception, lorsque les valeurs mesurées sont comparées aux tolérances selon les normes de produit référencées, cela conduirait dans certains cas à un refus injustifié du regard.

10.3.11. Modification du diamètre du regard ou de l'élément de regard au cours de l'investigation visuelle

- *Attention* : pour la partie investigation du regard, la norme ne permet pas d'enregistrer les changements de diamètre et de forme pendant l'investigation visuelle.
 - Des mesures en fonction du système sont possibles dans différents diamètres.
 - Il convient de vérifier comment le système gère cette question avant d'utiliser la valeur mesurée (calculée).
- *Attention* : lorsque, en raison d'un diamètre intérieur initial incorrect, le diamètre du regard est ajusté, il faut être conscient du fait que les mesures qui ont été prises sont basées sur ce diamètre incorrect et sont donc également erronées. En conséquence, il faut recommencer l'investigation du regard en question.

10.3.12. Documents de référence relatifs à la géométrie

- Certains matériaux utilisés pour les tuyaux, tels que le grès ou le béton, indiquent le diamètre intérieur dans leurs fiches techniques et sont également repris de cette manière sur les plans. Par exemple, un tuyau de regard de 1 000 mm de diamètre a également un diamètre intérieur de 1 000 mm.
- Les matériaux thermoplastiques, en revanche, peuvent spécifier le diamètre intérieur ou extérieur pour chaque type de matériau. En raison de ces différences, il est conseillé, lors de l'investigation visuelle du regard, de mesurer le diamètre intérieur avant de commencer l'investigation.
- Des informations spécifiques sur les regards sont disponibles dans les normes et les fiches techniques à ce sujet.

10.3.13. Code DBF (Infiltration) et DBG (Exfiltration)

Description : voir 10.1.8.

- Code DBF (infiltration) : il s'agit d'enregistrer la sévérité de l'infiltration, d'une part, et sa localisation, d'autre part.
- Code DBG (exfiltration) : contrairement à l'infiltration, aucun degré de sévérité n'est indiqué.
- *Attention* : si l'infiltration se situe au niveau d'un joint entre deux éléments de regard au-dessus des « conduites principales » de raccordement, il convient d'utiliser le code « A » de raccordement, tandis que dans le champ de caractérisation 2, il faut choisir « à travers la paroi du regard, de la chambre de visite ou du dispositif d'inspection»; en raison d'un manquement dans la norme, il n'est pas possible d'enregistrer d'une autre manière, plus simple.

10.4. Dispositifs d'infiltration

Le dispositif d'infiltration est un terme générique désignant une grande variété de structures qui visent toutes à infiltrer et, dans certains cas, à transporter les eaux de pluie qui s'écoulent. Ces structures peuvent varier considérablement en termes de forme, de profondeur, d'accessibilité, de préfiltration ou non, d'implantation horizontale ou verticale. Elles peuvent être monocouches ou multicouches, inspectables ou non, nettoyables ou non. Les matériaux sont différents et ne peuvent pas toujours être associés à un type de structure particulier. Étant donné que toutes les installations d'infiltration ne sont pas nettoyables, cela affecte l'investigation visuelle. Dans certains cas, les dispositifs d'infiltration ne sont pas directement accessibles par un regard de visite placé au-dessus. Entre le dispositif d'infiltration et le regard de visite, il y a parfois une canalisation dont le diamètre extérieur ne dépasse pas 160 mm dans certains cas et dont le diamètre intérieur est donc de ± 150 mm. Il peut y avoir une différence de hauteur entre la cunette à l'extrémité du tuyau d'accès et le radier du dispositif d'infiltration.

10.4.1. Quelle série de codages pour quelle application d'infiltration ?

Règle empirique qui peut être appliquée pour les investigations visuelles des dispositifs d'infiltration :

- Dans le sens horizontal, l'ensemble de codages suivant est utilisé pour la conduite : AXX et BXX

par exemple canalisations d'infiltration/de transport, bassin d'infiltration, sous-sol d'infiltration, etc.
- Verticalement, l'ensemble des codages suivant est utilisé pour le regard : CXX et DXX

par exemple puits d'infiltration, poteaux d'infiltration, etc.

DISPOSITIFS D'INFILTRATION	SYSTÈME DE CODAGE	TECHNIQUE
CONDUITES IT	AXX-BXX	CAMÉRA MOBILE / SCANNER D'IMAGES 3D
BASSIN D'INFILTRATION	AXX-BXX	DE PRÉFÉRENCE, SCANNER D'IMAGES 3D
CHAMP D'INFILTRATION EN BÉTON	AXX-BXX	DE PRÉFÉRENCE, SCANNER D'IMAGES 3D
SOUS-SOL D'INFILTRATION EN BÉTON	AXX-BXX	INVESTIGATION VISUELLE PAR L'ENTRÉE PHYSIQUE D'UN EXPERT QUI EST EN LIEN DIRECT AVEC LE VÉHICULE D'INVESTIGATION VISUELLE
BASSIN D'INFILTRATION	CXX-DXX	DE PRÉFÉRENCE, SCANNER D'IMAGES 3D
PUITS D'INFILTRATION	CXX-DXX	DE PRÉFÉRENCE, SCANNER D'IMAGES 3D
POTEAU D'INFILTRATION	CXX-DXX	SI ACCÈS AU SCANNER/CAMÉRA D'IMAGE 3D SUR TRACTEUR VERTICALEMENT

Tableau 6 - Dispositif d'infiltration / Système de codage / Technologie

10.4.2. Que faut-il enregistrer ?

Pour le fonctionnement d'un dispositif d'infiltration et l'estimation de sa durée de vie prévue, il est primordial que :

- Les problèmes structurels soient enregistrés ;
- Les problèmes d'écoulement soient identifiés.

Quelques points spécifiques :

- Enregistrement des entrées de terre/sable le long de la paroi ou le long des joints du regard de visite ou d'inspection ou le long des conduites de raccordement. L'entrée de sable peut rapidement entraîner un affaissement et doit être détectée à un stade précoce. Les matériaux d'enrobage ne doivent jamais pénétrer dans l'installation d'infiltration dans les dispositifs d'infiltration, car des vides pourraient se former, ce qui compromettrait la stabilité. La pénétration du matériau d'enrobage résulte généralement d'une dégradation. Il est important de visualiser non seulement le matériau d'enrobage qui est entré, mais aussi la cause.
- Chaque raccordement doit être rendu « étanche au sable ». Lors d'une investigation visuelle, il convient de surveiller de près cet aspect.

- Les raccordements mal connectés nuisent au bon fonctionnement d'un dispositif d'infiltration. Il est très important de bien documenter les raccordements mal connectés. Les codes BDE ou DDE s'appliquent ici.
- Les codes BAN et DAN ne sont pas applicables et ne sont donc pas utilisés.
- Les eaux fortement calcaires ou contenant du fer peuvent provoquer des obstructions. Il est donc important de consigner les dépôts, même s'ils sont peu nombreux.
- Pour vérifier que tous les éléments et tuyaux sont présents, il est important de dresser un inventaire complet :
 - De toutes les conduites entrantes et sortantes visibles, en distinguant les conduites d'alimentation, de trop-plein et d'aération ;
 - Des réparations éventuelles.
- Un expert ne peut pas consigner des dégradations structurelles en se basant sur des présomptions. Toutefois, il doit prendre les mesures nécessaires pour visualiser les dommages, si possible à travers les ouvertures de la structure interne. Si ça ne fonctionne pas, seul l'aspect pertinent lié à l'état peut être consigné, par exemple l'accumulation de sable. Un code de commentaire peut préciser que la caméra ne peut pas prendre d'images de l'endroit probable où le sable pénètre en raison de la structure interne de l'ensemble. Il convient d'examiner tout passage supplémentaire s'il s'avère que c'est possible à partir de cette position.
- Les codages de commentaire permettent à l'expert de fournir des informations supplémentaires :
 - ADE au niveau de la canalisation (= passage d'infiltration) OU CDE au niveau du puits d'infiltration (p. ex. poteau d'infiltration) : informations supplémentaires avant le début de l'investigation ou une fois qu'elle est terminée.
 - BDB ou DBD : informations supplémentaires au cours de l'investigation, qui ne peuvent être classées sous aucun autre code.

Tous les aspects liés à l'état mentionnés dans la norme doivent être enregistrés, à l'exception des infiltrations et des exfiltrations, lorsqu'elles surviennent dans des « proportions normales ». Il faut donc le consigner lorsqu'il y a beaucoup plus d'infiltrations ou d'exfiltrations localement que dans une zone adjacente située au même niveau.

Les collecteurs accessibles à l'homme peuvent être inspectés visuellement par une personne munie d'une caméra portative. L'expert en investigation visuelle des égouts qui se trouve dans le dispositif d'infiltration est en connexion directe avec le studio mobile en surface par le biais d'un système de caméra portative avec interphone. Là, un opérateur (expert) codifie les aspects liés à l'état en concertation et enregistre des données supplémentaires comme c'est le cas lors d'une investigation visuelle classique avec caméra mobile. Un point d'intérêt est la distance longitudinale, qui sera souvent déterminée à l'aide d'autres outils. Attention : quand les parois sont humides, l'utilisation d'un laser à distance peut être affectée par des réflexions. L'utilisation d'une roue de mesure n'est pas envisageable en raison des conditions environnementales. Avec cette technique, les aspects liés à l'état peuvent être mesurés physiquement par l'expert et cette mesure est précise. Si possible, une photo de l'équipement de mesure (généralement un mètre ruban ou pliable) est prise avec l'objet à mesurer. Il est important que l'objet à mesurer et l'équipement de mesure se trouvent à la même distance de la caméra, ce qui permet une évaluation ultérieure.

- La mesure des aspects liés à l'état d'un dispositif d'infiltration est techniquement très compliquée avec les techniques classiques, notamment parce que la distance par rapport à la lentille de la caméra est différente à chaque fois. Les valeurs indiquées reposent sur une estimation basée sur des valeurs de référence spécifiques à certaines structures.
- L'utilisation de la bonne technique permet de visualiser autant que possible les parois. Le recours abusif à certaines techniques aura pour conséquence d'augmenter le coût de l'investigation visuelle et, parallèlement, de la rendre moins efficace. L'objectif principal de l'investigation visuelle est de détecter tout défaut structurel à un stade précoce, ce qui permet d'éviter une aggravation de la situation.
- En raison des différentes structures internes, il est très important de déplacer la caméra mobile ou l'appareil suffisamment lentement. Pour obtenir la meilleure qualité d'image sur un sol irrégulier (par exemple, un profil en nid d'abeille), il convient de limiter les vibrations, qui sont visibles quand on filme ou lors du scanning. Les vitesses indiquées par les fabricants sont basées sur une cunette ou un radier relativement plat(e) et non sur un sol ou une cunette strié(e) ou en nid d'abeille. La vitesse doit être adaptée aux circonstances. Si la taille de l'accès le permet, il est possible de monter de grandes roues, qui donnent de meilleurs résultats en termes de vibrations.

Attention : les aspects spécifiques liés à l'état pour certains types de dispositifs d'infiltration se trouvent sous ce type.

10.4.3. Conduites IT (infiltration-transport)

La fonction des conduites IT peut être le transport et l'infiltration des eaux de ruissellement, mais l'infiltration seule est également possible. Les conduites sont posées avec une très faible inclinaison.

Les conduites IT peuvent être fabriquées en :

- Matériaux thermoplastiques (PVC, PP ou PEHD) munis de trous ou de fentes. Les tuyaux mandrins en plastique, aux parois renforcées sont composés d'un tuyau central lisse extrudé en PEHD ou PP, avec une paroi intérieure lisse et une paroi extérieure profilée. En fonction du type de tuyau, les raccordements de deux tuyaux peuvent être réalisés avec un raccord femelle-mâle ou avec un embout femelle de protection. Les tuyaux peuvent aussi avoir été raccordés par soudure.
- Les tuyaux en béton poreux sont dotés d'un joint en caoutchouc intégré. Pour le raccordement aux regards de visite et aux boîtes de raccordement - identiques à ceux d'un égout - les tuyaux en béton poreux peuvent toujours être réalisés avec des tuyaux courts et des tuyaux pendulaires en béton. Les tuyaux courts et les tuyaux pendulaires ne sont pas fabriqués en béton poreux.

Les tuyaux thermoplastiques sont généralement enveloppés individuellement d'un géotextile qui, en fonction du type et de la taille des ouvertures dans la paroi, peut être visible de l'intérieur. Les tuyaux en béton poreux ne sont généralement pas enveloppés d'un géotextile. Si c'est le cas, le géotextile n'est jamais visible de l'intérieur.

Points spécifiques pour l'investigation visuelle :

- L'investigation d'une conduite IT correspond à bien des égards à l'investigation d'une conduite d'évacuation traditionnelle. L'équipement d'investigation est le même, tout comme les exigences en termes d'éclairage, de position de l'objectif, de progression et de vitesse de rotation.
- S'il n'y a pas de sens d'écoulement parce que la conduite est posée à plat, par exemple, le code AAK (« non connu ») est noté, à moins que le plan n'indique le sens de l'écoulement. Attention, il faut dans tous les cas enregistrer un graphique de pente pendant la rétraction de la caméra robotisée. Dans ce cadre, il est important de contrôler la caméra mobile/l'appareil au niveau 0 avant le début de l'investigation visuelle.
- Les conduites IT peuvent également être soumises à l'infiltration d'eaux souterraines lorsque le niveau de la nappe phréatique atteint un niveau supérieur à celui du radier de la conduite. Il est important de vérifier s'il y a une infiltration et si elle est uniforme, c'est-à-dire qu'elle n'est pas concentrée en un seul endroit de la canalisation. Ce dernier aspect peut être révélateur d'une dégradation du géotextile ou d'une dégradation de la surface de la paroi du tuyau. Les infiltrations et exfiltrations par le joint doivent être enregistrées avec le code « A » (assemblage). Les assemblages de joint des tuyaux IT sont conçus pour être étanches.
- Les infiltrations et exfiltrations à travers la paroi du tuyau (par le béton poreux ou les ouvertures prévues (par exemple, les fentes dans la paroi du tuyau) sont autorisées, contrairement à un tuyau d'évacuation ordinaire. Notez que si une infiltration ou une exfiltration se produit à un endroit particulier qui diffère fortement du reste de la paroi de la conduite, elle est enregistrée séparément (par exemple, une infiltration par injection à un endroit, ou le fait qu'à un endroit, le flux de liquide disparaît à travers la paroi). Il convient dans ce cas d'accorder une attention suffisante à la cause. Si elle est visible, elle est enregistrée à l'aide des codes disponibles.
- Un dépôt décanté est souvent dû au fait qu'on n'a pas pris suffisamment de mesures pendant la mise en œuvre pour empêcher les eaux boueuses provenant du chantier de s'infiltrer dans les canalisations. Une autre cause peut être l'absence ou le dysfonctionnement du prétraitement. Le long des raccordements mal raccordés, de l'eau contaminée peut pénétrer et se déposer dans la canalisation principale. Il est extrêmement important que l'enregistrement correct permette d'identifier la cause.
- Les assemblages et les conduites latérales sont identiques à ceux des tuyaux d'évacuation ordinaires. Ainsi, tous les assemblages sont également équipés de joints en caoutchouc. Les assemblages ouverts sont enregistrés de la même manière. Les raccordements doivent être raccordés à la conduite principale à l'aide de raccords. Il ne peut plus y avoir d'entrée de sable ou autre matériau d'enrobage nulle part. Les tuyaux individuels sont enveloppés d'un géotextile qui devrait empêcher le sable de pénétrer par les fentes ou le béton poreux. Si c'est le cas, c'est enregistré en utilisant le code BBD (entrée de terre/sable).

10.4.4. Bassin d'infiltration composé d'éléments

Un bassin d'infiltration peut avoir des formes et des dimensions très différentes et son accessibilité peut également varier considérablement. Tous ces points ont un impact direct sur les possibilités d'inspection d'un bassin d'infiltration. Pour savoir si un bassin d'infiltration peut être inspecté, voir plus loin sous ce même point.

Généralités

- Selon le fabricant, les raccordements, les trop-pleins et les tuyaux d'aération sont raccordés à l'aide de pièces préfabriquées. Cependant, tout raccordement doit être réalisé de sorte à être étanche au sable. Lors d'une investigation visuelle, il convient de surveiller cet aspect de près. Pendant le compactage, par exemple, le géotextile peut s'affaisser vers le bas, entraînant la fermeture partielle de l'ouverture du raccordement et l'entrée de sable. Certains caissons d'infiltration nécessitent le découpage manuel d'anneaux préformés pendant la mise en œuvre pour permettre le passage de la caméra mobile/de l'appareil dans le bassin d'infiltration. Le fabricant donne des instructions à ce sujet, mais dans la pratique, il arrive que les anneaux découpés restent dans le bassin d'infiltration, et ils sont enregistrés comme des obstacles. Si un anneau n'est pas (bien) découpé et obstrue le passage, cela est enregistré avec le code « BBE » obstacle. Cela peut compromettre la poursuite de l'investigation visuelle.
- Le dispositif d'infiltration devrait être construit de manière que chaque passage puisse être accessible et inspecté.
- Chaque passage est considéré comme un tronçon avec un nœud de départ et un nœud d'arrivée. Cela permet d'enregistrer les aspects liés à l'état de manière structurée. Un schéma réalisé préalablement, joint à l'investigation, permet de déterminer facilement la position de l'aspect lié à l'état.

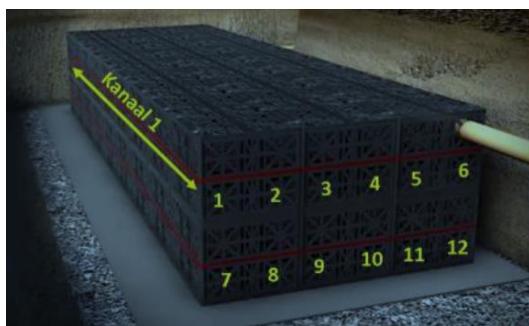


Figure 73 - Numérotation des caissons d'infiltration (source : CRR)

En termes d'inspectabilité, les bassins d'infiltration peuvent être répartis en deux catégories :

1. Structure ouverte : en raison de la structure ouverte des caissons qui composent le dispositif d'infiltration, l'intérieur de la paroi extérieure est visible par la caméra. Les caissons à structure ouverte ont généralement deux passages adjacents et souvent une cunette perforée. Les caissons sans cunette sont plus difficiles à soumettre à une investigation visuelle. En effet, la caméra peut suivre sa propre trajectoire qui n'est pas en ligne droite; au retour, il se peut que la caméra reste bloquée. Comme mentionné précédemment, avec ce type de bassin d'infiltration, l'intérieur du géotextile est en grande partie visible par la caméra. La lentille de la caméra a un angle de vue d'environ 150°, ce qui signifie que la paroi latérale n'entre que partiellement ou pas du tout³³ dans le champ de vision de la caméra lorsque la caméra regarde droit devant. La vue est obstruée par le renforcement vertical dans les caissons. Pour visualiser toute la circonférence de la paroi, la caméra devait chaque fois s'arrêter entre deux rangées de renforcement pour permettre à la tête de la caméra d'effectuer lentement une rotation radiale complète. Dans la pratique, une telle approche n'est ni réalisable ni rentable. Il est

³³ En fonction de la distance entre la paroi et la caméra (mobile)

toutefois important de visualiser l'ensemble de la paroi, ou du moins de pouvoir déterminer si le géotextile utilisé pour envelopper le bassin d'infiltration n'est pas endommagé. Pour que l'investigation se déroule sans encombre, il est possible d'utiliser une caméra qui permet de générer des images en 3D et d'obtenir ainsi une image de l'ensemble de la circonférence. Cette technique permet de couper les images longitudinales et de les dérouler sur un même plan, pour ainsi dire. La caméra se déplace du point de départ au point d'arrivée. Si le bassin d'infiltration est large et contient plusieurs rangées de caissons, plusieurs « passages » sont soumis à une investigation visuelle. Il est important de toujours inspecter le passage le plus à gauche et le plus à droite afin de vérifier que les côtés n'ont pas été endommagés par le compactage mécanique.

2. Structure fermée : En raison de la structure fermée, seul l'intérieur du tunnel perforé est clairement visible par la caméra, la paroi extérieure du caisson n'étant pas visible. Il est donc très difficile de constater les dommages causés au géotextile sur les parois extérieures. La structure tubulaire contenant les ouvertures est facilement inspectable sans risque pour le matériel. Lors de l'investigation visuelle, les accumulations de sable dans la structure interne doivent être tenues à l'œil. Les accumulations locales de sable indiquent une entrée de sable, qui peut avoir plusieurs causes : notamment le fait que les conduites de raccordement n'ont pas été raccordées de manière étanche ou que le géotextile a été endommagé. Néanmoins, un expert en investigation visuelle ne peut pas consigner des dégradations structurelles en se basant sur des présomptions. Toutefois, il doit prendre les mesures nécessaires pour visualiser les dégradations, si possible à travers les ouvertures. Si ce n'est pas possible, seule l'accumulation de sable peut être consignée. Un code commentaire peut préciser que la caméra ne peut pas visualiser l'endroit probable par lequel le sable pénètre. Il est important d'inspecter tout passage supplémentaire afin de visualiser l'aspect lié à l'état depuis cette position.

10.4.5. Champ d'infiltration en béton

Un champ d'infiltration en béton consiste en un support plat et perméable sur lequel est placé un géotextile. Des dalles sont ensuite placées en rangées espacées de ± 200 mm sur lesquelles sont placées des cassettes en plastique en forme de coupole. Le béton est coulé par-dessus, sur lequel la superstructure (conçue en fonction de la charge) est placée. L'accès au champ d'infiltration est assuré par un regard de visite placé au-dessus d'une cassette. Le côté du champ d'infiltration sera pourvu d'une plaque XPE où un sable drainant sera appliqué à l'extérieur et un géotextile du côté du champ d'infiltration. Le champ d'infiltration est entièrement enveloppé de géotextile. Les hauteurs de passage varient entre 200 et 500 mm. L'approvisionnement peut se faire horizontalement ou verticalement.

Points spécifiques pour l'investigation visuelle :

- Les parois latérales du champ d'infiltration sont les éléments les plus importants pour l'infiltration. Avec le géotextile sur le radier, ce sont les éléments les plus vulnérables.
- Les rangées de dalles peuvent constituer un obstacle lorsque l'on déplace la caméra mobile/l'appareil vers l'avant ou vers l'arrière. Il est fortement recommandé d'équiper la caméra mobile/l'appareil d'une caméra de recul afin de garantir un retour sécurisé.
- La pose du géotextile et les dégradations éventuelles peuvent être vérifiées par les canaux latéraux et d'extrémité.

- Pour que l'investigation se déroule au mieux et soit rentable, il est possible d'utiliser une caméra qui permet de générer des images en 3D et d'obtenir ainsi une image de l'ensemble de la circonférence. Une caméra classique doit s'arrêter entre chaque colonne pour positionner la lentille à 90° et effectuer une rotation de 360°.
- Le nombre de passages à inspecter dépend de l'accessibilité.
- Lors de l'investigation visuelle, il convient de prêter une attention particulière aux accumulations de sable dans la structure interne ; les accumulations de sable localisées indiquent une entrée de sable, qui peut avoir plusieurs causes : notamment un défaut d'étanchéité à la terre des tuyaux de raccordement ou la dégradation du géotextile.
- Le béton étant coulé sur les cassettes en plastique, il convient de prêter attention aux défauts structurels et au béton qui aurait éventuellement pu pénétrer à travers ces défauts pendant la mise en œuvre.

10.4.6. Sous-sol d'infiltration en béton

Un sous-sol d'infiltration en béton est construit sur place. Ses dimensions le rendent accessible à l'homme dans la plupart des cas. La caractéristique principale étant le sol, qui peut être entièrement ou partiellement recouvert de dalles préfabriquées en fonction de l'application. La couverture est généralement composée de dalles de couverture préfabriquées, dans certains cas la dalle de couverture est coulée sur place, les dalles de couverture sont soutenues par des colonnes en béton préfabriqué ou coulées sur place avec des coffrages perdus (avec des tuyaux thermoplastiques) disposés en forme de grille à intervalles. Les murs de soutènement sont des éléments préfabriqués, à l'intérieur desquels se trouvent des bandes filtrantes qui peuvent être remplacées. La dalle de sol est généralement posée en légère pente pour faciliter le nettoyage. L'accès au sous-sol d'infiltration est assuré par un ou plusieurs chambres de visite. L'accès permet l'entretien périodique et l'investigation visuelle.

Points spécifiques pour l'investigation visuelle :

- En raison de la taille du sous-sol, un expert qui pénètre physiquement dans le sous-sol obtiendra les meilleurs résultats. Il convient de noter qu'une investigation visuelle est toujours accompagnée d'images vidéo et de photographies ainsi que d'un échange de données.
- Lorsqu'un expert pénètre physiquement, la mesure est effectuée manuellement (sur place) et de la manière la plus précise possible.
- Investigation visuelle entrée physique d'un expert (réalisation idem 7.4).
- En raison de la complexité, il est nécessaire d'établir un plan d'investigation avant le début de l'investigation visuelle. Le plan contient des références sur le point de départ, généralement une chambre de visite, la direction de l'investigation et la référence du point d'arrivée.

10.4.7. Puits d'infiltration et bassins d'infiltration en béton

Aux puits et bassins d'infiltration peuvent venir s'ajouter différentes rallonges, qui peuvent être faites de béton poreux ou non poreux en fonction du projet. En outre, ils peuvent être équipés d'une dalle de couverture, d'un dispositif de réglage et d'un cadre avec couvercle.

Points spécifiques pour l'investigation visuelle :

- Les puits et les bassins d'infiltration sont inspectés de la même manière qu'un regard.
- En fonction de la forme et des dimensions, différentes techniques d'inspection sont possibles.
- Avec la technologie 3D, il est souhaitable que l'accès à partir duquel la caméra est descendue perpendiculairement se trouve approximativement au centre du regard. De cette manière, la répartition de la lumière est uniforme, ce qui évite les zones sombres ou surexposées.
- Pour que l'investigation se déroule au mieux, l'ouverture d'accès doit être ≥ 400 mm.
- La face inférieure de la dalle doit également être inspectée.

10.4.8. Poteaux d'infiltration

Dans la plupart des cas, les poteaux d'infiltration sont constitués des mêmes matériaux que les conduites IT thermoplastiques. Les poteaux d'infiltration sont placés verticalement et sont équipés d'un couvercle sur la partie inférieure. A l'instar des conduites IT, les poteaux d'infiltration ont des trous ou des fentes et sont enveloppés d'un géotextile. La longueur des poteaux dépend de la valeur K du sous-sol dans lequel on souhaite infiltrer ; le niveau local de la nappe phréatique joue également un rôle à cet égard. Un trou est percé dans lequel le poteau est placé verticalement, l'espace autour du poteau d'environ 10 cm est rempli de sable d'infiltration. Un collecteur de sable (bac de décantation) est placé sur la partie supérieure avec un filtre pour s'assurer qu'aucune saleté ne puisse pénétrer dans le poteau d'infiltration. Des avaloirs sont généralement raccordés à la section susmentionnée, certains poteaux d'infiltration sont équipés d'un trop-plein d'urgence vers le système d'évacuation des eaux de pluie. Mais ce n'est pas toujours le cas, les poteaux d'infiltration peuvent être placés en indépendance en fonction du type de sol et de la nappe phréatique. Les poteaux d'infiltration sont accessibles pour inspection via un bouchon placé sur un tuyau vertical dans le collecteur de sable.

Points spécifiques pour l'investigation visuelle d'un poteau d'infiltration :

- L'investigation d'un poteau d'infiltration se déroule selon le même principe que l'investigation d'un regard. Lorsque le poteau d'infiltration n'a pas de conduite sortante, la position 12h est déterminée à partir du point nord. Si possible, la caméra est toujours abaissée dans cette direction, ce qui facilite l'investigation. Lors de la prise de photos à l'extérieur du regard de visite, cette direction³⁴ est maintenue. De cette manière, l'expert en investigation visuelle et toute personne chargée d'évaluer les images peuvent s'orienter facilement et correctement.
- Lorsqu'un tracteur-caméra ou un autre dispositif à tête de caméra est utilisé pour effectuer l'investigation visuelle, il ne doit pas tourner autour de son axe vertical lorsqu'il est abaissé.
- L'investigation commence par la prise d'une ou plusieurs photos panoramiques montrant où et comment le couvercle d'accès est implanté. L'insertion du couvercle à l'état ambiant et à l'état fermé est enregistrée avec la tête de la caméra située à au moins 0,5 m au-dessus du niveau du couvercle, tandis que le compteur de distance est réglé sur 0,00 m. Le couvercle est ensuite ouvert, puis la caméra est abaissée, le bouchon de fermeture donnant accès au tuyau d'infiltration situé sous le bassin de décantation étant toujours en place. Le collecteur de sable

³⁴ Point de référence midi : nord en l'absence de conduite sortante, ou le centre de la conduite sortante

avec couvercle sera inspecté, en mettant l'accent sur les défauts structurels et les problèmes d'écoulement, entre autres. Presque tous les codes utilisés pour les inspections de regard peuvent probablement être utilisés. Il convient de prendre suffisamment de photos panoramiques. Le couvercle est ensuite retiré, le compteur est mis à 0 au niveau du couvercle, la caméra est alors lentement introduite dans le puits d'accès vers le tuyau d'infiltration. Lorsque la tête de la caméra se trouve juste à l'intérieur du tuyau d'infiltration, le dessous du bassin de décantation est vérifié ainsi que la paroi du tuyau d'infiltration. L'éclairage doit être réglé de manière que la paroi du tuyau d'infiltration soit clairement visible. La tête de la caméra est idéalement placée au centre de l'axe vertical du tuyau d'infiltration. Cela est nécessaire pour obtenir un éclairage équilibré, mais aussi pour éviter toute illusion d'optique. La caméra est abaissée lentement tout en pointant vers le bas. La vitesse³⁵ doit être adaptée de manière qu'il soit possible, a posteriori, sans arrêter la vidéo, de contrôler l'ensemble de la paroi pour tous les aspects liés à l'état prévus par la norme. En pratique, selon l'angle de vue de la caméra, la paroi du tuyau n'est visible qu'à une certaine distance devant la lentille.



Figure 74 - Poteau d'infiltration (source : Dyka)

Figure 75 - Poteau d'infiltration, accès au tuyau d'infiltration situé sous le bassin de décantation (source : CRR)

³⁵ La vitesse maximale de l'investigation visuelle est la même que pour une investigation classique du regard, soit 0,1 m/s

11. Qualité d'image, mesures et validation de l'équipement



11.1. Introduction

Les essais de réception, dont l'investigation visuelle selon la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) fait partie, ont pour but de vérifier si l'égout nouvellement construit satisfait aux critères fixés. L'égout doit être étanche à l'eau, les matériaux étrangers ne doivent pas s'infiltrer de manière indésirable et la pente doit être conforme aux exigences des cahiers des charges. Tous les défauts structurels et les aspects liés à l'état qui affectent l'état de l'écoulement sont consignés, car il est important que l'égout évacue parfaitement les eaux. L'égout est également inventorié afin de vérifier si les éléments utilisés qui le composent sont conformes au cahier des charges type. Il est important que la mise en œuvre soit réalisée de manière professionnelle afin d'éviter d'éventuels défauts. Pour poser des égouts de manière professionnelle, il est nécessaire que les composants utilisés à cette fin non seulement répondent individuellement aux exigences fixées, mais aussi lorsqu'ils sont assemblés pour former une conduite. Il ressort clairement de ce qui précède que des mesures correctes sont nécessaires pour garantir le contrôle par rapport aux normes de produit. Ce contrôle est effectué par le client lui-même ou par un tiers désigné par lui, par exemple un bureau d'études.

La technologie n'est pas figée, progressivement de nouvelles techniques innovantes vont faire leur apparition, l'IA sera intégrée dans les logiciels. Les logiciels de reconnaissance d'images assistés par l'IA et combinés au *deep learning*³⁶ ne feront qu'améliorer les résultats, l'efficacité et les capacités d'évaluation au fil du temps.

11.2. Exigences de la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) et des cahiers des charges types

La norme prévoit de mesurer certains aspects liés à l'état ; ces valeurs sont prises en compte dans un ou maximum deux champs de quantification. L'objectif peut être d'inventorier, mais aussi de permettre à ceux qui recevront les données de l'investigation visuelle d'évaluer correctement l'étendue ou la sévérité de l'aspect lié à l'état en question. L'objectif de l'investigation peut varier considérablement. Lors d'une investigation de routine, de réception ou de fin de période de garantie, il faut procéder à des mesures. Les mesures doivent être effectuées avec le soin et l'expertise nécessaires. Selon la Région, le cahier des charges type exige que le laboratoire ou l'entreprise qui réalise l'investigation soit accrédité BELAC selon la norme ISO/CEI 17025 (ISO, 2017). Les mesures sont de toutes natures, les appareils et/ou logiciels utilisés pour mesurer doivent être validés conformément à la norme ISO/IEC 17025 (ISO, 2017). Le laboratoire et le maître d'ouvrage doivent être conscients qu'une inspection qualitative dans laquelle des mesures précises sont effectuées prend plus de temps. Il est important que les mesures prises soient correctes et répondent aux exigences posées.

Le logiciel, combiné au matériel utilisé pour effectuer une investigation visuelle des égouts, constitue un système de mesure.

³⁶ Deep learning est un sous-ensemble du *machine learning*, dans lequel les réseaux neuronaux artificiels (algorithmes modélisés pour fonctionner comme le cerveau humain) apprennent à partir de grandes quantités de données (source Oracle).

11.3. Qualité d'image

La qualité d'image des appareils commercialisés aujourd'hui répond largement aux exigences du passé et reste le minimum requis aujourd'hui. Pour la résolution d'image, une exigence de 400 lignes horizontales s'applique. La résolution, la géométrie et les teintes de gris sont vérifiées à l'aide de la mire normalisée T05 ci-dessous. Pour vérifier la reproduction des couleurs, la mire normalisée TE 106 est utilisée.



Figure 76 - Mire T05 (source: CRR)



Figure 77 - Mire TE106 (source: CRR)

L'appareil photo est placé à une certaine distance de la carte-image de manière à ce qu'elle remplisse l'écran, sans zoomer. Les cartes-images sont enregistrées et photographiées. Ces photos d'enregistrement sont utilisées pour lire les paramètres de résolution et de couleur de la caméra. Lorsque la caméra est ensuite utilisée lors de l'inspection visuelle et des contrôles et/ou validations intermédiaires, les enregistrements peuvent être utilisés pour identifier toute anomalie au fil du temps.

11.4. Écarts autorisés

Un certain nombre de valeurs sont enregistrées au cours de l'investigation visuelle. Chaque valeur est associée à une unité, une précision et un écart autorisé (voir tableau ci-dessous).

Paramètre mesuré	Unité de mesure	Précision	Écart autorisé
Distance l (conduite)	m	1 dm	D_l , min = 0,1 m : 0,4 % l = D_l
Distance l_1 (regard, chambre de visite ou dispositif d'inspection)	m	1 cm	D_{l_1} , min = 0,05 m : 0,2 % l_1 = D_{l_1}
Pente (lors de l'investigation visuelle)	%	1 %	Pas d'application - Valeur cible
Pente (lors de la mesure de pente)	%	0,1 %	± 15 %
Déplacements axiaux	mm	1 mm	± 5 %

Déplacements radiaux	mm	1 mm	± 10 %
Déviations angulaires	(°)	0,1°	± 15 %
Diamètre intérieur de la conduite	mm	1 mm	± 5 %

Tableau 7 - Écarts autorisés

11.5. Validation de l'équipement

Comme indiqué précédemment, il est important que les valeurs mesurées lors d'une investigation visuelle soient comprises dans les tolérances spécifiées au point 11.3. Il est très important qu'une validation soit effectuée sur l'ensemble de la plage de mesure. Les mesures validées doivent se situer dans la plage normale pour laquelle l'équipement est prévu, voir infra dans les caractéristiques validées. Pour effectuer les validations, le CRR dispose d'un égout d'essai dans son hall d'essai où des mesures de distance et de pente sont également effectuées *in situ*. Les mesures de distance en surface sur une distance de 50 m peuvent être validées. En outre, le CRR a mis au point une table de validation sur laquelle se font les validations des mesures d'inclinaison statique, des mesures de la paroi du tuyau et le contrôle des points de référence laser.

La qualité d'image est vérifiée conformément au point 11.3. Un clip vidéo plein écran de 30 secondes et une photo sont pris par mire. L'opération susmentionnée est réalisée avec l'objectif en plein zoom arrière. Les enregistrements sont également utiles pour suivre l'évolution de la qualité d'image dans le temps. Les enregistrements initiaux peuvent être comparés aux enregistrements périodiques pour évaluer, par exemple, l'état du verre de l'objectif (rayures, dégradation, etc.).

11.6. État physique de l'équipement

L'état physique de l'équipement est important pour que l'ensemble du système fournisse des données et des mesures fiables et correctes. Ci-après sont énumérés quelques points importants :

- La ligne axiale théorique passant par le centre de la lentille doit être neutre et parallèle à la surface plane sur laquelle l'investigation a lieu (ceci s'applique également aux appareils mesurant la déformation au moyen d'un laser ou d'un sonar). Les contrôles montrent que ce n'est pas toujours le cas. Si un écart est détecté, l'impact sur les mesures dans la canalisation dépend du système. En effet, l'écart sera plus important pour les mesures purement optiques que pour les mesures optiques étayées par des points de référence laser.
- En outre, l'alignement de la structure de l'élévateur est important, car la tête de la caméra ou d'autres têtes de mesure y sont montées.
- L'état des roues composites et des roues à pneus est important, elles doivent toutes avoir le même diamètre. Le remplacement d'un pneu ou d'une roue a une incidence négative sur les mesures.
- Le jeu de l'axe ou entre l'axe et la roue du robot. S'il y a trop de jeu entre les composants susmentionnés, le robot « oscille », ce qui affecte certainement les mesures dynamiques.
- La vitesse circonférentielle des roues motrices doit être la même en ligne droite. Si le robot se déplace en ligne droite sur un sol plat, l'écart dans le sens horizontal doit être minime. Si ce n'est pas le cas, les moteurs qui entraînent le robot doivent être resynchronisés entre eux. La

plupart des fabricants ont une procédure à cet effet, sinon le fabricant se chargera de la synchronisation.

11.7. Plage de mesure théorique et pratique de l'équipement

11.7.1. Plage de mesure théorique par robot

- Hauteur de l'objectif dans la configuration la plus petite
- Hauteur de l'objectif dans la configuration la plus grande

Il faut tenir compte du diamètre des roues et de la largeur totale de la voie. Le chevauchement des diamètres de deux ou trois robots de dimensions différentes est également important. En effet, le laboratoire doit savoir quelle combinaison utiliser pour un certain diamètre de tuyau défini.

11.7.2. Plage de mesure pratique par robot

- La plage de mesure dans laquelle des mesures physiques peuvent être effectuées est déterminée, entre autres, par la visibilité des deux points laser lors de mesures dans de petits diamètres.
- Le résultat des mesures de la largeur des joints dans les grands diamètres peut également jouer un rôle à cet égard. Lorsque l'on utilise un équipement où seules des mesures optiques peuvent être effectuées sans l'aide de points laser et, par conséquent, sans zoomer, il est difficile, voire impossible, de mesurer dans les grands diamètres.

La plage de mesure pratique sera déterminée lors de la validation ultérieure de l'équipement. La plage de mesure est définie dans l'annexe technique accompagnant le certificat d'accréditation BELAC ISO/IEC 17025 (ISO, 2017).

11.8. Mesure de la distance

- La mesure de la distance est validée dans la plage de mesure correspondant à une longueur de tronçon moyenne (environ 50 m) :
 - L'écart est $\leq 0,1$ m pour une portée < 25 m.
 - L'écart augmente dans la plage ≥ 25 m avec une valeur maximale de 0,4 %.
 - La résolution de la mesure est $\leq 0,1$ m.

Lors de la validation d'une mesure de distance, la configuration doit être conforme aux opérations quotidiennes (c'est-à-dire avec un rouleau de guidage). La génération d'impulsions est nécessaire dans certaines installations où la résolution de mesure $\geq 0,1$ m est applicable.

11.9. Mesure statique de la pente

- Il s'agit de placer la caméra mobile/l'appareil sans roues sur une dalle plane, la table étant mise à zéro dans le sens longitudinal et transversal à l'aide d'un niveau à bulle de précision :
 - Avec un laser à ligne projetée, la différence de hauteur est enregistrée sur une distance ≥ 5 m à partir du point zéro, en 8 étapes d'environ + 1 % (à environ 8 %).

- La caméra mobile/l'appareil est tourné(e) de 180°, le point zéro est vérifié et les mêmes étapes d'environ - 1 % (à environ - 8 %) sont répétées dans le sens négatif.
- Les valeurs individuelles enregistrées peuvent s'écarte de $\pm 5\%$ des valeurs calculées mesurées avec le dispositif d'essai statique.

Lorsqu'elle est suspendue au crochet de levage, la caméra est orientée avec la tête de caméra vers le haut puis vers le bas. Ainsi, la plage maximale est enregistrée à la fois dans le sens positif et négatif. Cette plage doit correspondre au moins à la plage spécifiée par le fabricant.

11.10. Mesure dynamique de la pente

- La caméra mobile/l'appareil avec roues adaptées est alors amené(e) dans un égout expérimental. Le profil longitudinal de la canalisation a été mesuré par incrément de 0,05 m à l'aide d'une station totale.
 - La caméra mobile/l'appareil enregistre la pente comme dans une investigation visuelle entre le regard de départ et le regard d'arrivée.
 - Lors du retrait de la caméra mobile/de l'appareil (traction désactivée), un graphique de pente est enregistré par le logiciel de codage. Les deux graphiques sont comparés. L'écart entre les valeurs individuelles enregistrées par le système de mesure (intégré au robot) et la valeur réelle de la conduite expérimentale ne doit pas dépasser $\pm 15\%$.

11.11. Référence des points laser

Dans certains systèmes, deux lasers sont intégrés à la tête de la caméra à une certaine distance. Les points laser font partie d'un système de mesure qui permet d'obtenir des mesures plus précises. Ils sont activés lorsque des mesures sont prises sur la paroi du tuyau dans le sens radial. Pour avoir une vision nette des points laser, la vitre de protection des deux points laser doit être exempte de rayures, de saletés et de gouttes d'eau. Pour que la projection des points laser reste optimale, il est préférable de nettoyer les vitres de protection plusieurs fois par jour à l'aide d'un coton-tige. L'aspect lié à l'état à mesurer doit être perpendiculaire à la tête de la caméra, d'une part pour indiquer la distance correcte et, d'autre part, pour mesurer correctement. L'aspect lié à l'état est mis en évidence (si nécessaire, il est possible de zoomer) afin que les deux points laser soient visibles dans l'image, puis une photo est prise. Dans cette image, la mesure est effectuée. Le logiciel utilise la distance théorique entre les deux points laser comme valeur de référence. Le CRR a pu optimiser les mesures en effectuant des mesures empiriques dans une palette de diamètres de conduites possibles. Comme il n'est pas possible d'intégrer les points laser de sorte que les deux faisceaux laser soient parallèles, un facteur de correction linéaire a été intégré en collaboration avec les fournisseurs de logiciels afin d'éliminer cet écart quel que soit le diamètre de la conduite. Lors de la création des données d'inventaire du tronçon à inspecter, la distance de référence est corrigée par le logiciel en fonction du facteur de correction précédent. Il est très important de connaître le diamètre intérieur correct (voir point 10.1.9). Effectuer une mesure :

- Le curseur est amené exactement au centre du premier point laser ; après que l'on a cliqué sur ce point, le curseur est amené au deuxième point laser, sur lequel on clique également. Le logiciel a maintenant déterminé le nombre de pixels entre les deux points.

- Ensuite, sur la même photo, la distance de l'aspect lié à l'état à mesurer est mesurée, la valeur mesurée est communiquée et peut être affichée sur la photo si souhaité.

Sur la table de validation, l'axe imaginaire de la tête de la caméra représente l'axe de la conduite. Lors de la validation, les points laser sont projetés parallèlement à la ligne d'axe susmentionnée sur une surface blanche (verticale). La plus grande précision peut être obtenue en installant la surface blanche le plus loin possible de la « tête de caméra ». La condition préalable est que les points laser soient toujours bien alignés et clairement visibles. La visibilité des points peut être augmentée en obscurcissant partiellement l'environnement. La distance minimale de la surface blanche par rapport à l'axe de la conduite peut être calculée comme suit : plage de mesure (selon l'annexe technique) x 0,75. À cette distance, la distance entre les deux points est mesurée trois fois, la valeur moyenne ainsi que le diamètre de la conduite correspondante sont comparées au facteur de correction dans le logiciel. Si elle correspond, des mesures précises peuvent être effectuées. Dans le cas contraire, ce paramètre doit être adapté dans le logiciel. Un certain nombre de mesures de contrôle sont ensuite effectuées dans les diamètres les plus grands et les plus petits du tuyau.

11.12. Mesures optiques

Certains systèmes de mesure n'utilisent pas d'outils pour prendre des mesures sur la paroi du tuyau. Ces systèmes de mesure offrent donc une précision inférieure à celle des points de référence laser. Un étalonnage de la mesure par diamètre de conduite est nécessaire pour mesurer dans les tolérances spécifiées dans les cahiers des charges types (voir 11.3 Ecarts autorisés, tableau 7). La précision requise est plus difficile à atteindre lorsque les mesures sont effectuées sur des conduites de grand diamètre. Pour l'instant en effet, la plupart des systèmes de mesure optique ne permettent pas de définir un facteur de zoom lors de l'étalonnage qui puisse être réutilisé pendant la mesure. Quand ce sera possible, cela impliquera un degré de précision plus élevé. Pour obtenir une précision optimale dans les conditions données, une taille maximale de la photo sur laquelle la mesure est effectuée serait une aide précieuse pour les conduites de grand diamètre.

Le calibrage s'effectue comme suit :

- Sur la table de validation, l'axe imaginaire de la tête de la caméra représente l'axe de la conduite. Lors de la validation, une distance de référence sous la forme d'une feuille de référence avec des carrés de 5 x 5 mm est placée dans un plan horizontal à 90° par rapport à l'axe susmentionné (parallèle à « l'axe de la conduite » et disposée verticalement).
- La tête de la caméra est orientée horizontalement et perpendiculairement au plan de référence.
- Une photo est ensuite prise, sur laquelle une mesure horizontale et verticale est effectuée, le centre des deux points mesurés correspondant au centre de la photo.
- L'étalonnage de la mesure optique dépend du système. Contrairement à ce que prescrivent certains fabricants, des résultats acceptables ne peuvent être obtenus que si un étalonnage est effectué par diamètre de tuyau.

Cela permet de connaître l'écart, qui doit se situer dans les tolérances indiquées au point 11.3 Tableau des écarts admissibles.

11.13. Mesures axiales

Pour vérifier si les mesures des déplacements axiaux respectent les tolérances (selon 11.4), ces mesures sont également validées. La validation se fait sur une table de validation avec la caméra correctement alignée, ce qui peut être facilement réalisé à l'aide d'un laser à lignes croisées. Il est important d'être attentif à l'alignement de la caméra. L'alignement de la caméra a un impact important sur les mesures effectuées dans des tuyaux de petit diamètre. La vérification consiste à mesurer la distance entre la surface de référence et la lentille dans le plan horizontal, la tête de la caméra étant orientée à 90° par rapport à « l'axe de la conduite ». Les contrôles doivent être effectués à 180° l'un par rapport à l'autre. Les deux valeurs mesurées doivent être égales ; si ce n'est pas le cas, il convient d'en rechercher la cause ou de mieux aligner la caméra mobile/l'appareil sur la ligne zéro de la table de validation.

Les mesures :

- Les surfaces horizontales sur lesquelles est fixée une carte de référence sont disposées verticalement et sont opposées de 180° les unes par rapport aux autres, à égale distance de la lentille lorsque celle-ci fait face à la carte de référence. Comme indiqué précédemment, les surfaces de référence sont alignées parallèlement à l'axe de la conduite, d'une part, et à la ligne zéro de la table de validation, d'autre part.
- Pour chaque diamètre de tuyau, cinq distances sont mesurées sur chacune des deux cartes de référence, toutes situées dans le plan horizontal :
 - Carte de référence 1 : 5 mm ; 15 mm ; 25 mm ; 35 mm et 45 mm
 - Carte de référence 2 : 10 mm ; 20 mm ; 30 mm ; 40 mm et 50 mm
- Les valeurs de mesure sont enregistrées à deux décimales près par le programme de codage. En outre, le fichier de validation confronte ces valeurs aux tolérances autorisées.

11.14. Calcul de la déviation angulaire

Pour vérifier si les angles calculés par le programme à partir de la valeur mesurée au point précédent sont corrects, on utilise une série de mesures où les ouvertures des joints sont mesurées à 180° l'une par rapport à l'autre dans le plan horizontal (valeurs du point précédent) :

- Les différences théoriques entre les deux valeurs axiales sont de 15, 25, 30, 35 et 40 mm.
- Les valeurs sont enregistrées dans le logiciel de codage pour chaque diamètre de la plage de mesure.
- Les angles calculés sont comparés à l'angle théorique, l'écart entre les deux valeurs ne devant pas dépasser 15 % de la valeur théorique.

11.15. Validation du logiciel

Le logiciel doit permettre de valider correctement le système, ce qui nécessite des valeurs avec deux décimales, comme indiqué au point 11.12.

En outre, le logiciel doit satisfaire aux différents formats d'échange en fonction de l'investigation visuelle sélectionnée, conformément à l'annexe I « Quelle technique pour quel champ d'application ». À première vue, cela ne semble pas poser de problème, mais l'expérience a montré qu'il n'est pas facile

pour les fabricants de logiciels de s'y conformer. Néanmoins, les exigences ne diffèrent que légèrement de la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011).

L'objectif du format d'échange BEFDSS XML est de rassurer le client, dans la plupart des cas le gestionnaire du système d'égouttage, sur le fait que les données échangées sont conformes à la norme. Le maître d'ouvrage, dans la plupart des cas le gestionnaire du système d'égouttage, peut importer les données dans sa base de données sans validation supplémentaire. En effet, il a déjà fourni une partie des données d'inventaire à l'entreprise chargée de l'investigation par le biais d'un fichier IDP.xml ou IDM.xml. Un « validateur» serait d'une grande utilité pour l'expert, ainsi que pour le laboratoire chargé de l'investigation. Cela permettrait à l'expert d'identifier les données manquantes ou incomplètes avant l'exportation.

La validation doit porter sur l'ensemble de la plage de diamètres pour laquelle le dispositif sera utilisé. Cette portée est décrite dans l'annexe technique de l'accréditation BELAC ISO/IEC 17025 (ISO, 2017).

11.16. Techniques de mesure pour l'investigation d'une conduite

11.16.1. Caractéristiques géométriques qu'il est possible de mesurer

- Un point : est formé par la combinaison de la distance et d'une position.
- Une ligne est formée :
 - Dans le sens radial : une distance en combinaison avec deux positions ;
 - Dans le sens axial : une combinaison d'une distance de départ et d'une distance d'arrivée en combinaison avec une seule et même position ;
 - En biseau sur la paroi du tuyau : la distance de départ (code continu, par exemple A01) et la distance d'arrivée (code continu, par exemple B01) ont chacune une position différente.
- Un plan est décrit à l'aide d'une distance de départ (code continu, par exemple A02) et d'une distance d'arrivée (code continu, par exemple B02), en combinaison avec deux positions.
- Un ou plusieurs points ou plans au niveau des joints des tuyaux ; c'est décrit en utilisant une distance de départ (code continu, par exemple A02) et une distance d'arrivée (code continu, par exemple B02), en combinaison avec la lettre (A = assemblage) et deux positions.

11.16.2. Mesure de la distance

La résolution d'une mesure de distance dépend du système. Elle peut varier de 0,01 m à 0,1 m. En soi, cela ne pose pas de problème, à condition qu'une attention suffisante soit accordée à la mise à zéro pour les systèmes où la résolution est de 0,1 m. En pratique, cela signifie qu'au point où la distance de référence* est paramétrée, l'impulsion doit être générée manuellement en tournant la roue de guidage dans la bonne direction afin qu'une impulsion soit générée dans le sens de l'investigation. La mise à zéro peut ensuite être effectuée dans le logiciel (procédure détaillée voir point 7.2.1).

*La distance de référence est la distance relative au point de référence ABC de la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) (en tenant compte de la norme B 34-001 [NBN, 2015a]), et le point auquel la caméra

mobile/l'appareil est prêt(e) à partir avec le câble sous tension (dans le regard de départ où la caméra a été insérée). La distance de référence est propre au système et peut différer d'une caméra mobile/d'un appareil à l'autre/ hauteur de la lentille.

11.16.3. Mesures dans la coupe transversale

11.16.3.1. Quelles sont les formes de tuyau qui peuvent être mesurées ?

En raison de divers facteurs, les mesures dans des formes non circulaires peuvent impliquer des écarts supplémentaires et/ou des erreurs de calcul, de sorte qu'il n'est pas possible de garantir avec certitude que les mesures sont correctes. Dans le calcul, le diamètre est souvent un paramètre différent en chaque point opposé de la circonférence (longueur de la ligne passant par le centre de la moitié de la hauteur de la section transversale). Par conséquent, les résultats de la mesure sont incorrects.

11.16.3.2. Mesure du diamètre intérieur du tuyau :

Il est nécessaire de connaître le diamètre intérieur du tuyau qui constitue la canalisation avant de commencer une investigation visuelle. A défaut de diamètre intérieur, celui-ci peut être mesuré ou non en fonction du système utilisé. La mesure présente un certain écart, mais cette valeur permet de déduire le diamètre intérieur. Pour les matériaux thermoplastiques, c'est un peu plus compliqué car, en fonction de l'écart, la valeur mesurée peut être proche de deux diamètres intérieurs différents, par exemple PVC-U et PP-HM ; dans ce cas, il est particulièrement important que le matériau soit connu afin de mesurer ou de déduire le diamètre correct. Pour certaines conduites thermoplastiques, le diamètre du tuyau, le matériau et la classe de rigidité sont indiqués à l'intérieur, parfois sur le bord du double collet.



Figure 78 - Marquage du diamètre extérieur PVC-U (source: Dyka)

Attention :

Ne commencez jamais une investigation visuelle sans être sûr du diamètre intérieur de la conduite.

11.16.3.3. Mesures du niveau d'eau, du dépôt décanté :

Le niveau de l'eau et les dépôts décantés peuvent être mesurés de différentes manières. De nos jours, les logiciels sont équipés d'outils permettant de déterminer rapidement et facilement le niveau d'eau. Si aucun outil n'est présent dans le logiciel de codage, le rapport peut facilement être déterminé au niveau d'un assemblage. Toutefois, on peut recourir à des outils logiciels indépendants qui sont disponibles sur le marché. Une autre option est le transparent CRR utilisé pour mesurer la déformation ; voir l'exemple ci-dessous.

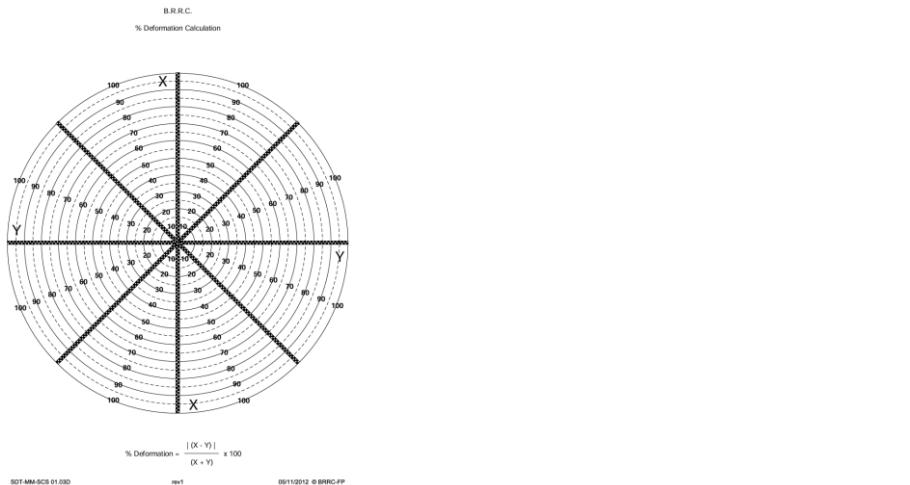


Figure 79 - Modèle S-Mesure de la déformation (source : CRR)

11.16.3.4. Mesure d'obstacles

La mesure d'obstacles suit le même principe. Ici aussi, le pourcentage d'obstruction de la section transversale doit être déterminé. Les logiciels les plus récents sont équipés d'un programme permettant de former une surface sur l'objet après avoir cliqué sur les contours. Le logiciel rend cette surface proportionnelle à la surface de la section transversale.

11.16.3.5. Mesures sur la paroi du tuyau

A. Généralités

Pour effectuer une mesure et une estimation correctes de l'aspect lié à l'état nécessitant une mesure, il est nécessaire que le centre de la lentille de la caméra soit situé au centre de la hauteur de la section transversale de la conduite.

(Voir point Position de la lentille de la caméra)

Attention : la plupart des systèmes de mesure intégrés dans les systèmes d'investigation visuelle des égouts ne peuvent, avec une précision acceptable, mesurer que perpendiculairement à la paroi du tuyau. La pratique a montré qu'une validation approfondie des systèmes de mesure est nécessaire pour obtenir de bons résultats.

Remarque : si un système d'investigation visuelle des égouts ne dispose pas d'un système de mesure, il est possible d'installer un logiciel séparé qui permet de mesurer les pixels, en vue d'effectuer la plupart des mesures (sous réserve de l'expertise nécessaire) conformément aux exigences spécifiées.

B. Les techniques de mesure peuvent varier considérablement

- Angle de basculement : les anciens systèmes fonctionnaient souvent en lisant l'angle de basculement de la tête de la caméra. Cette méthode de mesure manque de précision. Le jeu des composants mécaniques joue ici un rôle important. Cette technique de mesure ne permet généralement pas d'obtenir la précision souhaitée selon les critères établis. De grandes différences peuvent apparaître lorsque l'on compare différentes têtes de caméra du même type.
- Mesure en pixels : il s'agit de mesurer le nombre de pixels entre deux points de l'écran et de les comparer à une valeur de référence. Il est impératif de connaître la distance entre la lentille et la paroi du tuyau. Pour obtenir une mesure correcte, il est important de créer un fichier de calibrage pour chaque diamètre de tuyau. Ce n'est qu'à ce moment-là que des mesures précises pourront être effectuées à l'aide de cette technologie. Important :
 - Une fois qu'on a zoomé, il n'est pas possible de mesurer dans de grands diamètres. Dans la plupart des systèmes de mesure, certains paramètres ne sont pas connus comme, entre autres, le nombre de fois où le zoom optique ou numérique a été utilisé ; par conséquent, ces paramètres ne peuvent pas être pris en compte pour une correction. Avec de tels systèmes, il est plus difficile de mesurer de grands diamètres ; la mesure exige alors une plus grande concentration de la part de l'expert.
 - Le centre de la lentille doit se trouver à 90° par rapport à la paroi du tuyau. Si ce n'est pas le cas, la distance entre la lentille et la paroi du tuyau ne correspondra plus au fichier de calibrage, ce qui entraînera des valeurs de mesure incorrectes.
- Lasers combinés à la mesure des pixels : la tête de la caméra est équipée de deux lasers. Ces deux points laser sont projetés perpendiculairement à la paroi du tuyau. Les lasers sont intégrés dans la tête de la caméra à une certaine distance les uns des autres. Cette distance sert de référence lors de la mesure. Cela fonctionne de la manière suivante :
 - Les lasers sont allumés et une photo est prise alors que la tête de la caméra est perpendiculaire à la paroi du tuyau.
 - Cette photo, sur laquelle les points laser sont clairement visibles, est ouverte dans le programme de mesure. On clique sur un curseur de souris cruciforme au centre de chaque point laser. Une ligne est alors formée entre ces deux points. La distance [mm] entre les deux lasers intégrés dans la tête de la caméra correspond au nombre de pixels de la ligne susmentionnée dans l'image ; il s'agit de la valeur de référence.
 - Toute distance entre deux points de l'image peut désormais être calculée à l'aide de la valeur de référence susmentionnée. Il est désormais possible de mesurer facilement entre deux points sur la photo.
 - Cette technique permet de zoomer si nécessaire et ensuite de prendre une photo. Tant que les points laser sont visibles sur la photo, il n'y a pas de problème. Cette technique de mesure donne les meilleurs résultats.

Important :

- Il est pratiquement impossible de placer les lasers parallèlement à la tête de la caméra pendant la production ou lors du remplacement des lasers. En cas d'écart de parallélisme entre les deux faisceaux laser, l'écart par rapport à la valeur de référence susmentionnée augmente au fur et à mesure que le diamètre du tuyau augmente. L'écart de mesure augmente alors en fonction du diamètre du tuyau. A cette fin, le CRR, en concertation avec les fabricants, a élaboré une solution selon laquelle l'écart par rapport à la valeur de référence est recalculé en fonction du diamètre intérieur du tuyau choisi. L'écart devient alors négligeable (voir point 11.10).
- Le centre de l'objectif doit se trouver à 90° par rapport à la paroi du tuyau. Si ce n'est pas le cas, la distance de référence entre les deux points laser projetés ne correspondra plus à la valeur réelle, ce qui entraînera des valeurs de mesure incorrectes.

11.16.3.6. Mesure des assemblages déplacés

Les assemblages déplacés sont mesurés dans le joint, à l'exception des déplacements radiaux. La mesure de la rupture de la ligne de flottaison ne donne qu'une indication de la déviation angulaire entre les deux axes tubulaires créée lors de la pose. La mesure qui peut être effectuée optiquement sur une photo ne donne qu'une indication de l'écart entre les axes tubulaires de deux sections de tuyau contigus et ne convient donc pas pour l'investigation de réception.

Les matériaux pour tuyaux thermoplastiques tels que le PVC-U et le PP ont souvent une forme de raccordement sans soudure mâle-femelle. Il est donc parfois très compliqué, voire impossible, de positionner correctement le curseur de la souris lors de la mesure d'un raccordement déplacé, en particulier un déplacement axial et une déviation angulaire. Lors de la mesure d'un raccordement déplacé au niveau d'un manchon avec rebord, mesurer depuis le rebord jusqu'à l'extrémité du tuyau pour enregistrer le raccordement déplacé. Dans certains cas, on rencontre un raccordement déplacé de part et d'autre du rebord. Ceux-ci doivent être enregistrés séparément, la distance des deux enregistrements étant différente (le logiciel ne permet pas, dans la plupart des cas, d'enregistrer 2x le même raccordement déplacé à la même distance).

Pour procéder à une investigation de réception, la canalisation doit avoir été nettoyée. La conduite est censée être « sèche » et propre ou, dans le pire des cas, elle ne doit pas contenir plus de 5 % d'eau. Des niveaux d'eau plus élevés réduisent la visibilité et affectent par conséquent les observations enregistrées et les mesures des assemblages déplacés, entre autres. Des informations supplémentaires peuvent être trouvées sous le type de raccordement déplacé en question (voir plus loin dans cette rubrique).

La norme prévoit trois possibilités différentes pour les assemblages déplacés : le déplacement axial, le déplacement radial et, enfin, la déviation angulaire.

Les assemblages déplacés sont mesurés pour vérifier si l'ouverture de joint créée par le déplacement est conforme aux exigences spécifiées dans les normes de produit correspondantes. L'expert ne doit pas nécessairement être au courant des exigences fixées, en principe, tous les assemblages déplacés de plus de 10 mm sont enregistrés, sauf lors de la réception de nouveaux systèmes où la valeur minimale peut être inférieure, en fonction du matériau et des dimensions du tuyau. L'expert doit reconnaître, mesurer et enregistrer l'aspect lié à l'état conformément à la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011). Les logiciels peuvent apporter une aide précieuse pour décider rapidement s'il faut mesurer ou non en cas de doute. Par exemple, un bloc de pose numérique peut être utilisé en « *overlay* » pour déterminer si la valeur minimale a été dépassée.

IMPORTANT :

Dans les tuyaux non circulaires, les mesures standard ne peuvent pas toujours être appliquées. Le logiciel actuel n'inclut pas les calculs permettant d'obtenir des résultats de mesure corrects. Pour les tuyaux non circulaires :

- BAJ A (Déplacement axial) ne peut être mesuré qu'avec des points de référence laser.
- BAJ B (Déplacement radial) utilise uniquement la mesure en pixels et non des points laser de référence (rapport entre la dimension connue et la marche)
- BAJ C (Déviation angulaire) ne pourrait être mesuré qu'à l'aide de points de référence laser, ce qui permet en principe d'effectuer un calcul à partir des valeurs mesurées et des positions précises. Toutefois, les logiciels de codage actuellement disponibles pour l'investigation visuelle des égouts ne permettent pas d'effectuer ce calcul.

A. Déplacements axiaux

Circonstances : les déplacements axiaux pouvant être mesurés à n'importe quel endroit de la circonférence, le niveau d'eau dans la conduite ne pose pas de problème pour la mesure.

Description : dans le cas d'un déplacement axial, les tuyaux ont été déplacés parallèlement les uns aux autres le long du tracé de l'égout (dans le sens horizontal).

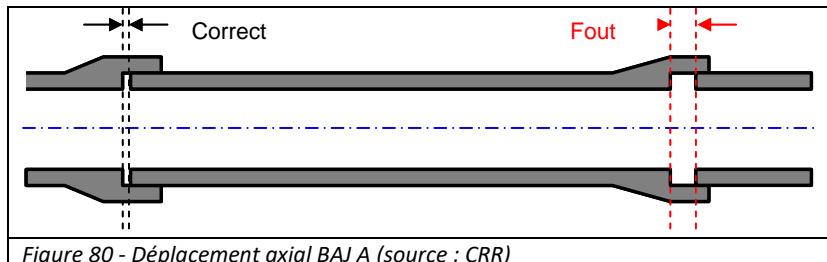


Figure 80 - Déplacement axial BAJ A (source : CRR)

Comment enregistrer ?

Le joint ouvert (qui a la même largeur sur toute la circonférence) est enregistré comme suit: **BAJ A** [mm].

L'ouverture du joint étant de même largeur sur toute la circonférence, aucune position n'est enregistrée ; la largeur du joint est enregistrée en mm.

B. Déplacements radiaux

Circonstances : pour les déplacements radiaux, les mesures peuvent être effectuées à un niveau d'eau limité. Si le déplacement radial est dans l'eau, la mesure peut être effectuée à 180° à l'opposé sur la circonférence.

Description : dans le cas du déplacement radial, les tuyaux sont déplacés entre eux, perpendiculairement au tracé de l'égout.

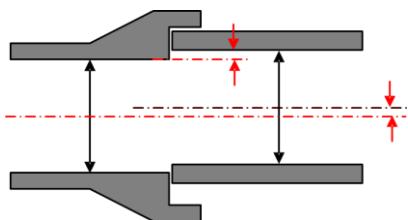


Figure 81 - Déplacement radial BAJ-B (source: CRR)



Figure 82 - Déplacement radial (source: CRR)

Comment enregistrer ?

La différence entre les deux axes est mesurée, le décalage de l'axe se traduit par une « marche » entre les éléments de tuyau respectifs. L'endroit où la « marche » est la plus grande est mesuré : **BAJ B [mm]** + 1 position.

Par exemple, un déplacement radial visible comme une élévation du sol (cunette) dans le sens de l'investigation est enregistré comme étant la position 12h, un abaissement du sol (cunette) dans le sens de l'investigation est enregistré comme étant la position 6h. La différence de hauteur créée entre la cunette des deux tuyaux est enregistrée en mm.

C. Déviations angulaires

Les axes des deux tuyaux raccordés ne sont pas parallèles.

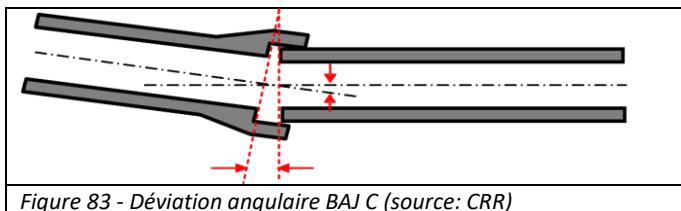


Figure 83 - Déviation angulaire BAJ C (source: CRR)

Comment enregistrer ?

Si l'angle est clairement visible (différence de largeur entre la plus petite et la plus grande ouverture du joint), il doit être mesuré et enregistré :

BAJ C [°] + 1 position.

Par exemple, une déviation angulaire visible comme une élévation du sol (cunette) dans le sens de l'investigation est enregistrée comme étant la position 12h, un abaissement de la pente dans le sens de l'investigation est enregistré comme étant la position 6h. Le nombre de degrés de déviation

angulaire est enregistré en ° avec une décimale. L'angle est calculé à partir de la différence entre la plus petite et la plus grande ouverture de joint à l'extrémité de l'embout mâle. Au niveau de la plus petite ouverture de joint, la position est lue.

Identification de la déviation angulaire :

Dans la plupart des cas, si la conduite n'est pas complètement sèche, une déviation angulaire importante (formée entre les deux axes du tuyau, lisez : déviation du profil longitudinal) est facilement visible à quelques mètres. Une déviation angulaire peut se manifester (en fonction de la position) de la manière suivante :

- Dans le sens vertical :
 - Une augmentation locale du niveau d'eau (réduction de la pente) ;
 - Un abaissement local du niveau d'eau (augmentation de la pente) ;
- Dans le sens horizontal :
 - À un angle visible dans la ligne de flottaison vers la gauche au niveau du raccord de joint ;
 - À un angle visible dans la ligne de flottaison vers la droite au niveau du raccord de joint ;
- Combinaison du sens vertical et du sens horizontal :
 - En conséquence, les phénomènes de sens vertical et horizontal décrits ci-dessus sont manifestement visibles.

Attention :

1. Il est important de mesurer correctement le raccord de joint. Les ombres dans le joint et/ou la position incorrecte de la lentille de la caméra complique la mesure. Les points suivants doivent être pris en considération :
 - a. Les 4 points sur lesquels on clique doivent se situer sur la même partie, le bord du tuyau. Étant donné que le calcul de la déviation angulaire est basé sur le diamètre intérieur du tuyau, il faut mesurer au niveau du bord du tuyau et non dans le joint.
 - b. La position du centre de la lentille doit être alignée avec le centre de l'ouverture du joint avant de mesurer. Pour ce faire, il peut être nécessaire de repositionner axialement la caméra mobile/l'appareil lorsque l'on mesure un angle de 180° par rapport à la plus petite extrémité de l'embout mâle.
 - c. L'éclairage doit permettre de distinguer clairement les bords du tuyau sur lesquels le curseur de la souris est positionné, tant à gauche qu'à droite de l'ouverture de joint.
2. Les déviations angulaires peuvent être complexes et requièrent une certaine vigilance de la part de l'expert en investigation visuelle. Dans la pratique, en raison des écarts dans la production des tuyaux, des déviations angulaires peuvent se produire uniquement entre l'embout femelle et l'embout mâle. Cet angle ne correspond donc pas à l'angle formé entre les deux axes du tuyau. Il se peut même qu'aucun angle ne se forme entre les deux axes du tuyau, alors qu'un angle est visible dans la zone embout mâle-femelle. La cause en est que l'embout femelle et/ou l'embout mâle ne sont pas en angle droit par rapport à l'axe du tuyau. En principe, il est également possible que, dans le sens axial, une déviation angulaire soit visible entre les deux axes de tuyau, alors que dans le raccord de joint, aucune déviation angulaire n'est visible entre l'embout femelle et l'embout mâle. L'ouverture de joint prévue (sous la forme d'un about mâle) peut être éliminée si l'embout femelle et/ou l'embout mâle ne sont pas en angle droit par rapport à l'axe du tuyau. Ce phénomène peut également fonctionner en sens inverse, de sorte que l'angle dans la partie embout mâle/femelle est plus grand que l'angle formé entre les deux axes de tuyau.

3. Que faire lorsque l'embout mâle-femelle le plus petit ou le plus grand est immergé ? Comment mesurer l'angle correctement ?

- Déterminer où se trouve l'embout mâle-femelle le plus petit ou le plus grand dans la partie supérieure du raccordement du tuyau : position 10, 11, 12, 01 ou 02?
- La plus petite ou la plus grande ouverture de joint déterminée selon le point a, sert de point de référence pour déterminer le raccord de joint ouvert opposé de 180° (situé sous le niveau de l'eau).
- La hauteur du niveau de l'eau doit être déterminée. Il y a de fortes chances qu'elle ait déjà été enregistrée et qu'elle continue à l'aide d'un code continu.
- Il est maintenant possible de déterminer à quelle position l'ouverture de joint la plus grande ou la plus petite (déterminée au point a) peut être mesurée. Par exemple, s'il y a 15 % d'eau dans la conduite (au niveau du raccord d'angle à mesurer), le niveau d'eau est plus élevé entre les positions 7 → 8 et sera mesuré au niveau de la position 8. (*Si, au niveau d'eau de 15 % susmentionné, l'embout mâle le plus petit ou le plus grand était placé à la position 10 ou 2 conformément au point a, il pourrait simplement être mesuré sans étapes supplémentaires. En effet, l'ouverture du joint à mesurer n'est alors pas en dessous de la ligne de flottaison.*)
- La position 8 du point précédent correspond à $k = 60^\circ$ (voir figure x), « k » doit être inséré comme élément pour calculer la hauteur h' (voir schéma 2).
- Les paramètres de calcul :

Position (k) [°]	Position	Remarque
0	6	
30	7	
60	8	
90	9	
120	10	
150	11	
180	12	
Ø (intérieur) du tuyau (d) [mm]		
Ouverture de joint mesurée (x) [mm]		Mesurée à la position par rapport à la plus petite ouverture de joint
Ouverture de joint mesurée (y') [mm]		Mesurée à la position par rapport à la première position au-dessus du niveau de l'eau
Ouverture de joint calculée (bv) [mm]		
Déviation angulaire (α) [°]		

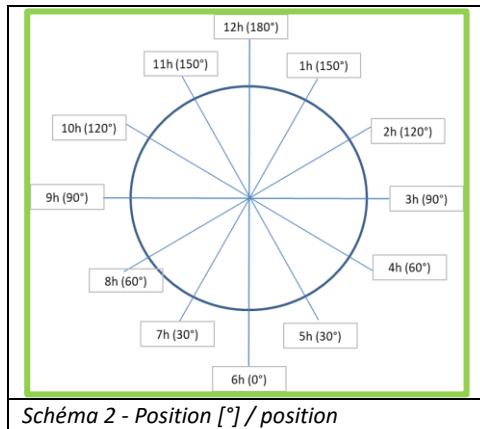
Tableau 8 - Position [°] / position

g. Le calcul :

$$bv = ABS(x - y')$$

$$h' = (d / 2) \times (1 + \cos(k))$$

$$\alpha^\circ = (ACOS(((h'^2+h'^2)-bv^2)/(2h'^2)))*180/pi()$$



D. Combinaison déplacement axial et déviation angulaire

Les tuyaux présentent une ouverture supérieure à 10 mm au niveau de l'embout mâle le plus petit, ce qui augmente également l'ouverture de joint maximale (opposée de 180°), alors que les axes des tuyaux ne sont pas parallèles.

Dans cette situation, l'expert en investigation visuelle doit :

1. Mesurer la taille du joint ouvert au niveau du plus petit embout mâle et l'enregistrer en tant que déplacement axial **BAJ A** [mm];
2. Mesurer l'angle comme d'habitude et l'enregistrer comme déviation angulaire **BAJ C** [°].

En tant qu'expert en investigation visuelle, il est extrêmement important d'être attentif à cette combinaison et de l'enregistrer à la même distance.

Il est fort probable que si seule la déviation angulaire est enregistrée, l'angle mesuré soit conforme à la norme de produit. Avec une combinaison déviation angulaire et déplacement axial, l'ouverture réelle du joint peut être plus grande que celle autorisée par la norme de produit. Dans pareil cas, il y a de fortes chances que le joint ne soit plus étanche ; l'expert en investigation visuelle ne peut pas se prononcer à ce sujet et ne le fera pas, à moins qu'une infiltration soit visible au niveau du joint, infiltration qu'il enregistre alors. Tous les aspects liés à l'état concernés doivent être enregistrés avec les mesures correspondantes.

L'étanchéité sera testée à l'aide d'un essai d'étanchéité conformément à la norme NBN EN 1610 (NBN, 2015b) (essai standard pour les canalisations nouvellement mises en œuvre).

Le gestionnaire du réseau d'assainissement ou le bureau d'étude ne peut faire une évaluation correcte que si les deux mesures sont disponibles. Cela souligne encore l'importance des mesures.

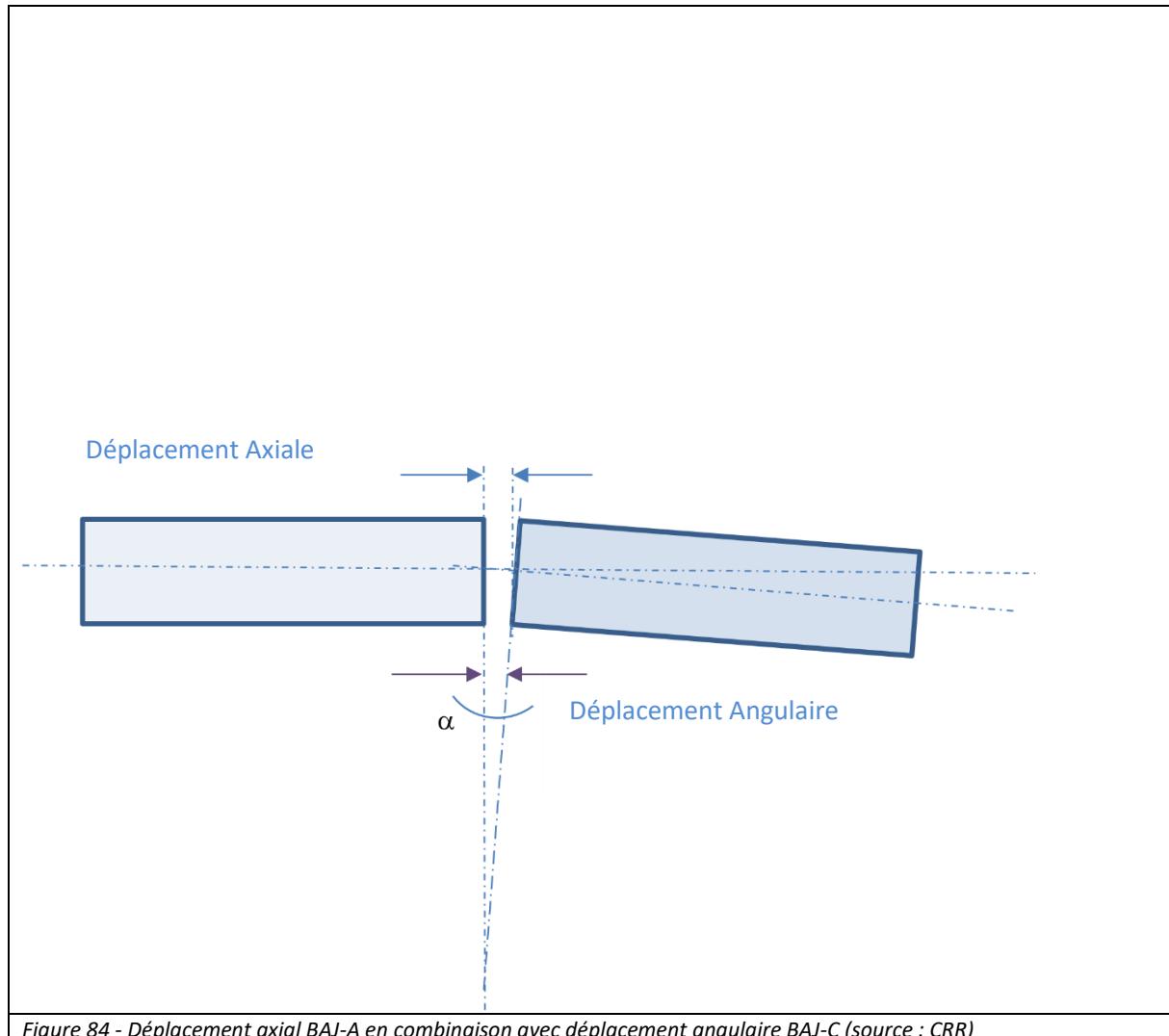


Figure 84 - Déplacement axial BAJ-A en combinaison avec déplacement angulaire BAJ-C (source : CRR)

11.16.3.7. Mesure des raccordements

Il n'est possible de mesurer les raccordements que s'ils sont entièrement visibles. Il n'est pas possible d'obtenir une image complète des raccordements dans des tuyaux de diamètre inférieur ou pour les raccords préfabriqués dont le diamètre est (presque) aussi grand que celui de la conduite à inspecter. Ils ne peuvent donc pas être mesurés de la manière habituelle.

Toutefois, il est possible de mesurer à distance (là où l'ouverture du raccordement est encore visible, le plus loin possible) le rapport entre le diamètre de la conduite principale et l'ouverture de l'orifice du raccordement. Si le matériau dans lequel le raccordement est fabriqué est connu, cela permet de faire une estimation correcte du diamètre. Pour les vieux égouts, il est souvent difficile d'indiquer le diamètre correct car les raccordements «de confection artisanale» sont souvent peu visibles. Ils sont parfois intégrés dans une niche carrée ou rectangulaire. Il arrive que plusieurs raccordements soient connectés à une niche. Lorsqu'il n'est pas possible de mesurer ou d'estimer correctement le diamètre du raccordement, il est souhaitable de le signaler (par le biais d'un champ de commentaire ou d'un code de commentaire séparé).

Attention : seule l'ouverture dans la paroi du tuyau de la conduite principale peut être mesurée. Les mesures sont généralement basées sur le diamètre intérieur du tuyau. Si les mesures sont effectuées avec un système qui utilise le diamètre intérieur dans le calcul (par exemple, mesure optique sans points laser), la mesure n'est pas correcte. Si la distance entre la lentille et l'objet à mesurer est supérieure à la distance entre la lentille et la paroi du tuyau, la mesure est également erronée. De même, lors de l'utilisation de points laser, une distance de référence ne peut être utilisée que si elle se situe dans un seul et même plan (90° par rapport à l'axe horizontal de la lentille de la caméra) que l'objet mesuré. Un exemple d'une telle mesure est une mesure dans une niche mentionnée plus haut, ou lors de l'utilisation de pièces de réduction où l'ouverture dans la paroi du tuyau est plus grande que le tuyau de raccordement. En principe, il ne faut consigner que l'ouverture du tuyau principal. Si l'accès devient plus petit ou plus grand, cela peut éventuellement faire l'objet d'un commentaire.

11.16.3.8. Mesure d'objets

La mesure des objets dépend du système et n'est possible que s'ils se trouvent dans le même plan (90° par rapport à l'axe horizontal de la lentille de la caméra). La mesure avec deux points laser projetés offre une plus grande précision dans la plupart des cas. La condition préalable est que les points laser soient suffisamment visibles et que l'objet à mesurer n'ait pas une forme erratique telle que les points projetés se trouvent à des distances différentes de la lentille de la caméra.

Si le système n'est pas équipé de deux points laser, le rapport entre l'objet à mesurer et le diamètre ou la hauteur du tuyau peut être mesuré dans le cas d'une coupe transversale de forme ovoïde ; cette mesure doit être effectuée à une distance suffisante de l'objet pour que le diamètre du tuyau et l'objet soient entièrement visibles. Il est très important de prendre le diamètre du tuyau au niveau de l'objet, sinon le rapport sera incorrect et, par conséquent, la valeur mesurée de l'objet aussi.

11.16.3.9. Mesure de l'inclinaison

La mesure de l'inclinaison peut être scindée en deux parties : la mesure statique et la mesure dynamique.

Avec des appareils traditionnels, la caméra est montée sur un chariot robotisé télécommandé. La pente est mesurée par un inclinomètre généralement intégré au tracteur (ou à l'appareil) sur lequel la caméra est montée.

Facteurs d'influence sur les mesures liées à la caméra mobile/à l'appareil :

- Les pneus présentent une usure différente ;
- Les pneus ont une pression différente ;
- Les pneus ne sont pas montés correctement sur la jante ;
- Pneu/jante endommagé(e);
- Jeu de l'essieu ;
- Extensions d'essieu/adaptateurs desserré(e)s;
- Essieu déformé ;
- Changement de paire de roues sans contrôle du zéro.

Attention : si on remplace un pneu ou une jante et un pneu, tous les pneus doivent être remplacés, sauf s'il n'y a pas de différence de diamètre entre les pneus neufs et les pneus existants. Ce n'est pas une bonne idée de changer les pneus par essieu, car ils seront certainement échangés inconsciemment. Lors de la validation du système d'investigation visuelle des égouts, il convient de vérifier les risques susmentionnés.

La caméra mobile/l'appareil utilisé(e) pour mesurer la pente doit être vérifié(e) avant le début de l'investigation visuelle. Il n'est possible de réaliser des mesures d'inclinaison correctes que si la pente a été mise à 0 avant le début de l'investigation visuelle. Pour ce faire, la caméra mobile/l'appareil est placé(e) sur une plaque plane qui a été nivelée tant dans le sens longitudinal que transversal. Un niveau de résolution d'au moins $\pm 0,1$ mm/m convient pour mettre à niveau la plaque³⁷.

La procédure suivante permet d'effectuer une mise à zéro de l'inclinaison de la caméra mobile/de l'appareil avec une plaque plate et un niveau de précision :

1. La plaque plate est mise à niveau dans les deux sens à l'aide de trois vis de réglage et du niveau de précision susmentionné.
2. Ensuite, la caméra mobile/l'appareil doté(e) de roues adaptées est placé(e) avec précaution sur la plaque afin d'éviter qu'elle ne glisse.
3. Le niveau de précision est placé sur la plaque pour vérification dans les deux sens. Si nécessaire, la plaque est ajustée (à l'aide des vis de réglage).
4. Si l'inclinaison indiquée à l'écran (en %) n'est pas de 0 %, il faut la mettre à zéro, ce qui peut généralement être fait au moyen d'un réglage ; la manière de procéder dépend du système, il faut donc suivre les instructions du fabricant.
5. Pour vérifier, la caméra mobile/l'appareil peut être tourné(e) de 180° (dans le plan horizontal), l'opérateur faisant opérer un demi-tour aux roues avant de replacer la caméra mobile/l'appareil sur la plaque plate, la valeur lue devant également être de 0 % sans ajustement. Si ce n'est pas le cas, il faut répéter la procédure.

Note importante : si le système d'investigation visuelle des égouts ne permet pas de corriger la pente (remise à zéro), l'opérateur doit effectuer les points 1, 2, 3 et 4 de la procédure précédente. Au lieu du point 5, il enregistre la pente en tant que valeur offset, cette valeur pouvant être positive ou négative. Pour chaque tronçon entamé, cette valeur offset sera enregistrée dans le code ADE (« par exemple, offset inclinaison + 0,25 % »). De cette manière, le maître d'ouvrage et le constructeur/bureau d'études peuvent interpréter correctement la pente.

Vérification de l'inclinaison de la caméra mobile/de l'appareil sur chantier :

A défaut d'un endroit plat, l'opérateur peut placer la caméra sur un support relativement plan. Une marque est ensuite faite à la craie par exemple, en bas sur la paroi latérale de chaque pneu, et continue sur le support. La caméra mobile/l'appareil peut maintenant être tourné(e) à 180° autour de son axe horizontal, la position des quatre roues devant correspondre aux marques apposées. Méthode : placer la caméra mobile/l'appareil, lire la pente, soulever la caméra mobile/l'appareil, tourner la caméra

³⁷ Plaque rigide en métal léger avec trois pieds sphériques ou des plaques de support mobiles avec une articulation à rotule, dont deux ont un réglage fin, la plaque est assez grande pour y placer la caméra mobile/l'appareil. La plaque elle-même doit être plate et suffisamment épaisse pour ne pas se déformer sous l'effet du poids de la caméra mobile/de l'appareil.

mobile/l'appareil de 180° (dans le plan horizontal) et le positionner, lire la pente et comparer. Si la pente présente la même valeur dans le sens positif et dans le sens négatif, on peut supposer qu'elle est correcte. Si ce n'est pas le cas, une plaque plane sera nécessaire pour déterminer la différence (comme pour les contrôles intermédiaires).

Ce paragraphe explique aussi comment et quand une mesure de pente est effectuée.

Important : si la conduite comporte encore des saletés, du sable, des graviers ou des obstacles, il est inutile d'effectuer une mesure de pente. La caméra mobile/l'appareil se déplace sur la saleté/le sable/les graviers/les obstacles, ce qui fait que la pente indiquée ne correspond pas au profil réel de la pente. Dans la quasi-totalité des cas, la canalisation doit être nettoyée au préalable.

La mesure statique de la pente s'effectue lors de l'investigation visuelle. Points à prendre en compte :

1. Lorsque la caméra mobile/l'appareil est immobile, la pente n'est pas affectée par les mouvements de traction³⁸.
2. Si les roues de la caméra/de l'appareil ne sont pas dans un joint ou « en équilibre » dessus, ce qui, dans la plupart des configurations, n'est pas le cas, la mesure statique peut alors se faire à cet endroit. La mesure statique ne peut avoir lieu que lorsque les quatre roues du chariot/de l'appareil se trouvent dans un seul et même tuyau.
3. L'opérateur ne laisse pas la caméra mobile/l'appareil « tirer »³⁹ lorsqu'il vérifie un raccord de joint⁴⁰.
4. La mesure est effectuée pendant que l'opérateur vérifie le joint, il ne doit pas la mentionner dans le rapport, sauf si une contre-pente a été détectée (voir point 5).
5. Si l'opérateur constate une stagnation d'eau (contre-pente) dans une section particulière de la conduite, il l'enregistre conformément au point 7.2.5.

Important : cette mesure ne doit être effectuée que si la stagnation de l'eau s'étend sur plusieurs tronçons de tuyau. Si la stagnation de l'eau est due à une accumulation de saletés (dans un regard ou le tronçon suivant) ou à une vanne ou un sac de sable ou autre, ce point ne s'applique pas.

La mesure statique de la pente s'effectue une fois l'investigation visuelle terminée.

Lorsque les tronçons ont été examinés et que la caméra mobile ou l'appareil est retiré (il peut s'agir de plusieurs tronçons), un graphique de pente est enregistré pour chaque tronçon de la manière suivante :

1. La traction de la caméra mobile/de l'appareil est mise au point mort afin de permettre le retrait de la caméra mobile/l'appareil d'un mouvement quasi uniforme.
2. La caméra mobile/l'appareil est positionné(e) au niveau de l'extrémité du tronçon concerné.

³⁸ Le chariot/l'appareil devant tirer le câble (dont la longueur peut varier de <6 à 400 m), il est soumis à des forces de traction. En conséquence, la caméra a tendance à pointer vers l'axe frontal. L'essieu arrière sert de point de pivot à cette force. La force exercée est d'autant plus grande que la caméra doit tirer plus de câble, ce qui affecte la mesure de pente pendant l'avancement du chariot.

³⁹ Appliquer une force de traction sur le câble alors que l'appareil est immobile

⁴⁰ Comme indiqué précédemment dans ce dossier, il convient d'effectuer l'investigation visuelle d'une canalisation d'amont en aval. D'une part, cela permet d'éviter que la caméra mobile/l'appareil ne roule sur le câble lors de son retrait.

3. Les données d'inventaire du tronçon en question sont reliées⁴¹ à la mesure de pente dynamique, en même temps que l'enregistrement d'un clip vidéo est lancé.
4. La caméra mobile /l'appareil est retiré(e) dans un mouvement presque uniforme à une vitesse pouvant aller jusqu'à 0,2m/s⁴².
5. Le plus souvent, la caméra mobile/l'appareil est arrêté(e) à 1 m du début du tronçon⁴³.
6. Le graphique de pente reprend au moins les données suivantes :
 - a. Nœud de départ et nœud d'arrivée.
 - b. Sens d'écoulement.
 - c. Sens de la mesure de pente.
 - d. Longueur [m] de l'investigation reportée sur l'axe x.
 - e. Degré d'inclinaison [%] reporté sur l'axe Y.
 - i. Degré d'inclinaison mesuré [%].
 - ii. Degré d'inclinaison moyen [%].
 - f. Profil longitudinal sur l'axe Y [m].
 - i. Profil longitudinal [m].
 - ii. Gradient hydraulique [m].

Important : il n'est pas nécessaire de soumettre les tronçons de moins de 5 m à la mesure de pente dynamique. Les résultats ne sont pas exploitables pour des distances aussi courtes.

⁴¹ Le lien est différent pour chaque logiciel/système d'inspection.

⁴² La vitesse maximale peut également être inférieure ou supérieure, veuillez vous référer aux directives techniques du fabricant.

⁴³ Dans le premier tronçon où le guide-câble est également placé, le point d'arrêt peut également être plus élevé pour éviter d'endommager l'équipement ; dans les autres cas, la distance dépend de la configuration du regard et doit être estimée par l'expert. Quoi qu'il en soit, dans tous les cas, une distance de 2 à 3 m est faisable.

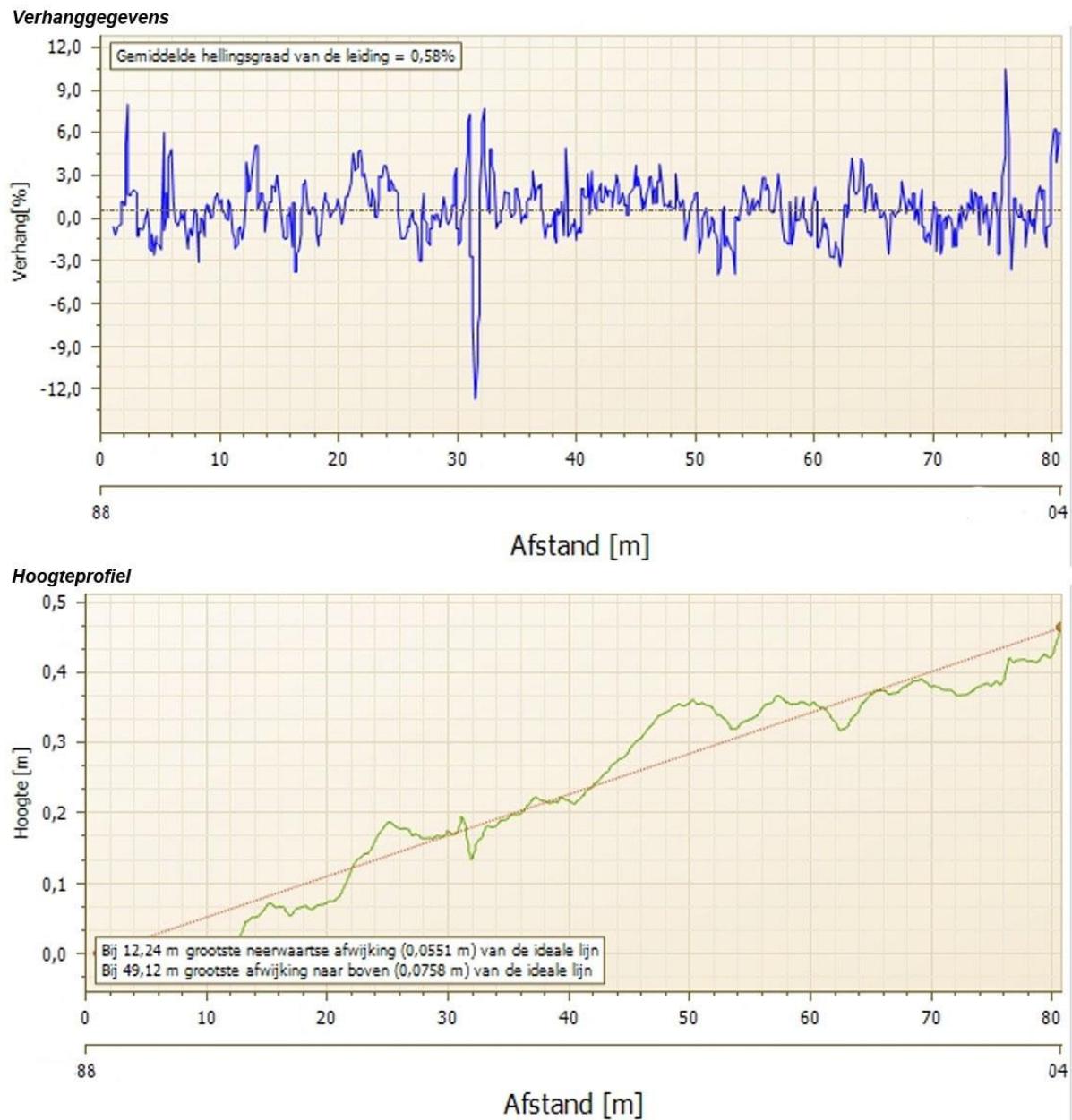


Figure 85 (source : CRR) Graphiques de pente

À l'avenir, d'autres techniques seront appliquées, des méthodes d'investigation innovantes permettront d'effectuer des mesures statiques et dynamiques des pentes par d'autres moyens. En principe, des techniques telles que les scanners laser peuvent déjà être utilisées aujourd'hui. Ces techniques n'ont pas encore trouvé leur place sur le marché. Bien entendu, elles doivent également faire l'objet d'une validation ou d'un calibrage afin de connaître l'écart de mesure.

11.16.4. Techniques de mesure inspection de regard

11.16.4.1. Mesure de la distance

Une mesure de distance lors de l'investigation d'un regard commence à 0,00 m au niveau du couvercle (le bord du regard). La résolution est fixée à 0,01 m. Pour des raisons physiques, la fin d'une

investigation visuelle d'un regard ne peut se faire au niveau du point d'arrivée où la lentille (ou l'image) est à 90° par rapport à la paroi. Il y a une raison importante à cela, car la lentille serait endommagée si elle entrait en contact avec la cunette ou le radier du regard. En outre, il peut arriver que l'ouverture d'accès ne soit pas dans l'axe du regard, ou que les tuyaux n'arrivent pas et ne repartent pas dans l'axe. Dans ces cas, la profondeur totale peut être donnée comme un point d'arrivée, là où la cunette ou le radier du regard est visible et peut être examiné(e) visuellement. Dans tous les autres cas, l'investigation visuelle doit être interrompue car tout n'a pas été inspecté.

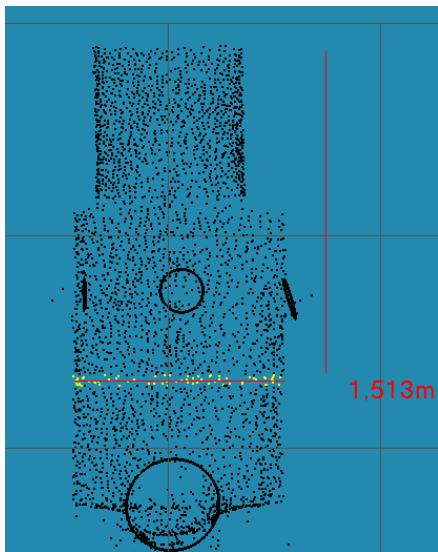


Figure-86 - Mesure de la distance par rapport au bord du regard (nuage de points IBAK Panoram-SI) (source : CRR)

11.16.4.2. Mesures dans la coupe transversale

Les résultats des mesures dans la coupe transversale peuvent varier en fonction du système de mesure utilisé. Les méthodes suivantes sont possibles :

1. L'utilisation d'une caméra optique classique utilisant la mesure en pixels sans aucun outil sera moins apte à mesurer correctement. Il est nécessaire de créer un fichier de calibrage pour chaque diamètre de regard. Pour pouvoir effectuer des mesures aussi précises que possible, il faut que l'axe de la lentille de la caméra, quand elle regarde droit devant (vers le bas en l'occurrence) coïncide avec l'axe du regard, de la chambre de visite ou dispositif d'inspection. Si ce n'est pas le cas, l'écart augmentera à mesure que la distance entre les deux axes augmentera. Les mesures de formes autres que circulaires sont trop peu fiables pour être utilisées comme base d'évaluation avec la technique de mesure actuelle qui repose uniquement sur la mesure en pixels sans référence. Dans un nombre important de cas, l'ouverture d'accès est décentralisée par rapport à l'axe du regard, de la chambre de visite ou dispositif d'inspection. Cette technique ne peut pas être utilisée dans ce cas.
2. La mesure en pixels à l'aide de points de référence laser offre une plus grande précision, à condition que les lasers soient projetés dans le même plan (90° par rapport à l'axe horizontal de la lentille de la caméra) et non sur une forme irrégulière. Si l'on souhaite mesurer à une distance autre que celle correspondant à la moitié du diamètre du regard, il faut tenir compte du fait que les deux faisceaux laser n'étant pas parallèles, la précision de la mesure s'en

trouvera affectée. L'écart de la distance entre les deux points laser est en effet différent de celui lié au diamètre du regard. Afin de garantir la précision annoncée, les mesures doivent toujours être effectuées de la même manière que lors de la validation de l'équipement.

3. La précision des mesures 3D peut varier considérablement en fonction de la technique utilisée. Le scanning avec un scanner laser 3D donne de meilleurs résultats. A l'heure actuelle, cette technique n'est pas couramment utilisée dans ce domaine, mais elle le sera dans un avenir relativement proche. La précision de ces mesures augmente régulièrement et le coût des mesures à courte distance (comme dans cette application) diminue. Les conditions environnementales jouent également un rôle et les équipements doivent y être adaptés.

11.16.4.3. Mesures sur la paroi du tuyau/ Mesure des branchements

Il n'est possible de mesurer les raccordements que s'ils sont entièrement visibles. Les regards (accessibles à l'homme $\phi > 800$ mm) et les regards de visite plus grands ($\phi > 600$ mm et < 800 mm) sont les plus courants dans les égouts publics. Il est possible d'obtenir une vue complète de tous les raccordements et donc aussi de les mesurer. Pour les raccordements réalisés dans des regards de plus petit diamètre, il n'est pas possible de les visualiser complètement. Ils ne peuvent donc pas être mesurés de la manière habituelle.

Toutefois, il est possible de mesurer à distance (là où l'ouverture du raccordement est encore visible, le plus loin possible) le rapport entre le diamètre du regard, ou la longueur du tuyau du regard et l'ouverture de l'orifice du raccordement. Si le matériau dans lequel le raccordement est fabriqué est connu, cela permet de faire une estimation correcte du diamètre. Pour les raccordements de grande taille, la mesure de la distance peut être utilisée pour déterminer la taille du raccordement. En fonction du système utilisé, l'expert en investigation visuelle doit recourir à la technique la plus précise (validée) propre au système.

11.16.5. Techniques de mesure du dispositif d'infiltration

11.16.5.1. Mesure de la distance

En raison des différents types de dispositifs d'infiltration, les points à prendre en compte pour mesurer la distance diffèrent selon le type.

Il est important de prendre des dispositions claires pour le raccordement des conduites au dispositif d'infiltration ou à partir de celui-ci. Si l'on souhaite soumettre ces canalisations à une investigation visuelle, il s'agit de canalisations distinctes avec leurs propres données de référence et leur propre inventaire (ces conduites sont similaires aux conduites latérales et doivent de toute façon faire l'objet d'une investigation visuelle distincte).

1. Conduites IT : même distance de référence que pour toutes les conduites (ABC A ou B)
2. Bassin d'infiltration composé d'éléments :
 - a. En cas d'accès direct par un puits intégré au-dessus du dispositif d'infiltration, la distance de référence est mesurée perpendiculairement à la paroi du puits. Ceci peut être déterminé en positionnant la caméra de telle sorte que lorsque la lentille est pointée perpendiculairement vers le haut, la paroi du puits s'aligne verticalement avec le centre de la lentille. Lorsque le regard de visite n'est pas placé au début (ou à

la fin) du dispositif d'infiltration, ce dernier est inspecté dans les deux sens. Dans de tels cas, l'identification unique des points de départ et d'arrivée est très importante. Un plan ou un croquis s'impose.

- b. Dans le cas d'un regard de visite décentralisé, l'accès au dispositif d'infiltration se fait au moyen d'un tuyau de raccordement ; la distance de référence est la même que pour toutes les canalisations (ABC A ou B). Il est important de retendre le câble au niveau du point de raccordement avec le dispositif d'infiltration afin que cette distance puisse être utilisée comme offset lors de l'évaluation des aspects liés à l'état.
3. Champ d'infiltration en béton : même système qu'au point 2.
4. Bassins d'infiltration en béton : même système qu'au point 2.
5. Puits d'infiltration : comme pour tout investigation de regard, le point zéro se situe au niveau du bord du regard (cadre supérieur du dispositif de couverture).
6. Poteaux d'infiltration en béton : même système qu'au point 5.
7. Autres dispositifs d'infiltration :
 - a. L'investigation visuelle au cours de laquelle le robot/l'appareil se déplace dans une direction horizontale utilise la même systématique qu'au point 2.
 - b. L'investigation visuelle au cours de laquelle le robot/l'appareil se déplace dans une direction verticale utilise la même systématique qu'au point 5.

11.16.5.2. Mesures sur la paroi

Les mesures sur la paroi ne sont possibles que si les lasers sont en angle droit par rapport à la paroi du tuyau.

11.16.5.3. Mesures dans la coupe transversale

Dans la plupart des cas, il n'est pas possible d'effectuer des mesures dans la section transversale. Les mesures des aspects liés à l'état situés devant ou en diagonale devant la lentille de la caméra ne peuvent pas être effectuées en tant que telles. Toutefois, il est possible d'obtenir une bonne estimation de la taille d'un aspect lié à l'état en comparant la taille d'un objet connu (par exemple, la hauteur ou la largeur d'un passage) à celle de l'objet à mesurer ; dans ce cas, il est important que l'objet de référence se trouve dans le même plan (90° par rapport à l'axe horizontal de la lentille de la caméra) que l'objet à mesurer.

11.16.5.4. Positions

Dans le cas d'un dispositif d'infiltration soumis à une investigation visuelle dans le sens vertical, il n'y a souvent pas de « conduite basse la plus grosse » sur laquelle orienter la position (12); dans ce cas, le nord magnétique est utilisé comme point de référence pour la position (12).

12. Reporting des résultats

Le rapport permet à l'entrepreneur de prouver qu'il a construit le système d'assainissement conformément au plan de conception et aux prescriptions des cahiers des charges, que la construction est exempte de défauts graves. Si des défauts graves sont quand même constatés, il y remédiera en concertation avec l'architecte, après quoi une nouvelle investigation visuelle aura lieu pour la partie non acceptée. Les rapports sont mis à la disposition du maître d'ouvrage et de l'entrepreneur au format

numérique. Il est important de noter que l'investigation visuelle se limite aux aspects liés à l'état qui peuvent être identifiés visuellement au moment où l'investigation a été effectuée. Il est exclu d'émettre des hypothèses, car elles donnent lieu à des discussions entre les différentes parties et ne peuvent se concrétiser si elles ne sont pas visuellement démontrables.

12.1. Composition du rapport

Le rapport est composé de la même manière pour toutes les investigations afin que les données soient toujours structurées.

12.1.1. Données du projet

Ces données sont valables pour l'ensemble du projet et comprennent toutes les références uniques en la matière.

12.1.2. Données d'inventaire

Ces données sont valables pour un tronçon ou un regard, une chambre de visite ou un dispositif d'inspection. elles comprennent tous les détails de la localisation, les détails liés à l'investigation, à l'objet à inspecter et d'autres informations.

12.1.3. Données détaillées de l'investigation visuelle

Il s'agit des observations faites et enregistrées au cours de l'investigation visuelle. Le niveau de détail est le même pour chaque technique d'investigation, sauf pour les investigations stationnaires (voir 7.2.6.1).

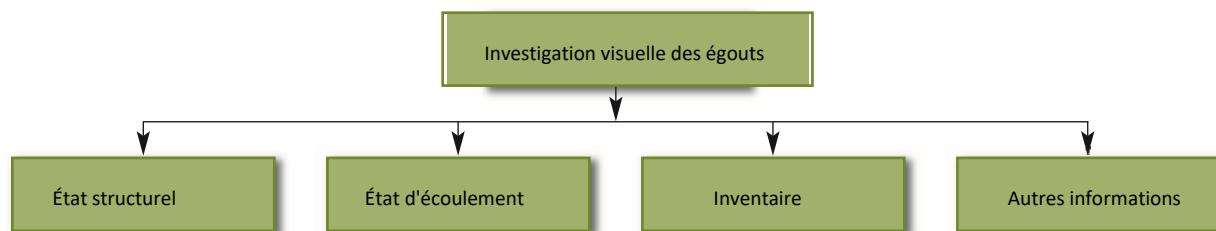


Schéma 3 - Classification du codage (B et D)

Les données détaillées sont accompagnées d'informations supplémentaires telles qu'une référence unique, la distance, le numéro de la photo, le compteur vidéo, etc. Les informations supplémentaires diffèrent selon qu'il s'agit d'une investigation stationnaire ou de l'investigation d'un regard.

12.2. Contenu du rapport

12.2.1. Investigation de conduites

12.2.1.1. Données du projet

Les codages suivants doivent être enregistrés :

- AAM (autorité compétente) ;
- ABA (norme) ;
- ABB (système de codage initial) ;
- ABE (méthode d'inspection) ;
- ABI (référence du projet auprès de la société en charge de l'investigation) ;
- ABJ (référence du projet auprès du maître d'ouvrage) .

12.2.1.2. Données d'inventaire

Parmi les codes AAA à AEG (à l'exception de ceux déjà mentionnés dans les données du projet), certains doivent obligatoirement être enregistrés tandis que d'autres sont facultatifs (voir à cet égard le format d'échange BEFDSS).

Code ACD « Matériaux »: matériau constituant le collecteur, selon le tableau C4 de la norme.

Note : si la conduite est revêtue, ce code enregistre le matériau d'origine.

Code ACF « Matériaux de revêtement »: le matériau du revêtement même, conformément au tableau C.4 de la norme.

Le laboratoire et l'expert qui ont effectué l'investigation visuelle, ainsi que leur assistant, sont consignés. Une investigation visuelle est effectuée par au moins deux personnes, selon le type. Le numéro de certificat de l'expert en investigation visuelle ainsi que le nom de l'assistant (qui, dans de nombreux cas, n'a pas (encore) de numéro de certificat) sont enregistrés sous le code ABH ou CBH.

Les numéros de série de l'équipement avec lequel l'investigation visuelle a été réalisée sont enregistrés sous le code ABI ou CBI.

Remarque : par exemple, les tuyaux en béton produits avec du béton poreux et les tuyaux en plastique perforés ne figurent pas dans le tableau C.4 de la norme.

Toutefois, il est prévu de les enregistrer à partir de ce tableau via le code « Z Autre », par exemple « béton poreux » est alors enregistré dans le champ commentaire.

12.2.1.3. Données détaillées

Les codes suivants peuvent être utilisés pour enregistrer les observations :

- BAA à BDG (inventaire lors de l'investigation visuelle des égouts) ;
- AEA à AEG (enregistrement des changements liés aux données d'inventaire de la conduite).

12.2.1.4. Informations complémentaires par ligne d'enregistrement

(Le cas échéant, en fonction du code principal)

- Distance

- Code de défaut continu
- Code principal
- Champs de caractérisation (max. 2)
- Champs de quantification (max. 2)
- Positions (max. 2)
- Code au raccordement
- Référence photo
- Référence vidéo
- Remarque :

Attention : lors d'une investigation stationnaire, la distance et les codes de défaut continus ne sont pas enregistrés.

12.2.2. Inspection du regard

12.2.2.1. Données du projet

Les codages suivants doivent être enregistrés :

- CAM (autorité compétente) ;
- CBA (norme) ;
- CBB (système de codage initial) ;
- CBE (méthode d'inspection) ;
- CBI (référence du projet auprès de la société en charge de l'investigation visuelle) ;
- CBJ (référence du projet auprès du maître d'ouvrage).

12.2.2.2. Données d'inventaire

Parmi les codes CAA à CEH (à l'exception de ceux déjà mentionnés dans les données du projet), certains doivent obligatoirement être enregistrés tandis que d'autres sont facultatifs (voir à cet égard le format d'échange BEFDSS).

Code CCD « Matériaux » : matériau constituant le collecteur, conformément au tableau C.4 de la norme

Note : si le regard, la chambre de visite ou le dispositif d'inspection est équipé(e) d'un revêtement, le matériau d'origine du regard est défini dans ce code.

Code CCF « Matériaux de revêtement » : le matériau du revêtement même, conformément au tableau C.4 de la norme.

Attention :

Par exemple, les tuyaux produits avec du béton poreux ne figurent pas dans le tableau C.4 de la norme. Toutefois, il est prévu de les enregistrer à partir de ce tableau via le code « Z Autre », par exemple « béton poreux » est alors enregistré dans le champ commentaire.

Si une partie seulement du regard est composée de tuyaux en béton poreux, le matériau est enregistré à partir du tuyau supérieur qui, dans de nombreux cas, n'est pas perméable. Au cours de l'investigation visuelle, le changement de matériau est indiqué au début de la première conduite du puits d'infiltration. L'enregistrement se fait à l'aide du code CED « Matériau ».

12.2.2.3. Données détaillées

Les codes suivants peuvent être utilisés pour enregistrer les observations :

- DAA à DDG (inventaire lors de l'investigation visuelle des égouts) ;
- CEA à CEH (enregistrement des changements liés aux données d'inventaire du regard, de la chambre de visite ou du dispositif d'inspection).

12.2.2.4. Informations complémentaires par ligne d'enregistrement

(Le cas échéant, en fonction du code principal)

- Distance dans le sens vertical
- Code de défaut continu
- Code principal
- Champs de caractérisation (max. 2)
- Champs de quantification (max. 2)
- Positions (max. 2)
- Code à l'assemblage
- Section de regard
- Référence photo
- Référence vidéo
- Remarque :

Dans la plupart des cas, le rapport est établi par le logiciel responsable de l'enregistrement de l'investigation visuelle. Le rapport se compose de données relatives au projet, de données d'inventaire et de données détaillées qui sont conformes à la norme et aux exigences du cahier des charges. De cette manière, le laboratoire/la société qui réalise l'inspection peut transmettre correctement tous les aspects liés à l'état enregistrés par l'investigation visuelle de l'expert sous la forme d'un rapport, avec le format d'échange du BEFDSS. En outre, les rapports sur les aspects liés à l'état doivent être enregistrés de la manière la plus simple et la plus lisible possible. Si la norme est utilisée correctement, les aspects liés à l'état peuvent être considérablement réduits, et ce sans compromis sur les détails. Voir exemples plus haut dans ce document.

Toute observation est photographiée, à l'exception de celles pour lesquelles un codage continu est désactivé (B01, B02, etc.).

L'investigation visuelle ne porte que sur les aspects liés à l'état visibles au moment où elle est réalisée. Ainsi, en hiver, lorsque le niveau de la nappe phréatique est élevé, il se peut que l'infiltration soit visible alors qu'elle ne l'est pas en été. Le niveau le plus élevé de la nappe phréatique est généralement enregistré à la fin du mois de mars et le plus bas à la fin du mois de septembre.

La norme offre un certain nombre de possibilités pour fournir des informations supplémentaires si nécessaire, sous la forme de commentaires généraux et de photographies générales. Ces codes ne

peuvent être utilisés que pour les informations qui ne sont pas disponibles dans l'un des codes spécifiques de la norme. Les informations fournies dans les commentaires généraux ne peuvent pas être stockées de manière structurée dans un ensemble de données, alors que c'est nécessaire pour sélectionner les techniques de rénovation ou de réparation appropriées. Par conséquent, seuls les aspects liés à l'état qui ne peuvent pas être repris sous un autre code doivent être enregistrés dans un commentaire général.

Un tableau récapitulatif indique le nombre d'occurrences d'un code particulier. Vous pouvez alors voir immédiatement s'il s'agit de la structure de la conduite ou du regard ou de l'état de l'écoulement. Attention, aucune évaluation ne peut être faite sur cette base, cela indique seulement qu'il faut commencer à examiner la canalisation ou le regard en question plus en détail.

De préférence, les rapports ne sont plus imprimés sur papier. Cela n'apporte aucune valeur ajoutée et est néfaste pour l'environnement. Le numérique s'est progressivement imposé comme norme. Le transfert peut être effectué en envoyant ou en remettant une clé USB, une carte USB ou un disque dur portable, etc. La tendance est à la mise à disposition des données par l'entreprise réalisant l'investigation visuelle via « le cloud » ou au téléchargement des données sur une plateforme numérique mise à disposition par le gestionnaire du système d'égouttage, selon le cas.

12.3. Reporting numérique

Dans la pratique, le reporting numérique ne se résume pas à un simple document PDF. La composition du rapport est presque identique à la version papier ou PDF du rapport. Là encore, les trois parties différentes doivent être présentes de manière hiérarchique. Avec les rapports numériques, il est souhaitable que le rapport puisse être analysé sous différents angles. Sous forme de tableau, tous les détails sont écrits ; dans la représentation schématique, la concentration des constatations est rendue visible. Tout est organisé par distance, à l'exception des *Simplified inspections*, qui sont organisées en fonction du temps vidéo ou du cadre, en l'absence de distance. Le rapport est interactif, ce qui permet d'appeler les photos ou les images animées correspondantes à partir du rapport.

12.4. Rapport numérique avec système GIS intégrer

Dans sa forme la plus élaborée, ce type de rapport permet d'accéder à des rapports provenant d'un environnement GIS interactif et inversement. En outre, plusieurs options permettent de colorer les tronçons ou les regards selon des thèmes qui peuvent être composés manuellement ou prédéfinis. Cette forme de rapport permet au gestionnaire d'accéder aux données des investigations visuelles effectuées presque immédiatement après le « téléchargement depuis le chantier ».

12.5. Échange de données numériques

12.5.1. Échange de données selon le BEFDSS

12.5.1.1. Description

BEFDSS signifie *Belgian Exchange Format for Drain and Sewer systems*. Cette dénomination en anglais est utilisée pour éviter de devoir traduire les documents assez complexes dans les trois langues nationales.

Pour permettre l'échange de données issues des investigations visuelles des égouts conformément à la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011), la Belgique a opté pour un format d'échange sous la forme d'un fichier XML (eXtensible Markup Language). XML est une norme qui définit des langages de balisage formels pour représenter des données structurées sous forme de texte brut.

Au « schéma XML », on peut créer des schémas pour des documents XML, par exemple, qui spécifient formellement ces documents et sur la base desquels ils peuvent être validés, par exemple par des validateurs XML. À cette fin, un Schéma XML indique, entre autres, quels sont les éléments d'un document XML, où ils se trouvent, quels attributs ils doivent présenter, etc. En termes très simples, un schéma XML peut spécifier, entre autres, quels types de balises sont autorisées à apparaître dans un document XML.

Un document XML peut être correct (bien formé) au regard de la norme XML générale, mais ne pas être valide au regard d'un schéma XML donné.

Dans le langage XSD (XML Schema Definition Language), divers types de données prédéfinis peuvent être utilisés, tels que double, integer, string et boolean, et des types de données propres peuvent être déclarés. Les types complexes sont composés de types simples.

Par défaut, les schémas XML sont stockés dans des noms de fichiers portant l'extension .xsd.

Les accords sur les balises à utiliser dans le « format d'échange » sont formellement définis dans les définitions de schéma XML (XSD). Outre les balises à utiliser, sont également décrites les données acceptables et la manière dont elles doivent être spécifiées (par exemple, le pourcentage se compose d'un chiffre au minimum et de trois chiffres au maximum, la valeur minimale = 1, la valeur maximale = 100).

Le format d'échange BEFDS permet au maître d'ouvrage et aux gestionnaires des réseaux d'égouttage d'échanger des données provenant d'investigations visuelles des égouts conformément à la norme NBN EN 13508-2(NBN, 2011) et de les inclure dans les systèmes de gestion, quel que soit le système de l'exécutant par qui ces données ont été générées.

Le format d'échange BEFDSS est conçu de telle sorte que les éléments apparaissant dans le fichier livré doivent présenter un certain nombre de caractéristiques prédéfinies. En d'autres termes, le nombre, le contenu et le caractère obligatoire ou facultatif des champs disponibles lors d'une investigation visuelle dépendent de la technique de contrôle, de l'annexe nationale de la norme et de la section d'égout contrôlée. Par exemple, dans certains cas, le champ de caractérisation 2 ne peut être rempli que pour un choix donné dans le champ de caractérisation 1 et les données fournies ne peuvent

contenir que les combinaisons prévues ; d'autres combinaisons ne sont pas autorisées. Cela signifie que la qualité de l'investigation est contrôlée dans une large mesure par le format d'échange, puisque les données fournies doivent toujours répondre à ces critères.

La norme étant complexe, l'erreur humaine lors de l'enregistrement des observations au cours d'une investigation visuelle des égouts n'est pas inconcevable. Il est donc extrêmement important que le logiciel permettant de saisir ces observations contienne une logique qui aille encore plus loin que la logique du format d'échange.

Les multiples éléments qui vont de pair et qu'il est parfois nécessaire d'encoder, doivent être présentés dans l'ordre à l'expert en investigation visuelle au cours de ladite investigation visuelle. L'expert peut alors se concentrer autant que possible sur la question centrale, à savoir déterminer correctement les aspects liés à l'état.

12.5.1.2. Composition

BEFDSS_02_01 : le « 02 » représente la version, le « 01b » représente le numéro de mise à jour.

Pour garantir dans une large mesure la conformité des données fournies, le format BEFDSS est divisé en sept parties (voir Annexe I).

A chaque investigation visuelle des égouts effectuée correspond un fichier portant l'extension « .xml ». Ce fichier XML doit être conforme au schéma XSD correspondant (selon l'une des sept options énumérées à l'Annexe I). Il existe donc un fichier XML pour l'investigation d'une canalisation⁴⁴ et un fichier XML pour l'inspection d'un regard⁴⁵. Ces deux investigations sont totalement distinctes, de même que les rapports.

Le nom des fichiers comprend logiquement la référence de marché du maître d'ouvrage, suivie du « blanc souligné » (*underscore*) et une des abréviations DP, S ou M. En d'autres termes, le contenu du code ABJ pour la conduite ou CBJ pour le regard, par exemple « Rioo_22042006_45678_DP.XML ». Il convient de tenir compte des caractères autorisés pour la sauvegarde des fichiers en général (par exemple, ne pas utiliser [\ / , . : | ? "><]).

12.5.1.3. Sous-routine BEFDSS

Une partie des données d'entrée (en particulier les informations sur les égouts, indiquées par les codes principaux A** et C**) est statique et uniquement connue du maître d'ouvrage. La partie de ces données relative à l'investigation doit être complétée par l'entreprise exécutante. La sous-routine BEFDSS garantit que le maître d'ouvrage fournit toutes les données nécessaires au laboratoire au format BEFDSS. Le laboratoire doit ensuite ajouter les données résultant de l'investigation (en particulier les informations sur l'état de l'égout, indiquées par les codes principaux B** et D**).

⁴⁴ Il peut également s'agir d'un dispositif d'infiltration ou d'un cours d'eau couvert.

⁴⁵ Il peut également s'agir d'un regard de visite, d'un dispositif d'inspection, d'un puisard ou d'un dispositif d'infiltration vertical.

La sous-routine ne comprend que deux parties (puisque les données d'entrée pour la section des conduites sont identiques pour les deux types d'investigation des égouts - à partir d'une conduite et à partir d'un regard):

1. BEFDSS_XX_XX_IDP (*Inventory Data Pipeline Inspection*) pour l'échange de données d'entrée lors de l'investigation visuelle d'une canalisation⁴⁶;
2. BEFDSS_XX_XX_IDM (*Inventory Data Manhole Inspection*) pour l'échange de données d'entrée lors de l'investigation visuelle d'un regard⁴⁷.

12.5.2. Mises à jour du BEFDSS

La numérisation s'est poursuivie et jouera un rôle encore plus important dans les décennies à venir. En 2005, le CRR a proposé le « BEFDSS_01_01 ». Depuis lors, la Belgique dispose de son propre Format d'échange standard pour l'échange de données entre le gestionnaire des égouts et le laboratoire/l'entreprise⁴⁸.

En 2013, parallèlement à la publication du Dossier 16 (Poelmans, 2013), une mise à jour a été publiée « BEFDSS_02_01 ». La différence entre la version 01_01 et la version 02_01 réside essentiellement dans la structure de l'échange de données. La version 01_01 était basée sur un élément d'égouttage⁴⁹ (généralement un tronçon ou un regard) comme référence unique, tandis que la version 02_01 est basée sur l'investigation visuelle comme référence unique. Cette mise à jour permet d'effectuer sans conflit plusieurs investigations visuelles du même élément d'égouttage. L'enregistrement incohérent des conditions ambiantes entre les « investigations et contre-investigations » antérieures appartient donc au passé. Cette version reprend aussi les modifications apportées à la norme NBN EN13508-2+A1 (NBN, 2011).

Une nouvelle mise à jour « BEFDSS_02_02 » sera publiée en 2025. Les différences sont beaucoup moins importantes. Certains codages et champs obligatoires dans la version 02_01 ont été assouplis.⁵⁰ Le plus grand changement dans la version 02_02 est l'extension de « nvm » afin que les techniques innovantes avec leurs limites puissent également être échangées d'une manière structurée et sans conflit. Donc, maintenant, en plus du BEFDSS_02_02_DP et du BEFDSS_02_02_M, un BEFDSS_02_02_DP (nvm) et un BEFDSS_02_02_M (nvm) sont désormais disponibles au profit des techniques innovantes. Les formats d'échange (nvm) laissent la liberté⁵¹ de s'écartez de certains enregistrements et tolérances obligatoires, tels que spécifiés dans les fichiers d'échange non nvm. Veuillez noter que cette liberté en question a aussi ses limites, mais les champs obligatoires dans les fichiers nvm doivent être remplis.

⁴⁶ Il peut également s'agir d'un dispositif d'infiltration ou d'un cours d'eau couvert.

⁴⁷ Il peut également s'agir d'un regard de visite, d'un dispositif d'inspection, d'un puisard ou d'un dispositif d'infiltration vertical.

⁴⁸ Les investigations visuelles des égouts peuvent être réalisées par des laboratoires accrédités ISO/IEC 17025 (ISO, 2017)

⁴⁹ Un élément d'égouttage peut être une canalisation, un conduit, un avaloir, un puisard ou un dispositif d'infiltration sous toutes ses formes.

⁵⁰ Non Validated Measurement

⁵¹ Si le maître d'ouvrage peut accepter les limites des techniques innovantes qui doivent être communiquées de manière transparente avant la conclusion d'un accord entre les deux parties

12.5.3. Échange de données – Représentation schématique

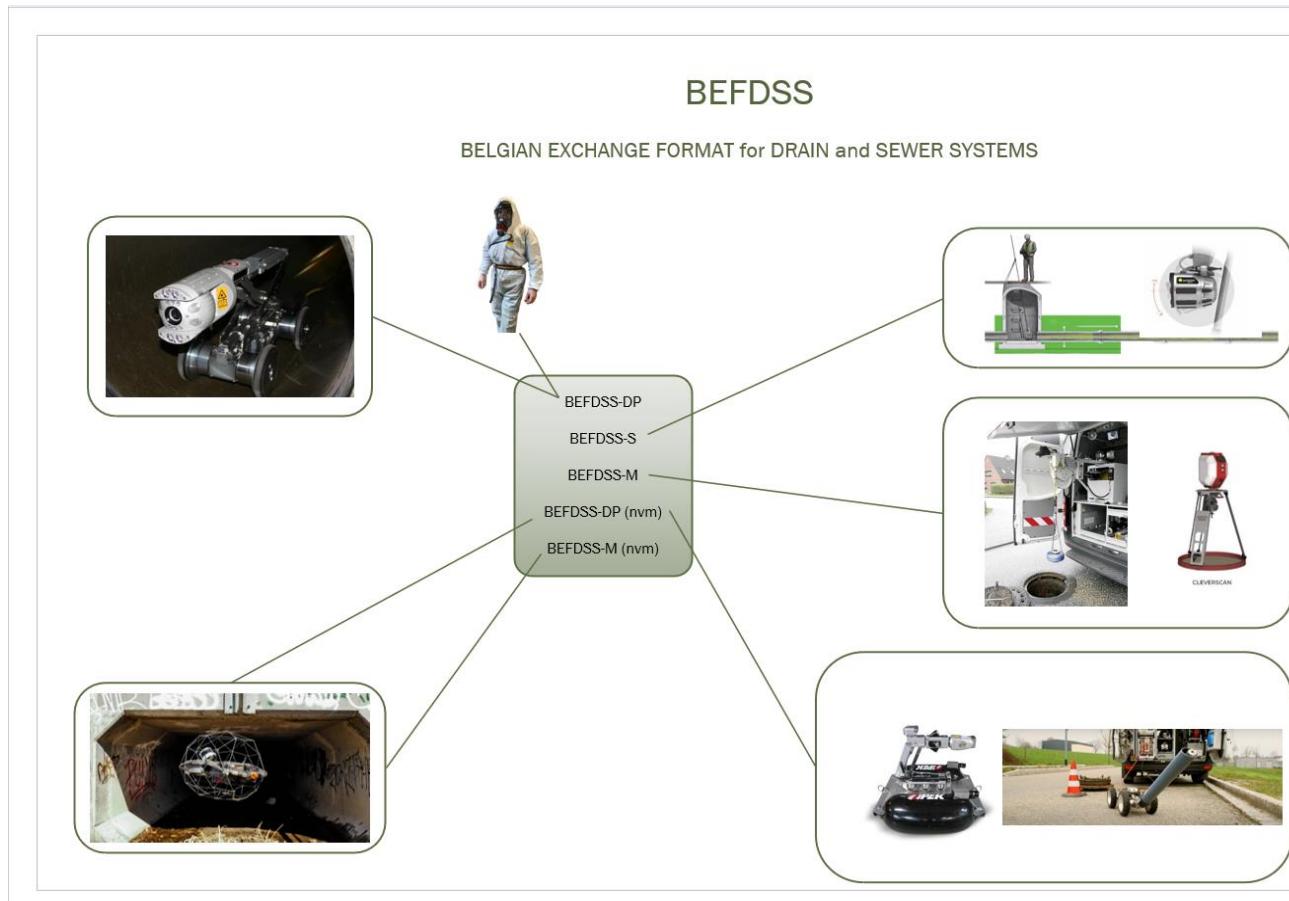


Figure 87 - Schéma BEFDSS (source : CRR)

Evolution et échange de données sur l'investigation visuelle des égouts

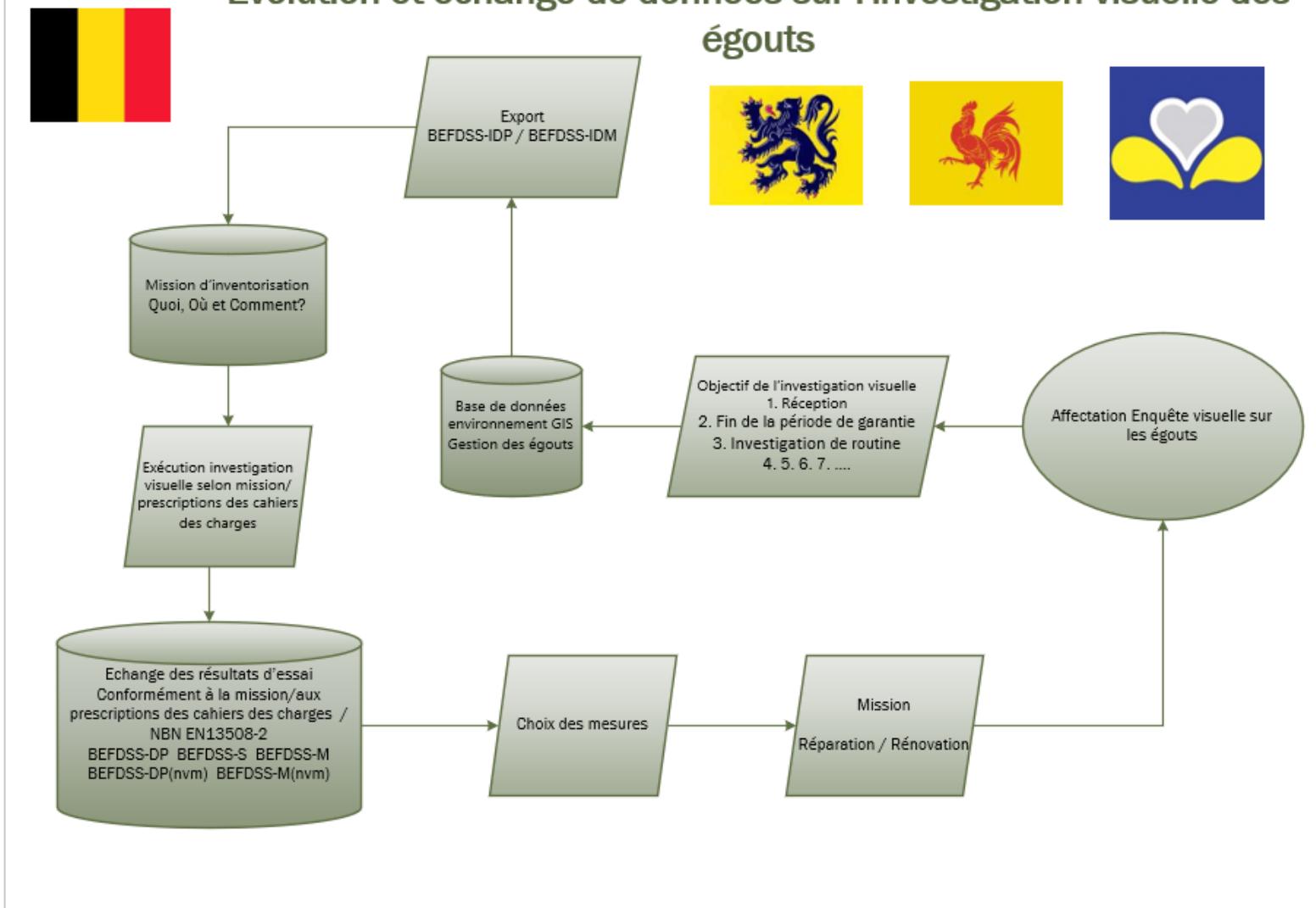


Figure 88 - Evolution et échange de données sur l'investigation visuelle des égouts (source : CRR)

L'échange de données numériques doit correspondre pleinement aux rapports numériques. Les données importées dans une base de données peuvent être reliées à un système GIS pour la visualisation des données. Un lien avec un programme de gestion permet de relier les sélections aux techniques de réparation ou de rénovation proposées. Pour que ces opérations soient possibles et se déroulent sans problèmes, la forme et le contenu des données doivent être validés avant le transfert conformément au schéma xsd (qui est conforme au fichier BEFDSS correspondant). Un transfert immédiat de données au cours de l'investigation visuelle n'offre pas l'assurance de qualité telle que prévue dans un environnement ISO/CEI 17025 (ISO, 2017). Le laboratoire ou l'entreprise qui réalise l'investigation visuelle conformément aux prescriptions des cahiers des charges type est accrédité et vérifie les données selon sa propre procédure. Si le client a accès aux données en temps réel, il doit être clair qu'il s'agit de données non vérifiées. Après avoir passé avec succès le contrôle qualité interne prévu, les données peuvent être considérées comme réceptionnées après corrections éventuelles et finalement communiquées au client. Le contrôle qualité interne se fait de préférence dans un délai convenu, qui doit être le plus court possible. Dans tous les cas, il convient de préciser quelles données ont finalement été réceptionnées.

Lors de la lecture des données, il est conseillé de préciser la qualité des données, ce qui peut être fait en enregistrant, entre autres :

- La manière (selon quelle technique) dont les données ont été générées ;
- La date à laquelle les données ont été générées ;
- Si les données proviennent de la conversion d'anciennes données ;
- Si les données ont été ajoutées manuellement sur la base d'hypothèses (*dummies*) ;
- Si les données sont conformes à la norme BEFDSS et dans quelle version ;
- Quel classement est attribué en fonction de la qualité ;
- Quel classement est attribué en fonction de l'ancienneté des données.

13. ANNEXE I

Tableau : Technique d'investigation/Plage de mesure/Champ d'application/Format d'échange

14. Annexe II

14.1. Annexe II-A

Diagramme de flux pour l'évaluation des assemblages déplacés

14.2. Annexe II- B

Explications du diagramme de flux pour l'évaluation des assemblages déplacés

15. Annexe III

Diagrammes de flux investigation visuelle selon la norme NBN EN 13508-2 (NBN, 2011) et les prescriptions des cahiers des charges

16. Annexe IV

Programme de formation expert en investigation visuelle des égouts selon la norme NBN EN 13508-2+A1 de 2011 et la norme NBN B 34-001 (NBN, 2015)

17. ANNEXE V

Tuyaux d'assainissement en PVC selon la norme NBN EN 1401-1+A1 (NBN, 2019+2023) / Tuyaux d'assainissement en polypropylène selon la norme NBN EN 1852-1+A1 (2018+2022)

18. ANNEXES VI

Explication détaillée sur les dépôts de calcaire dans les tuyaux en béton (voir document « STC1CTS1/42/03 ») (Probeton, 2023). Ce document est mis à disposition pour information à l'annexe VI.

19. Annexe VII

Explication détaillée de la méthode CRR MEVOSGROW - Méthodologie de détection économique des défauts structurels des égouts sous la voirie

20. Références photographiques

<i>Numéro de la photo</i>	<i>Description</i>	<i>Source</i>
1	<i>Dégâts importants causés par l'effondrement d'une conduite</i>	<i>BRRC</i>
2	<i>Système d'inspection IBAK</i>	<i>IBAK</i>
3	<i>Système d'inspection IBAK</i>	<i>IBAK</i>
4	<i>Système d'inspection IBAK</i>	<i>IBAK</i>
5	<i>IBAK Caméra mobile avec objectif œil-de-poisson</i>	<i>IBAK</i>
6	<i>Pearpoint_Caméra mobile avec objectif œil-de-poisson</i>	<i>BRRC</i>
7	<i>Évolution de la résolution d'image</i>	<i>BRRC</i>
8	<i>Évolution de la qualité d'image</i>	<i>BRRC</i>
9	<i>Évolution de la qualité d'image</i>	<i>BRRC</i>
10	<i>Évolution de la qualité d'image</i>	<i>BRRC</i>
11	<i>Symbole Belac</i>	<i>BELAC</i>
12	<i>Formation/recyclage numérique - CRR</i>	<i>BRRC</i>
13	<i>Visibilité limitée en raison de la vapeur d'eau</i>	<i>BRRC</i>
14	<i>Ventilation forcée</i>	<i>BRRC</i>
15	<i>Photo stationnaire ; dépôt décanté > 80%</i>	<i>BRRC</i>
16	<i>Photo stationnaire ; dépôt décanté + formation d'une croûte > 25 %</i>	<i>BRRC</i>
17	<i>Studio mobile IBAK</i>	<i>IBAK</i>
18	<i>Studio mobile RAUSCH</i>	<i>RAUSCH</i>
19	<i>Studio mobile IPEK</i>	<i>IPEK</i>
20	<i>Rovion-Float-Top-300x300</i>	<i>Rovion-Sewervision</i>
21	<i>Rovion-Float-Side-with-Camera-1-300x300</i>	<i>Rovion-Sewervision</i>
22	<i>Drone - Investigation visuelle d'un conduit</i>	<i>Medexon bv</i>
23	<i>Équipement de drone avec communication_Medexon</i>	<i>BRRC</i>
24	<i>Équipement de drone avec communication_Medexon</i>	<i>BRRC</i>

25	<i>Deep Trekker Revolution</i>	<i>Deep Trekker</i>
26	<i>Moniteur Deep Trekker Revolution et commande</i>	<i>Deep Trekker</i>
27	<i>Bateau sonar avec scanner laser 3D</i>	<i>Vandervalk-Degroot</i>
28	<i>Bateau sonar de principe avec scanner laser 3D et sonar</i>	<i>Vandervalk-Degroot</i>
29	<i>China-Sewer-Waste-Water-Pipe-Catvs-Combined-Sonar-Lidar-Multi-Sensor-Steerable-Inspection-Video-Crawler-Camera</i>	<i>Easysight.fr.made-in-china.com</i>
30	<i>Systèmes de transmission pour une variété de terrains difficilement accessibles</i>	<i>Copperstone-Technologies</i>
31	<i>Tête de nettoyage avec caméra intégrée</i>	<i>Sewer Robotics</i>
32	<i>Image en direct - Tête de nettoyage avec caméra intégrée</i>	<i>Sewer Robotics</i>
33	<i>Piston pour le nettoyage</i>	<i>Vecom</i>
34	<i>Piston avec poils d'acier</i>	<i>T.D. Williamson</i>
35	<i>Piston intelligent avec caméra et sondes</i>	<i>Science Examinator</i>
36	<i>PANORAMO 4K System</i>	<i>IBAK</i>
37	<i>PANORAMO 4K System-live view</i>	<i>IBAK</i>
38	<i>PANORAMO 4K System-live view</i>	<i>IBAK</i>
39	<i>PANORAMO-SI System</i>	<i>IBAK</i>
40	<i>PANORAMO-SI Représentation schématique</i>	<i>IBAK</i>
41	<i>Système mobile PANORAMO-SI 4K</i>	<i>IBAK</i>
42	<i>PANORAMO-SI 4K System-live view</i>	<i>IBAK</i>
43	<i>3D-Cleverscan - Dispositif</i>	<i>Source Sewervision</i>
44	<i>«3D-Cleverscan » - Image dépliée</i>	<i>Source Sewervision</i>
45	<i>Nuage de points «3D-Cleverscan »</i>	<i>Source Sewervision</i>
46	<i>Sewer Mapper - Dispositif</i>	<i>Source Sewermapper</i>
47	<i>IKAS EVOLUTION_3D-Geosense</i>	<i>IBAK</i>
48	<i>Profiler</i>	<i>Envirosgight</i>
49	<i>Profiler Enregistrement et traitement vidéo</i>	<i>BRRC</i>
50	<i>Scanner laser</i>	<i>IBAK</i>
51	<i>Dispositif de sonar</i>	<i>I.T.D.V.</i>
52	<i>Schéma de principe Sewerbatt</i>	<i>Source C4Sewer</i>
53	<i>Graphique Sewerbatt avec photos correspondantes</i>	<i>Source C4Sewer</i>
54	<i>Représentation schématique d'une mesure DTS</i>	<i>Source AP Sensing</i>
55	<i>Artificial intelligence</i>	<i>IBAK</i>
56	<i>Artificial intelligence</i>	<i>IBAK</i>
57	<i>Profilomètre pour pistes cyclables avec équipement</i>	<i>BRRC</i>
58	<i>Imajbox</i>	<i>BRRC</i>
59	<i>Cartographie</i>	<i>BRRC</i>
60	<i>Dégradation du regard de visite</i>	<i>BRRC</i>
61	<i>ABC-A (début de l'investigation visuelle)</i>	<i>BRRC</i>

62	ABC-A (fin de l'investigation visuelle)	BRRC
63	Lentille de la caméra correctement positionnée. En position neutre, le joint apparaît centré en bas et en haut de l'image	BRRC
64	Lentille de la caméra mal positionnée. En position neutre, le joint n'apparaît pas centré en bas et en haut de l'image	BRRC
65	Représentation schématique - EnviroSight	EnviroSight
66	Quickview – Caméra à zoom	Quickview
67	Caméra à zoom ASPECTA	IBAK
68	Raccordement avec culotte BCA-B	BRRC
69	Raccordement ciselé BCA-E	BRRC
70	ROVION-SAT-II	IPEK
71	RAUSCH-PKM 200	RAUSCH
72	Représentation schématique d'un regard avec les composants	BRRC
73	Numérotation des caissons d'infiltration	BRRC
74	Poteau d'infiltration	Dyka
75	Poteau d'infiltration bassin de décantation avec ouverture d'accès	BRRC
76	Mire T05	BRRC
77	Mire TE106	BRRC
78	Marquage diamètre extérieur PVC-U	Dyka
79	Modèle - Mesure de la déformation	BRRC
80	Déplacement axial BAJ A	BRRC
81	Déplacement radial-BAJ-B	BRRC
82	Déplacement radial	BRRC
83	Déviation angulaire BAJ C	BRRC
84	Déplacement axial en combinaison avec une déviation angulaire BAJ-A + BAJ-C	BRRC
85	Graphiques de pente	BRRC
86	Mesure de la distance à partir du bord du regard	BRRC
87	Schéma_BEFDSS	BRRC
88	Déroulement et échange de données Investigation visuelle des égouts	BRRC
89	Figure 89 (source : CRR) Image 3-D	BRRC
90	Figure 90 (source : CRR) Image 3-D	BRRC
91	Artificial Intelligence	IBAK
92	La position la plus basse de l'objectif	BRRC
93	La position la plus haute de l'objectif	BRRC

21. Références

Accréditation. (2019). Service Public Fédéral Economie (SPF Economie).
<https://economie.fgov.be/fr/themes/qualite-securite/accreditation>

Directive ATEX 95. (1999). Directive 1999/92/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 1999 concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives (Quinzième Directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la Directive 89/391/CEE). *Journal officiel des Communautés européennes*, L 23, 57-64. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0092&qid=1707827379839>

Directive ATEX 114. (2014). Directive 2014/34/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 relative à l'harmonisation des législations des états membres concernant les appareils et les systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosives (Refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). *Journal officiel de l'Union européenne*, L 96, 309-356. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0034>

Brems, R., Caverneels, V., Depue, C., Franceus, P., Goblet, G., Heyrman, C., le Paige, V., Maesfranckx, I., Moonens, A., Raes, H., Schmitz, C., Urbain, I., Van Leeuwen, N. & Verstraete, B. (2005). *Signalisatie van werken en verkeersbelemmeringen op de openbare weg* (Constructiv Dossier No. 106). Constructiv. https://www.safetymypriority.be/wp-content/uploads/2021/03/Dossier106_Signalisatie-van-werken-en-verkeersbelemmeringen_for_web.pdf

Bruxelles Mobilité. (2016). *CCT 2015: Cahier des charges type relatif aux voiries en Région de Bruxelles-Capitale*. <https://mobilite-mobiliteit.brussels/sites/default/files/2022-01/cahier%20des%20charges-type%202015.pdf>

Bruxelles Mobilité. (2024). IrisRoads: Cahier des charges relatif à l'infrastructure routière en Région de Bruxelles-Capitale (Version 0). <https://data.mobility.brussels/fr/info/fb4e7ff4-fb6f-4b7d-a9eb-abd8c8fa6ee2/>

Bureau de Normalisation (NBN). (2003). *Investigation et évaluation des réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments. Partie 2: Système de codage de l'inspection visuelle* (NBN 13508-2+A1, retiré).
https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=217027&p40_language_code=fr&p40_detail_id=63568&session=17433220937059

Bureau de Normalisation (NBN). (2011). *Investigation et évaluation des réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments. Partie 2: Système de codage de l'inspection visuelle* (NBN EN 13508-2+A1).
https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=217027&p40_language_code=fr&p40_detail_id=63568&session=17433220937059

Bureau de Normalisation (NBN). (2015). *Investigation et évaluation des réseaux d'assainissement à l'extérieur des bâtiments: Système de codage de l'inspection visuelle: Complément national à la NBN EN 13508-2+A1: 2011* (NBN B 34-001).

https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=349799&p40_language_code=fr&p40_detail_id=112908&session=17433220937059

Bureau de Normalisation (NBN). (2015b). *Mise en œuvre et essai des branchements et canalisations d'assainissement* (NBN EN 1610).

https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=219988&p40_language_code=fr&p40_detail_id=76654&session=12641483955386

Bureau de Normalisation (NBN). (2018+2022). *Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement enterrés sans pression: Polypropylène (PP). Partie 1: Spécifications pour tubes, raccords et le système* (NBN EN 1852-1+A1).

https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=358423&p40_language_code=fr&p40_detail_id=121811&session=12641483955386

Bureau de Normalisation (NBN). (2019+2023). *Systèmes de canalisations en plastique pour les branchements et les collecteurs d'assainissement enterrés sans pression: Poly(chlorure de vinyle) non plastifié (PVC-U). Partie 1: Spécifications pour tubes, raccords et le système* (NBN EN 1401-1+A1).

https://app.nbn.be/data/r/platform/frontend/detail?p40_id=967169&p40_language_code=fr&p40_detail_id=431697&session=17433220937059

Organisation Internationale de Normalisation (ISO). (2017). Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais (ISO/IEC 17025).

<https://www.iso.org/fr/standard/66912.html>

Ministère des Communications et de l'Infrastructure. (1999). Arrêté ministériel relatif à la signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique. *Moniteur belge*, 21.05.1999, 17808-17830.

<http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/arrete/1999/05/07/1999014134/moniteur>

Poelmans, F. (2013). *Qualité des réseaux d'égouttage. Partie 1: Inspection visuelle* (Dossier CRR No. 16, annexe au Bulletin CRR No. 95). Centre de Recherches Routières (CRR).

<https://brrc.be/sites/default/files/2019-10/Dossier16Fr.pdf>

Probeton. (2023). *Dépôts de calcaire dans les tuyaux en béton* (Probeton No. STC1CTS1/42/03).

Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau. (2000). *Journal officiel des Communautés européennes*, L 327, 1-72. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0001.02/DOC_1&format=PDF

Vlaamse Overheid, Omgeving. (2022, mars 20). Ministerieel besluit over de keuring van de binneninstallatie, de niet-aangesloten, de installatie voor tweedecircuitwater en de privéwaterafvoer. *Moniteur belge*, 29.03.2023, 34787-34808.

https://www.ejustice.just.fgov.be/doc/rech_n.htm

Service Public de Wallonie (SPW). (2021). Arrêté du Gouvernement wallon relatif à la signalisation des chantiers et des obstacles sur la voie publique. *Moniteur belge*, 11.02.2021, 13049-13108.

<http://www.ejustice.just.fgov.be/eli/arrete/2020/12/16/2021040366/moniteur>

Service Public de Wallonie (SPW), Qualité & Construction. (2021). *Cahier des charges type Qualiroutes*

(Version 2021 consolidée [et ses adaptations ultérieures]).

http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/frame.jsp?index_cctquali.html

Vlaamse Overheid, Agentschap Wegen en Verkeer (AWV). (2019). *Standaardbestek 250 voor de Wegenbouw* [Versie 4.1a].

https://wegenenverkeer.be/zakelijk/documenten?search_api_fulltext_1=%22standaardbestek%20250%20versie%204.1a%22&documents%5B0%5D=type_document%3AStandaardbestek

Waterbeschikbaarheid in de OESO-landen. (S.d.). Vlaamse Milieumaatschappij.

<https://www.vmm.be/water/droogte/waterbeschikbaarheid/waterbeschikbaarheid>

Intelligence artificielle : définition et utilisation? (2021, maart 29). Europees

Parlement. <https://www.europarl.europa.eu/topics/fr/article/20200827STO85804/intelligence-artificielle-definition-et-utilisation>



Figure 89 - Image 3-D (source : CRR)



Centre de recherches routières

Ensemble pour des routes durables

Etablissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Boulevard de la Woluwe 42
1200 Bruxelles
Tél. : 02 775 82 20
www.crr.be

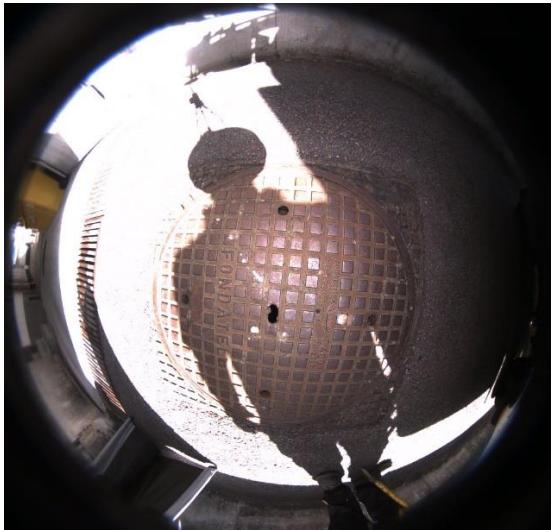


Figure 90 - Image 3-D (source : CRR)

Ce dossier est une mise à jour de la publication CRR Qualité des réseaux d'égouttage - Dossier 16 Partie 1 Inspection visuelle des réseaux d'égouttage (Annexe au Bulletin CRR 95 (avril-mai-juin 2013). La version révisée Qualité des réseaux d'égouttage - Dossier 16 Partie 1 Investigation visuelle des égouts remplace l'édition 2013.

Le dossier fera l'objet d'un nouvel examen en cas de changements structurels. Les ajustements et les ajouts/clarifications aux chapitres existants peuvent être pris en compte par une mise à jour de la version. La publication digitale garantit que le dossier reste à jour par rapport à l'évolution du marché.

La qualité est le fil rouge du présent dossier. Elle doit donc faire l'objet d'un suivi constant afin d'obtenir une amélioration continue des résultats. La garantie de la qualité nécessite des essais et des mesures. Cela doit se faire de manière uniforme et en fonction de l'objectif visé. Les résultats de ces essais et de ces mesures sont bien entendu le point de départ d'éventuelles actions ultérieures ciblées et réfléchies. Ils permettent un entretien et/ou une rénovation durable ainsi qu'une utilisation optimale des moyens financiers disponibles.

Le CRR dispose des connaissances, de l'expérience, de l'équipement et des accréditations nécessaires pour contrôler la qualité des réseaux d'égouttage.

Sur cette base, le Centre souhaite contribuer à une description, une application et une exécution univoques et uniformes des méthodes de mesure et d'essai utilisées pour inspecter l'état, le fonctionnement et l'étanchéité des réseaux d'égouttage. Toutes les parties concernées (gestionnaires, rédacteurs de cahiers des charges, exécutants, fabricants et utilisateurs) ont à y gagner.

Ce dossier tient compte des dernières réglementations dans les cahiers des charges types régionaux ; NBN EN13508-2 (Bureau de normalisation [NBN], 2011). Cette mise à jour a été réalisée grâce à la collaboration entre le CRR et les différents acteurs régionaux du secteur.



Centre de recherches routières
Ensemble pour des routes durables

Auteur	CRR Francis Poelmans
Document	Qualité des réseaux d'égouttage – Partie 1 Investigation visuelle des égouts-Rév.1
Version	20240701-v1