



HAL
open science

Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. T.1 Modèles d'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des inspections visuelles. Mise au point des modèles d'évaluation et procédure de calage des modèles. Projet INDIGAU- ANR RGC-U

C. Werey, B. Ghoulam, P. Le Gauffre, F. Cherqui

► **To cite this version:**

C. Werey, B. Ghoulam, P. Le Gauffre, F. Cherqui. Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. T.1 Modèles d'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des inspections visuelles. Mise au point des modèles d'évaluation et procédure de calage des modèles. Projet INDIGAU- ANR RGC-U. [Rapport de recherche] irstea. 2010, pp.74. hal-02594219

HAL Id: hal-02594219

<https://hal.inrae.fr/hal-02594219>

Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains



***T.1 – Modèles d'évaluation d'indicateurs de
dysfonctionnement à partir des inspections visuelles
Mise au point des modèles d'évaluation et procédure de
calage des modèles***

Janvier 2010

C. Werey , B. Ghoulam, P. Le Gauffre, F. Cherqui,

Cemagref – UMR GSP - Strasbourg

Insavalor – LGCIÉ, INSA-Lyon

Identification

<i>Programme – année</i>	PGCU 2006
<i>Projet (acronyme)</i>	INDIGAU
<i>Coordinateur du projet (société / organisme)</i>	Pascal LE GAUFFRE INSAVALOR S.A. LGCIE (Laboratoire Génie Civil & Ingénierie Environnementale)
<i>Partenaires et références convention / décision</i>	Co : INSAVALOR S.A convention 0604c0151 P1 : G2C environnement convention 0604c0152 P2 : LCPC décision 0604c0153 P3 : Cemagref UMR GSP décision 0604c0154 P4 : Univ. Marne-La-Vallée décision 0604c0155
<i>Période du projet</i>	11 avril 2007 – 10 avril 2010

<i>Titre du document</i>	L1 –Modèles d'évaluation d' indicateurs de dysfonctionnement à partir des inspections visuelles Mise au point des modèles d'évaluation et procédure de calage des modèles
<i>Tâche correspondante</i>	T1
<i>Rédacteur principal</i>	C WEREY- Cemagref –UMR GSP
<i>Nom / organisme</i>	Téléphone : 03.88.24.82.53
<i>Coordonnées</i>	Adresse électronique :caty.werey@cemagref.fr
<i>Date</i>	Janvier 2010

Résumé

Ce rapport reprend les résultats de la tâche 1 ,il présente d'une part les modèles d'évaluation des indicateurs de dysfonctionnement à partir des ITV mis au point dans le cadre du projet INDIGAU (T1.1) ainsi que la procédure de calage réalisée en étroite collaboration avec les experts des collectivités gestionnaires partenaires du projet T(1.3) s'appuyant sur une base de donnée élaborée avec des résultats d'ITV codifiés selon la norme EN 13508-2 (T1.2).

Cette tâche 1 est réalisée en parallèle avec tâche 2.2. qui conduit à l'élaboration d'un prototype pour l'évaluation des indicateurs issus d'une inspection visuelle en exploitant les résultats de la tâche1.

Table des matières

Résumé.....	3
1. Objectifs de la tâche T1 et démarche d'étude	6
1.1 Rappel de la formulation du projet INDIGAU.....	6
1.1. Détail de la tâche T1	Erreur ! Signet non défini.
2. Proposition de 3 modes d'évaluation des dysfonctionnements.....	9
3. Proposition d'un critère de calage.....	11
4. Les différentes tranches de recueil d'avis d'expert et leur exploitation	12
4.1 Tranche 0	12
4.1.1. Signification des niveaux de dysfonctionnement D1, D2, D3 et D4	12
4.1.2. Proposition de fiche pour la saisie des avis de gestionnaires.....	14
4.1.3. Les données T0.....	15
4.1.4. analyse des avis d'expert	15
4.1.5. Calage	15
4.1.6. Modification tableaux RERAU.....	16
4.2 Tranche 1	16
4.2.1 Les objectifs des nouvelles tranches	16
4.2.2 nouvelle procédure d'interrogation des experts	16
4.2.3 Traduction des objectifs en règles de choix pour la tranche T1	17
4.2.4 les données T1	19
4.2.5 Analyse des données d'expert.....	19
4.2.6 calage	20
4.2.7 Modification des tableaux RERAU.....	21
4.3 Tranche 2	21
4.3.1 procédure de saisie	21
4.3.2 Les données T2	21
4.3.3 Analyse des avis d'expert.....	21
4.3.4 Calage	22
4.3.5 modification des tableaux RERAU.....	22
5 Connaissance sur les patrimoines (résultats dévaluation)	23
6 Tableaux de synthèse	23
6.1 Résultats sur les différentes tranches.....	24
6.2 Lien tâche 1 et outil informatique tâche 2	25
6.3 Synthèse résultats valorisation	26
Références	27
ANNEXE 1 Indicateurs RERAU	28
1 Indicateur INF4-E/O-T et EXF4-E/O-T.....	28
2 Indicateur HYD3-E/O-T	29
3 Indicateur ENS4-E/O-T	30
4 Indicateur BOU4-E/O-T	30
5 Indicateur DSC7-O-T	31
6 Indicateur ATC7-O-T	32
7 Indicateur RAC4-O-T	33
7 Indicateur ABR4-O-T.....	33
8 Indicateur EFF3-O-T	33
ANNEXE 2 évolution des tableaux RERAU après tranche T0, T1,	34
1 Indicateur INF4-E/O-T et EXF4-E/O-T.....	34
2 Indicateur EFF3-O-T	35

3	Indicateur RAC4-O-T	37
	ANNEXE 3 textes des références bibliographiques INDIGAU	38

1. Objectifs de la tâche T1 et démarche d'étude

1.1 Rappel de la formulation du projet INDIGAU

La gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement nécessite des modèles d'évaluation des performances tirant profit de sources d'informations multiples : résultats des inspections visuelles ou de l'auscultation des conduites, données de l'autosurveillance des réseaux, données relatives à la vulnérabilité du milieu naturel et de l'environnement urbain, etc.

Dans le cadre du projet national RERAU (Réhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbains) un guide méthodologique a été publié en 2004. Ce guide propose un ensemble de critères pour la définition des priorités d'inspections et un ensemble de critères pour la définition des priorités de réhabilitations (Le Gauffre *et al.*, 2004).

Le projet INDIGAU vise à poursuivre les études méthodologiques initiées dans le PN RERAU et porte sur six objectifs complémentaires :

1. des modèles et outils pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des résultats des investigations ;
2. des modèles et outils multicritères pour la définition et la hiérarchisation des besoins en réhabilitations ;
3. une méthodologie d'étude des dysfonctionnements hydrauliques, par spatialisation des données de l'autosurveillance des réseaux ;
4. une amélioration de la formulation des indicateurs de performance hydraulique par analyse de l'influence du contexte météorologique ;
5. une approche pour l'évaluation économique des impacts des dysfonctionnements sur les milieux urbains et aquatiques ;
6. une approche méthodologique pour l'exploitation d'indicateurs incomplets / imprécis / incertains.

Le Tableau 1 rappelle la structure du projet INDIGAU : tâches de recherche et livrables prévus.

Le présent rapport traite de l'objectif 1, objet de la tâche T1 – Modèles et outils pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des résultats des investigations.

Il présente les résultats des 3 sous tâches : T.1.1 Evaluation directe des indicateurs par les gestionnaires T2.1 Base de données recherche et T1.1.3 Modèles et critères de calage, réalisées par Cemagref-GSP, Insavalor, G2C.

T1 – Modèles pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnements à partir des inspections visuelles

(Cemagref GSP+Insavalor+G2C+Gestionnaires)

Trimestres :	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
T1.1. Évaluation directe des indicateurs	▣	▣	▣									
T1.2. Base de données pour la recherche				▣	▣	▣						
T1.3. Modèles et critères de calage				▣	▣	▣	▣	▣	L1			

Δ : prévu ; ▣ : réalisé

Tableau 1 Rappel de la structure du projet INDIGAU

OBJECTIFS	TACHES – Partenaire responsable	LIVRABLES
	T0 – Coordination – Insavalor	
Objectif 1 : Modèles et outils pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des résultats d'investigations	Tâche 1 – Cemagref/ENGEES GSP Modèles pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des inspections visuelles	L1 – Rapport relatif à la mise au point des modèles d'évaluation et à la définition d'une procédure de calage des modèles
	Tâche 2 – G2C environnement Prototypes de logiciels pour l'exploitation des résultats d'inspections visuelles	L2A – Prototype pour la conversion des données archivées selon la codification AGHTM vers la norme NF EN 13508-2 L2B – Prototype pour l'évaluation des indicateurs issus d'une inspection visuelle, et résultats des expérimentations
	Tâche 3 – Insavalor Méthodologie d'évaluation des outils d'appréciation de l'état de santé	L3 – Rapport regroupant les propositions méthodologiques et les tests du protocole d'expérimentation numérique
Objectif 2 : Modèles et outils pour la définition et la hiérarchisation des besoins en réhabilitations	Tâche 4 – Insavalor Formulation des critères de réhabilitation et d'un modèle de synthèse multicritère	L4 – Rapport sur la formulation des critères de réhabilitation et sur le modèle de synthèse multicritère
	Tâche 5 – G2C environnement Prototype de logiciel pour la définition des besoins et des priorités de réhabilitation	L5 – Prototype de logiciel pour la définition des besoins et des priorités de réhabilitation et documents d'accompagnement (résultats des tests, etc.)
Objectif 3 : Méthodologie d'affectation des dysfonctionnements hydrauliques à des tronçons	Tâche 6 – LCPC Spatialisation des données d'autosurveillance	L6 – Rapport de recommandations pour la définition des zones à risque de débordement et des zones d'influence des débordements et déversements
Objectif 4 : Amélioration de la formulation des indicateurs de performance hydraulique par analyse de l'influence du contexte météorologique.	Tâche 7 – LCPC Modèles pour séparer les différents effets de l'état de santé du réseau et l'influence du contexte météorologique sur certains indicateurs de dysfonctionnements issus d'observations (débits d'infiltration)	L7a – Prototype de module hydrologique adapté aux apports parasites en réseau d'assainissement. L7b – Rapport de faisabilité d'une méthode de décontextualisation d'indicateurs par modélisation hydrologique
Objectif 5 : Approche économique pour l'étude des impacts et des vulnérabilités	Tâche 8 – Cemagref/ENGEES GSP Évaluation des impacts en fonction des vulnérabilités	L8 – Rapport de recommandations pour l'évaluation économique des impacts
Objectif 6 : Méthodologie pour l'exploitation d'indicateurs incomplets / incertains / imprécis	Tâche 9 – Insavalor Modèles pour l'évaluation et la fusion d'indicateurs incomplets / incertains / imprécis	L9A – Rapport sur les enjeux, les modèles, et l'expérimentation d'une représentation des données incomplètes / incertaines / imprécises / ... L9B – Démonstrateur informatique permettant d'évaluer quelques indicateurs en situations d'incomplétude, d'imprécision ou d'incertitude.
	Tâche 10 – Diffusion, communication	

Le détail des 3 sous-tâches est présenté dans le Tableau 2 :

Tableau 2 Détail de la tâche T1

Tâche 1

Modèles pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir des inspections visuelles

T1.1. Évaluation directe des indicateurs :

Sélection d'un échantillon de tronçons, mise au point d'une procédure de travail, et évaluation directe des indicateurs de dysfonctionnement par les gestionnaires (avis de référence pour le calage des modèles de calcul des indicateurs)



T1.2. Base de données pour la recherche :

Constitution d'une base de données pour l'étude des modèles : résultats des inspections visuelles codifiées selon la norme EN 13508-2 et, pour l'échantillon de calage, avis de référence.



T1.3. Modèles et critères de calage :

- ♦ Mise au point des modèles d'évaluation des indicateurs de dysfonctionnement (ajustements à partir de l'expérimentation sur le cas CG67) ;
- ♦ Élaboration, expérimentation et comparaison de critères de calage des modèles d'évaluation des indicateurs de dysfonctionnement.

La tâche 1 s'intéresse aux indicateurs de dysfonctionnement évalués à partir des inspection vidéo selon la méthodologie RERAU (Le Gauffre & al., 2004), détaillés dans le Tableau 3:

Tableau 3 Les dysfonctionnements RERAU

INF : infiltration ; EXF : exfiltration ; HYD : diminution de la capacité hydraulique ; DEB : débordements (inondation) ; DEV : déversements anormaux ; ENS : ensablement ; BOU : bouchage ;	DSC : déstabilisation du complexe sol-conduite ; ATC : attaque chimique en cours ; RAC : dégradation en cours par intrusion de racines ; ABR : dégradation en cours par abrasion ; EFF : altération de l'intégrité structurale, risque d'effondrement.
--	--

Les indicateurs correspondants à ces dysfonctionnements ont été définis à partir de la terminologie suivante :

- DYS-O-T : indicateur relatif au dysfonctionnement DYS, évalué par observation directe (O) à l'échelle du tronçon (T) ;
- DYS-O-BV : indicateur relatif au dysfonctionnement DYS, évalué par observation directe (O) à l'échelle d'un bassin versant (BV) ;
- DYS-E/O-T : indicateur relatif au dysfonctionnement DYS, évalué à partir d'observations (E/O) à l'échelle du tronçon (T) ;
- DYS-E/R-T : indicateur relatif au dysfonctionnement DYS, évalué à partir de la connaissance de facteurs de risque (E/R) à l'échelle du tronçon (T) ;
- DYS-C-T : indicateur composite, c'est-à-dire évalué à partir de plusieurs autres indicateurs ;

Dans la tâche 1 du projet INDIGAU nous nous intéressons aux 10 indicateurs exploitant des données d'inspection vidéo, à savoir :

- INF4-E/O-T Défaut d'étanchéité pour infiltration, estimé par inspection ITV
- EXF4-E/O-T Défaut d'étanchéité pour exfiltration estimé par inspection ITV
- HYD3-E/O-T Réduction de la capacité hydraulique, estimée par ITV
- ENS4-E/O-T Risque d'ensablement estimé à partir d'une inspection visuelle
- BOU4-E/O-T Risque de bouchage, estimé par inspection ITV
- DSC7-O-T Dégradation constatée du complexe sol-conduite
- ATC7-O-T dégradation par attaque chimique, constatée par investigation
- RAC4-O-T dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation
- ABR4-O-T réduction de la durée de vie par abrasion, constatée par investigation
- EFF3-O-T niveau d'endommagement constaté par investigation

Le détail des défauts (codifiés selon la norme EN 13508-B) pris en compte dans chaque dysfonctionnement et la répartition selon les 4 niveaux de gravité tel que définis dans la méthodologie RERAU sont détaillés en **annexe 1** .

2. Proposition de 3 modes d'évaluation des dysfonctionnements

Les indicateurs sont évalués à partir de données d'inspections visuelles, selon 3 méthodes représentées sur la Figure 1

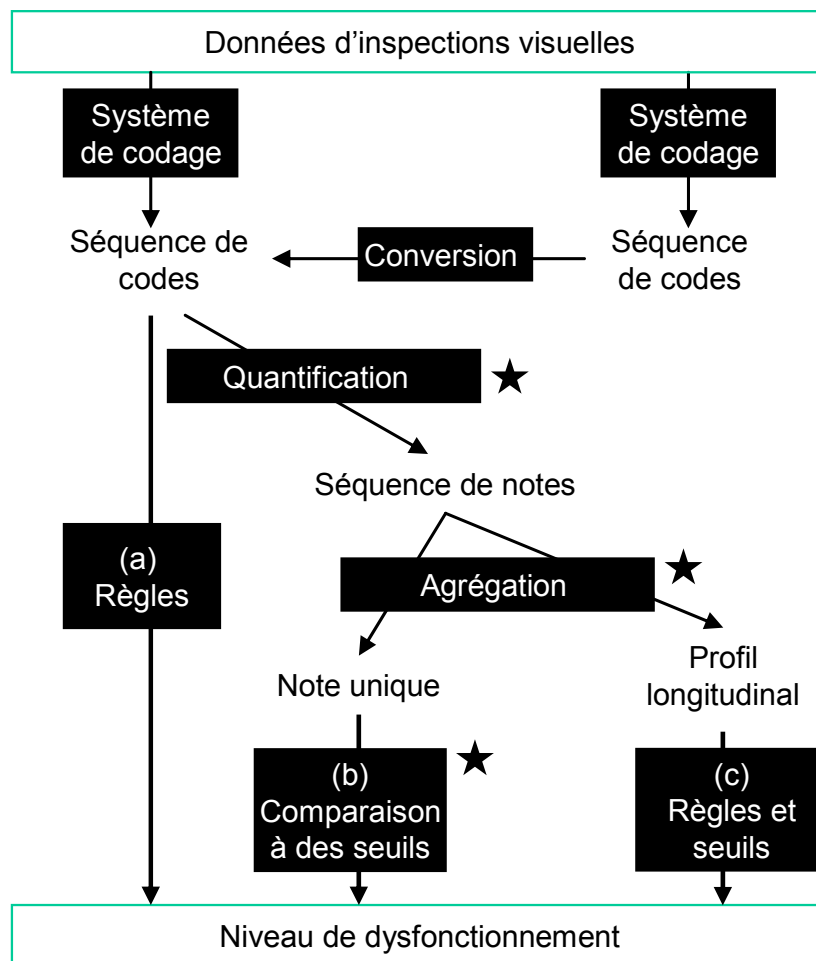


Figure 1 les 3 modes d'évaluation des dysfonctionnements

L'ensemble des procédures sont réalisées à partir de données d'inspection video conformes à la norme EN 13508-2.

Trois raisonnements complémentaires sont à identifier et à reproduire :

- règles** :
par exemple, pour EFF3-O-T, l'observation « **BAC C** » induit un niveau de dysfonctionnement **D4**
- traduction des codes en notes élémentaires, calcul d'une note cumulée, puis d'une **densité** (hypothèse à étudier et à valider) et comparaison de cette densité à 3 **seuils** S1, S2 et S3 ;
- éventuellement un raisonnement hybride, qui considère la **répartition** longitudinale des désordres et la **concentration** de désordres en certaines sections.

Pour étudier ces trois formes de raisonnement la tâche T1 du projet INDIGAU prévoit la saisie des avis exprimés par des gestionnaires sur des tronçons inspectés.

Il s'agit, pour chaque indicateur :

- de valider ou modifier des **règles** définies lors du PN RERAU, voire d'explicitier des règles supplémentaires ;
- de disposer d'avis considérés comme des **références** pour le calage du modèle de calcul d'une note globale ;
- d'étudier la dispersion des avis de référence ;
- de conserver les éventuelles hésitations (avis flou autorisé, voire encouragé) pour étudier un modèle d'appréciation flou ;

Le lien entre la note globale et longueur a été étudié et la pertinence du calcul de densité a ainsi été validé (Frédéric Cherqui - Caty Wery - Mazen Ibrahim - Jean-François Closets, Pascal LeGauffre -AUGC 2009):

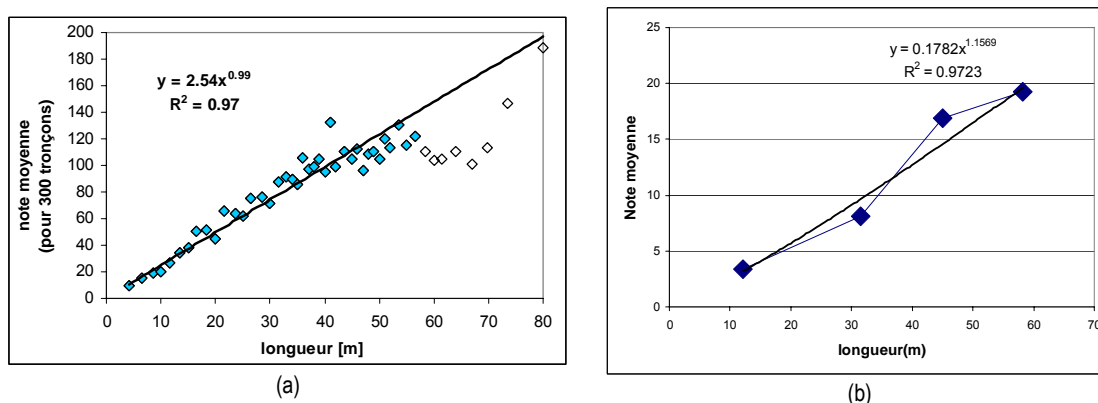


Figure 2 Relation note en fonction de la longueur des tronçons concernant l'indicateur INF4 et pour deux patrimoines différents : (a) concerne environ 15 000 tronçons (paquets de 300 tronçons) issus du département du Bas-Rhin (Dorchies, 2005; Ibrahim et al., 2007b) et (b) concerne environ 300 tronçons (paquets de 75 tronçons) issus du Grand Lyon

La **Figure 2** présente la relation entre densité et longueur pour des tronçons de deux gestionnaires différents. Sur les figures a) et b) ci-dessous, chaque point représente respectivement une moyenne de 300 valeurs et de 75 valeurs sur une plage de longueur donnée. Les résultats montrent une forte linéarité entre les notes des tronçons et leur longueur. Cette linéarité est vérifiée pour des longueurs comprises entre 10 mètres et 60 mètres environ. Ces résultats confirment la pertinence du choix de la densité comme note unique de synthèse relative à l'état global d'un tronçon. De plus, le coefficient directeur de chaque droite permet de comparer l'état global du patrimoine étudié si l'échantillon est jugé représentatif de ce patrimoine : l'échantillon de 300 tronçons apparaît être en meilleur état que l'échantillon de 15 000 tronçons. Cependant, la taille de l'échantillon lyonnais doit être augmentée pour vérifier cette hypothèse.

3. Proposition d'un critère de calage

La méthodologie retenue a consisté à soumettre des données d'inspections sur un certain nombre de tronçons, selon des supports qui ont évolué durant les différentes tranches, aux experts issus des collectivités partenaires du projet. Chaque expert donne pour chaque dysfonctionnement une réponse selon l'une des 3 procédures présentées dans le paragraphe précédent, en terme de niveau de gravité. Parallèlement à cette approche est calculée la densité dans les cas de la procédure (b). la confrontation de ces éléments calculés avec les dire d'expert est ensuite exploitée pour déterminer pour chaque dysfonctionnement la valeur des 3 seuils de passage d'un niveau de gravité à un autre à partir de la procédure de calage suivante ((Mazen Ibrahim — Pascal Le Gauffre — Frédéric Cherqui — Caty Wery AUGC 2007) et (Mazen Ibrahim — Frédéric Cherqui -Pascal Le Gauffre— Caty Wery LESAM 2007)

La **Figure 3** illustre le problème du calage des seuils destinés à définir un niveau de dysfonctionnement à partir de la note de synthèse retenue.

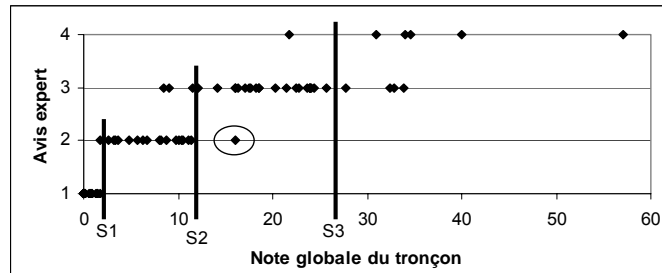


Figure 3 Confrontation entre l'affectation issue du calcul (évaluation d'une note globale puis comparaison à trois seuils) et l'avis expert pris pour référence

Le point entouré correspond à un tronçon affecté en état 2 par l'expert (cet avis sert de référence) mais affecté en état 3 par la procédure de calcul (note du tronçon comprise entre les seuils S2 et S3) : dans ce cas il y a surestimation du niveau de dysfonctionnement. En utilisant la terminologie des tests de détection, on peut parler ici de « *faux positif* » : tronçon classé à tort parmi les situations de dysfonctionnements (Le Gauffre *et al.*, 2007). A l'inverse, des tronçons affectés en état 3 par l'expert pourront être affectés en état 2 (voire 1) par le calcul : on parlera alors de « *faux négatifs* ».

La fixation des seuils S1, S2 et S3 vise à minimiser les conséquences des écarts d'affectation entre calcul et experts. Nous proposons un critère de calage C qui permet de prendre en compte les coûts associés aux différentes situations de faux positifs et de faux négatifs :

$$C = \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=i+1}^4 C_{FP}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) + \sum_{i=2}^4 \left(\sum_{j=1}^{i-1} C_{FN}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) [3]$$

avec :

$E_i \in \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$: niveau de dysfonctionnement du tronçon (énoncé par l'expert pour les tronçons de l'échantillon de calage) ;

$C_j \in \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$: niveau de dysfonctionnement calculé (fonction des seuils) ;

$P(C_j / E_i)$: probabilité d'une valeur calculée C_j pour un tronçon en état E_i (est estimée avec un échantillon de calage, et dépend des trois seuils recherchés) ;

$P(E_i)$: probabilité qu'un tronçon soit en état E_i ; cette probabilité dépend de la population sur laquelle on souhaite appliquer la procédure ;

$C_{FP}(i, j)$: coût associé à un faux positif $FP(i, j)$ (état E_i et valeur calculée C_j , $j > i$) ;

$C_{FN}(i, j)$: coût associé à un faux négatif $FN(i, j)$, (état E_i et valeur calculée C_j , $j < i$)

Ce critère « *coût global des erreurs d'affectation* » repose sur l'expression de différents coûts $C_{FP}(i, j)$ et $C_{FN}(i, j)$ qui permettent de représenter les enjeux privilégiés par un gestionnaire ainsi que ses pratiques

(suites données lors d'une affectation C_j). Notons enfin que ce critère pourra conduire à retenir des seuils différents pour deux populations de tronçons différentes telles que $P(E_i) \neq P'(E_i)$.

4. Les différentes tranches de recueil d'avis d'expert et leur exploitation

Nous présentons ici les objectifs définis pour chaque tranche. Bien que les objectifs se focalisent sur quelques dysfonctionnements, l'expert a toujours donné une réponse sur l'ensemble des 10 dysfonctionnement afin d'étudier systématiquement l'ensemble des indicateurs de dysfonctionnement et proposer de calage des seuils pour chaque indicateur.

Les objectifs des différentes taches se sont construits au vu des résultats de la tâche précédente, ils sont synthétisés dans le Tableau 4

Tableau 4 Objectifs de chaque tranche

Code	Intitulé	Tranche T0	Tranche T1	Tranche T2	
		45 Tronçons 6x45avis	30Tronçons 120 avis	30 tronçons 120 avis	
INF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)	S3	S2	S1	
EXF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'exfiltration)	S3	S2	S1	
HYD3-E/O-T	Réduction de la capacité hydraulique, estimée par inspection	S1	S3	S2	
ENS4-E/O-T	Risque d'ensablement estimé par inspection	S1	S3	S2	
BOU4-E/O-T	Risque de bouchage estimé par inspection	S1	S3	S2	
DSC7-O-T	Dégradation du complexe sol-conduite constatée par investigation (inspection ou autres techniques)	D1, D2	Définir une règle de décision		
ATC7-O-T	Dégradation par attaque chimique, constatée par investigation	D1	Définir une règle de décision		
RAC4-O-T	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation	D1	S2	S3	S1
ABR4-O-T	Dégradation par abrasion, constatée par investigation	D1, D2	Fixer un niveau de gravité (1, a, a2, a3) pour le défaut BAF		
EFF3-O-T	Niveau d'endommagement constaté par investigation				

Dans le guide RERAU les indicateurs DSC7 et ATC7 sont évalués directement dans un niveau 2, 3 ou 4 selon les types des défaut présentes sur le tronçon. Donc ces indicateurs ne feront pas l'objet de calcul de densité par contre il est nécessaire de définir des règles d'affectation ou de décision dans le cas d'un tronçon avec des défauts répartis sur plusieurs niveaux.

Concernant l'indicateur ABR4 il est évalué par la présence de défaut BAF mais le guide RERAU ne propose pas de tableau d'évaluation. Il nous semble utile de proposer un niveau de gravité (1, a, a2, a3) avant de fixer les objectifs .

4.1 Tranche 0

4.1.1. Signification des niveaux de dysfonctionnement D1, D2, D3 et D4

En préalable à la saisie des avis de gestionnaires sur un échantillon de tronçons, il a été nécessaire de valider une **convention** claire pour la signification des quatre avis possibles D1, D2, D3 et D4.

Variante 1 :

- D4 = « à réhabiliter, **sauf si** la vulnérabilité de l'environnement est très **faible** »
- D3 = « à réhabiliter **seulement si** la vulnérabilité correspondante est **importante** »
- D2 = ...
- D1 = ...

Variante 2 :

- D4 = « à réhabiliter, **sauf si** les impacts induits par ce dysfonctionnement sont **faibles** »
- D3 = « à réhabiliter **seulement si** impacts induits par ce dysfonctionnement sont importants »
- D2 = ...
- D1 = ...

Variante 3 :

Si la décision est basée uniquement sur l'indicateur considéré :

- D4 = « Décision de réhabilitation ; non dépendante de l'état des autres tronçons inspectés »
- D3 = « Décision après comparaison avec les autres tronçons et en fonction des moyens disponibles »
- D2 = « Les désordres constatés ne justifient pas une réhabilitation corrective ou préventive »
- D1 = « Peu ou pas de désordres constatés »

Cette variante 3 reprend le principe proposé dans le guide méthodologique RERAU (p.14) :

Deux niveaux de défaillance peuvent être envisagés : la défaillance correspond à la non satisfaction de l'objectif de performance, la défaillance majeure correspond au dépassement d'un seuil d'inacceptabilité (impacts intolérables).

Deux niveaux de priorité de réhabilitation sont ainsi définis :

- le niveau D4 correspond à un niveau de défaillance majeure (situation intolérable) : besoin évident de réhabilitation ;
- le niveau D3 correspond à une situation de défaillance, non satisfaisante mais tolérable : réhabilitation souhaitable ;

(Le niveau D3 peut aussi être vu comme une situation intermédiaire entre D4 et D2 : entre « *réhabilitation prioritaire* » et « *réhabilitation non nécessaire* »).

La variante 3 nous semble moins ambiguë que les variantes 1 et 2.

Variante 4 (variante retenue) :

Si la décision est basée uniquement sur l'indicateur considéré :

- D4 = « Situation intolérable quel que soit le contexte, nécessitant une action »
- D3 = « Situation grave nécessitant une action mais à prioriser »
- D2 = « Situation peu grave, tronçon à surveiller »
- D1 = « Peu ou pas de dysfonctionnement constaté »

4.1.2. Proposition de fiche pour la saisie des avis de gestionnaires

Tronçon	Temps passé :
Expert	

Indicateur		Niveau de gravité D1 / D2 / D3 / D4 Si nécessaire noter : D3 (D2) pour indiquer une hésitation entre D3 et D2	Si votre choix est > D2, justifiez si possible				COMMENTAIRE
			Densité	Concentration (distance)	Défaut (s) majeur(s) (codes et distances)	Combinaison de défauts (codes et distances)	
INF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)						
EXF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'exfiltration)						
HYD3-E/O-T	Réduction de la capacité hydraulique, estimée/inspection						
ENS4-E/O-T	Risque d'ensablement estimé par inspection						
BOU4-E/O-T	Risque de bouchage estimé par inspection						
DSC7-O-T	Dégradation du complexe sol-conduite constatée par investigation						
ATC7-O-T	Dégradation par attaque chimique, constatée par investigation						
RAC4-O-T	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation						
ABR4-O-T	Dégradation par abrasion, constatée par investigation						
EFF3-O-T	Niveau d'endommagement constaté par investigation						

4.1.3. Les données T0

La tranche T0 a été réalisée sur 45 tronçons :

- 15 tronçons provenant du CG67 présentés sous forme de rapport d'inspection PDF, codifiés en EN 13508-2 (avec photos)
- 15 tronçons provenant de la CUS sous format excel, résultats de la recodification des anciennes données ITV codifiés selon les préconisations de l'AGHTM (1998) avec insertion de photos
- 15 tronçons provenant de la CU Nantes métropole sous forme de rapport codifiés AGHTM avec photos

4.1.4. analyse des avis d'expert

Pour chaque tronçon, 4 avis ont été récoltés dans l'idée de les comparer à la densité obtenue par calcul.

Un travail de classification des experts a été nécessaire car bien souvent les avis divergeaient pour un même tronçon (Cathy Wery - Frédéric Cherqui - Mazen Ibrahim - Pascal Le Gauffre—PI08)

Nous avons identifié les 4 cas suivants :

LEGENDE DU TABLEAU "BILAN"

TR	XPT	INF4-E/O-T
CG01	X1	D3
CG01	X5	D4(D3)
CG01	X7	D4
CG01	X8	D3

CAS 1

Fond bleu
les avis sont concentrés sur **2 niveaux au plus**
on peut considérer qu'il y a consensus

TR	XPT	EFF3-O-T
CG15	X2	D3
CG15	X5	D3
CG15	X6	D1
CG15	X8	D2

CAS 2a

Fond bleu + 1 avis / fond jaune (le + indulgent)
distribution 1-1-2 ou 1-2-2 ou 1-1-3

TR	XPT	EFF3-O-T
CG06	X2	D2
CG06	X3	D1
CG06	X5	D3
CG06	X8	D1

CAS 2b

Fond bleu + 1 avis / fond rouge (le + sévère)
distribution 2-1-1 ou 2-2-1 ou 3-1-1

TR	XPT	INF4-E/O-T
CG09	X1	D4
CG09	X2	D1/D2
CG09	X5	D3
CG09	X6	D3
CG09	X8	D2

CAS 3

Fond orange + n / fond jaune + n / fond rouge
distribution 1-2-1 ou 1-3-1 ou 1-2-1-1 ou ...

TR	XPT	HYD3-E/O-T
CG12	X1	D4
CG12	X5	D3
CG12	X6	D1
CG12	X7	D4
CG12	X8	D1

Ceci a permis de classer les experts en indulgent, médian, sévère. Nous avons pu constater également que certains experts sont plus attachés aux problèmes d'infiltration et d'autres à la structure.

A partir de la classification des experts une correction des avis a pu être mise en place, avec la possibilité de changer un avis d'un niveau seulement.

4.1.5. Calage

L'analyse des résultats de l'échantillon des 45 tronçons de la tranche T0 nous a permis de faire un premier calage du seuil S3 pour l'indicateur INF4 et EXF4 et du seuil S1 pour les indicateurs HYD3, ENS4 et BOU4.

Ainsi pour INF4 : (Cathy Wery - Frédéric Cherqui - Mazen Ibrahim - Pascal Le Gauffre—ICUD sur 30 tronçons

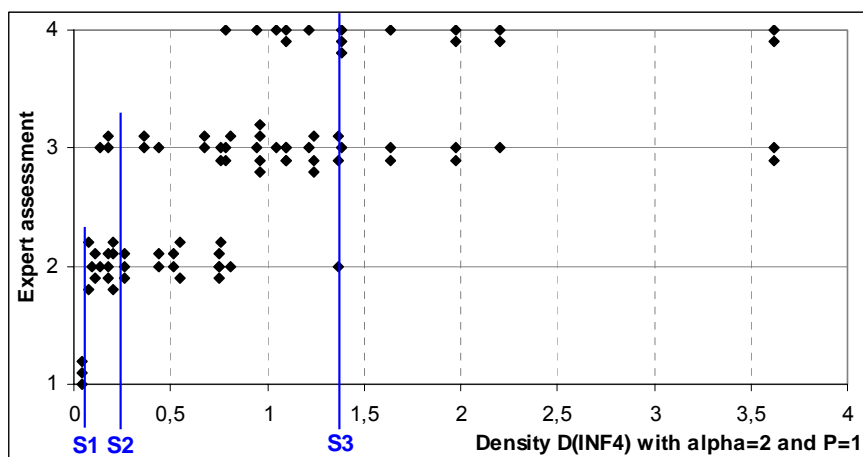


Figure 4 Experts' opinions *versus* condition grade (84 experts' judgments on 30 links). Thresholds S1, S2 and S3, obtained for CFN / CFP = 2, are represented on the figure: S1 = 0.064, S2 = 0.251 and S3 = 1.371.

Les indicateurs DSC7, ATC7, RAC4 et ABR4 n'ont pas fait l'objet d'une études approfondies par manque des défauts avec des niveaux de gravités variés. Ces indicateurs ont été classés en niveau D1 par les experts.

Remarque : ces deux indicateurs sont évalués directement dans un niveau de gravité (minimum niveau 2 pour ATC7 et niveau 3 pour DSC7). Pourquoi la majorité des tronçons présentant ces indicateurs ont été classés en D1 par les experts ?.

Dans la prochaine tranche T1 nous proposons :

- Un premier calage du seuil S3 pour les indicateurs HYD3, ENS4 et BOU4 ;
- Raffiner l'indicateurs INF4 et EXF4, c'est-à-dire fixation du seuil S2 ;
- Proposer un premier calage du seuil S2 pour l'indicateur ARC4 ;

4.1.6. Modification tableaux RERAU

CF ANNEXE 2

4.2 Tranche 1

4.2.1 Les objectifs des nouvelles tranches

On prévoit pour chaque tranche 20 tronçons par expert X 6 experts = 120 avis, on veut 4 avis par tronçon ⇒ 30 tronçons par tranche.

Un diagnostic des résultats de l'étude de la tranche T0 permet d'identifier:

- les dysfonctionnements où il manque des défauts (réponse D1) DSC7, ACT7 et RAC4 ;

Remarque : ces deux indicateurs sont évalués directement dans un niveau de gravité (minimum niveau 2 pour ATC7 et niveau 3 pour DSC7). Pourquoi la majorité des tronçons présentant ces indicateurs ont été classés en D1 par les experts ?.

- les dysfonctionnements qui ne posent plus de problème après correction et peuvent servir pour premier calage de seuil (seuil S3 pour INF4EXF4 et seuil S1 pour HYD3, ENS4 et BOU4) ;

4.2.2 nouvelle procédure d'interrogation des experts

Afin de garder un maximum de tronçons avec une valeur en densité nous avons établi la procédure suivante, qui permet après suppression virtuelle d'un défaut majeur de donner une avis en densité :

1) Est-ce qu'il y a un défaut majeur ?

Oui : D3 ou D4 ?

Enlever ce défaut

Est-ce qu'il y a un autre défaut majeur

Oui **STOP** c'est donc tronçon m

Non on continue

2) Est-ce qu'il y a une zone de synergie zone rouge ?

Oui D3 ou D4 et **STOP** c'est donc un tronçon s r

Non on continue

3) Réponse (en densité) : D1 / D2 / D3 / D4

Le vocabulaire a également été affiné.

La saisie a été réalisée sur l'outil informatique (tache 2), selon le masque de saisie suivant

INF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)									RAZ
RAC4-O-T	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation									RAZ

Détail évaluation - INF4-E/O-T

Y-a-t-il un défaut majeur ? Oui Non

Morism l'éventuel défaut majeur, y-a-t-il une zone rouge (portion du tronçon présentant de nombreuses anomalies) ? Oui Non

Densité ?

Commentaires

Validation

4.2.3 Traduction des objectifs en règles de choix pour la tranche T1

Une sélection des défauts pour chaque indicateur de dysfonctionnement est présentée afin de traiter les objectifs définis dans cette tranche (T1).

Le tableau suivant synthétise les indicateurs de dysfonctionnement avec les défauts servant à l'évaluation de ces indicateurs ainsi que les défauts commun à plusieurs indicateurs.

dysfonctionnement	Défaut	Code défaut
INF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'infiltration)	BAA. BAB. BAC. BAD. BAE. BAF. BAH. BAI. BAJ. BAN. BAO. BAP. BBA. BBB. BBF
EXF4-E/O-T	Défaut d'étanchéité estimé par inspection (pour l'exfiltration)	BAA. BAB. BAC . BAD. BAE. BAF . BAH. BAI. BAJ. BAN. BAO. BAP . BBA . BBB . BBF
HYD3-E/O-T	Réduction de la capacité hydraulique, estimée/inspection	BAC . BAD. BAE. BAF . BAG. BAK. BAI. BAJ. BBA . BBB . BBC . BBD . BBF . BCC . BDC . BBE
ENS4-E/O-T	Risque d'ensablement estimé par inspection	BAC . BAD. BAF . BAG. BAK. BAI. BAJ. BBA . BBB . BBC . BBD . BBE . BCC . BDC . BDG . BDD
BOU4-E/O-T	Risque de bouchage estimé par inspection	BAG. BAI. BBA . BBB . BBC . BBE
DSC7-O-T	Dégradation du complexe sol-conduite constatée par investigation	BAP . BBD . BAC

ATC7-O-T	Dégradation par attaque chimique, constatée par investigation	BBB. BAN
RAC4-O-T	Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation	BBA
ABR4-O-T	Dégradation par abrasion, constatée par investigation	BAF
EFF3-O-T	Niveau d'endommagement constaté par investigation	BAB*2. BAD. BAE. BAF. Désordres mineurs. BAB. BAC. BAD. BAF désordres majeurs

Indicateurs HYD3-E/O-T / ENS4-E/O-T : Ces deux indicateurs utilisant les même type de défauts et même niveau de gravité dans l'ensemble à l'exception de deux défauts en plus pour l'indicateur ENS4 (niveau d'eau (BDD) et caméra noyée (BDG)). La présence de défaut BBA B/C il peut servir aussi à l'étude de l'indicateur ARC4.

Une présence de défaut BBA B/C dans la sélection des tronçons pour l'indicateurs HYD3 et ENS4 permet d'étudier l'indicateur **RAC4-E/O-T**.

Indicateurs BOU4-E/O-T : a l'exception de quelques défauts (BBA, BBB et BBC) une sélection des tronçons qui contient des défauts présentés dans le tableau est nécessaire afin d'étudier cette indicateur. En plus la connaissance de type de réseau est nécessaire dans le classement de certains types de défauts dans un niveau de gravité.

Indicateurs INF4-E/O-T/EXF4-E/O-T : l'étude de ces deux indicateurs fera l'objet d'un choix à part des tronçons.

Indicateur EFF3-O-T : cette indicateur fera l'objet d'un calcul de densité.

Le tableau suivant illustre les objectifs de tranche T1.et suivantes

Indicateurs	Mode d'évaluation dans le guide RERAU	Raisonnements invoqués par les gestionnaires lors de la tranche T0	Résultats de la tranche T0 + Objectifs tranches suivantes	
			Densité (d)	Défaut majeur (règle : dm)
INF	d	d, m	T1 : seuil S3 à préciser --> soumettre des Tr sans défauts majeurs	nécessité de règles => à identifier dans T0 pour valider ensuite sur tranches suivantes ou par réunion d'experts
HYD	d (zone rouge)	m	à vérifier dans tranches suivantes (tronçons avec densité élevée et pas de défauts majeurs) et en retirant les codes défauts mis en règles => T2 ou T3	
ENS	d (+ m)	m		
BOU	d	m		
DSC	m	m + d	tableau DSC à créer ...	valider les règles RERAU sur tranches suivantes et après analyse de T0
ATC	m	m + "d" (au sens: sur toute la longueur)	intérêt ?	
RAC	d, m	m	intérêt de d ? T1 : tronçons avec BBA B et BBA C (1, alpha ²) pour vérifier densités	
ABR	?...	m (CG11)	identifier les raisonnements en présence de BAF # A et les règles sur T0 et tranches suivantes	
EFF	d, <u>m</u>	m d (y compris pour D4)	T1 : 3 seuils ? => tronçons sans défauts majeurs	valider les règles RERAU sur tranches suivantes et après analyse de T0

4.2.4 les données T1

Tableau de répartition des tronçons sur les indicateurs.

Indicateur	Tranche	INF4	EXF4	EFF3	ARB4	HYD3	ENS4	RAC4	BOU4	DSC7	ATC7
Nombre de tronçon (30)	T1	16		14				05			

Les données sont issus de la CU du grand Lyon, codifiées en EN 13508-2

4.2.5 Analyse des données d'expert

L'analyse des avis d'expert a été réalisée sur l'outil informatique (Tache 2)

D'une part la classification des expert

10z	INF4-E/O-T	RAC4-O-T	EFF3-O-T	BOU4-E/O-T	ENS4-E/O-T	HYD3-E/O-T	ABR4-O-T	ATCT-O-T	DSC7-O-T	EXF4-E/O-T
Expert 3	Sévère	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Sévère
Expert 4	Sévère	Médian	Sévère	Sévère	???	Sévère	Médian	???	Médian	Sévère
Expert 6	Sévère	Médian	Médian	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 7	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 8	???	Sévère	Indulgent	Sévère	Sévère	Sévère	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 9	Indulgent	Médian	Sévère	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Sévère	Médian	Médian

12z	INF4-E/O-T	RAC4-O-T	EFF3-O-T	BOU4-E/O-T	ENS4-E/O-T	HYD3-E/O-T	ABR4-O-T	ATCT-O-T	DSC7-O-T	EXF4-E/O-T
Expert 3	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Sévère
Expert 4	Sévère	Médian	Sévère	Médian	Sévère	Médian	Médian	???	Médian	Sévère
Expert 6	Sévère	Médian	Médian	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 7	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 8	Indulgent	Sévère	Indulgent	Médian	Sévère	Sévère	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 9	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian

11z	INF4-E/O-T	RAC4-O-T	EFF3-O-T	BOU4-E/O-T	ENS4-E/O-T	HYD3-E/O-T	ABR4-O-T	ATCT-O-T	DSC7-O-T	EXF4-E/O-T
Expert 3	Sévère	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Sévère
Expert 4	Sévère	Médian	Sévère	Médian	???	Médian	Médian	???	Médian	Sévère
Expert 6	Sévère	Médian	Médian	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 7	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 8	???	Sévère	Indulgent	Sévère	Sévère	Sévère	Médian	Médian	Médian	Médian
Expert 9	Indulgent	Médian	Sévère	Médian	Indulgent	Médian	Médian	Médian	Médian	Médian

D'autre part l'analyse des réponse par tronçon :

ID/Tronçon	ID/Expert	INF4-E/O-T	EFF3-O-T	RAC4-O-T	HYD3-E/O-T	ENS4-E/O-T	ABR4-O-T	ATCT-O-T	DSC7-O-T	BOU4-E/O-T	EXF4-E/O-T
30	Expert 3	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2	D2
30	Expert 4	D3	D2	D2	D2/D3	D2	D1	D1	D1	D2	D2
30	Expert 6	D2	D4/D3	D1/D2	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D1/D2	D2
30	Expert 7	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1/D2	D2
30	Expert 8	D2/D1	D3/D2	D2	D2/D1	D2/D1	D1/D2	D1/D2	D2	D2	D2
30	Expert 9	D2	D3/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
38	Expert 3	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D2	D1	D2
38	Expert 4	D2	D3	D1	D1	D1	D1	D1/D2	D1	D1	D2
38	Expert 6	D1/D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1/D2	D1	D1	D1
38	Expert 7	D2/D3	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
38	Expert 8	D2	D1/D2	D1	D2/D1	D2/D1	D1/D2	D1	D1/D2	D1/D2	D2
38	Expert 9	D2	D3	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2
39	Expert 3	D2	D2	D1	D1	D1	D2	D1	D1	D1	D2
39	Expert 4	D2	D2	D1	D2	D1	D1	D1/D2	D1	D1	D2
39	Expert 6	D2/D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1/D2
39	Expert 7	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2
39	Expert 8	D2/D2	D1/D2	D1	D1/D2	D1/D2	D1	D1	D1/D2	D1/D2	D2
39	Expert 9	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2
44	Expert 3	D2	D1	D1	D1	D2	D2	D3	D2	D1	D2
44	Expert 4	D2	D1	D1	D1/D2	D1	D2	D2	D1	D1/D3	D2/D3
44	Expert 6	D2/D3	D2	D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D2/D3	D2/D3
44	Expert 7	D3	D4	D1	D3	D3	D3/D4	D3/D4	D4	D3	D2
44	Expert 8	D2	D4	D4	D4	D4	D4	D4	D1	D1	D2
44	Expert 9	D2	D2	D1	D1	D1	D4	D4	D1	D1	D2
46	Expert 3	D2	D2	D1	D1	D2	D2	D3	D2	D1	D2
46	Expert 4	D2/D3	D1	D1	D1/D2	D3	D3	D1/D2	D2	D2	D2/D3
46	Expert 6	D2/D1	D1/D2	D1	D1/D2	D2/D3	D1	D1	D1	D2/D1	D1/D2
46	Expert 7	D1	D2	D1	D2	D2/D1	D3/D4	D2	D1	D1	D1
46	Expert 8	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
46	Expert 9	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
52	Expert 3	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
52	Expert 4	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
52	Expert 6	D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1
52	Expert 7	D1/D2	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
52	Expert 8	D1	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
52	Expert 9	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
55	Expert 3	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D2	D2	D1	D1
55	Expert 4	D2	D2/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2
55	Expert 6	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1/D2
55	Expert 7	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2
55	Expert 8	D2	D1/D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D2/D1	D2
55	Expert 9	D2	D2	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
56	Expert 3	D2	D3	D1	D1	D1	D2	D3	D2	D1	D2
56	Expert 4	D2	D1	D1	D1	D1	D2/D1	D1	D1	D1	D2
56	Expert 6	D2/D3	D2/D3	D1	D2/D1	D2/D3	D1	D1	D1	D1/D2	D2
56	Expert 7	D1/D2	D1	D1	D1/D2	D2/D1	D1	D1	D1	D1/D2	D2
56	Expert 8	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1
56	Expert 9	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1	D1

Aucune correction n'a pu être réalisée sur cette tranche, par manque d'avis suffisant

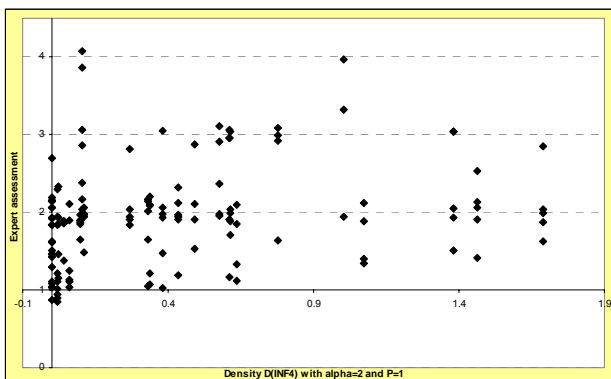
- Remarques sur les pratiques des experts et codage

- Plusieurs erreurs de codage signalées par les experts (décalage entre photo et code)
- Les experts se basent sur les photos pour l'expertise mais la densité est calculée à partir des codes
 - Le mode de calcul est très sensible (ex. entre une fissure fermée ou ouverte le tronçon peut passer de niveau 1 à 3 ou l'inverse)
- Donner un avis sur chaque indicateur indépendamment des autres
 - X4 a mis D4 pour tous les indicateurs à cause d'un indicateur D4
 - X9 a mis D1 par tout sur ENS4
- Faire attention au défaut majeur et zone rouge
 - La zone rouge ne peut pas être sur la longueur totale si non on passe en densité
 - Quelques experts continuent à signaler des défauts majeurs non validés dans les différentes réunions (X3 : BAB CB, BCA, BBA)

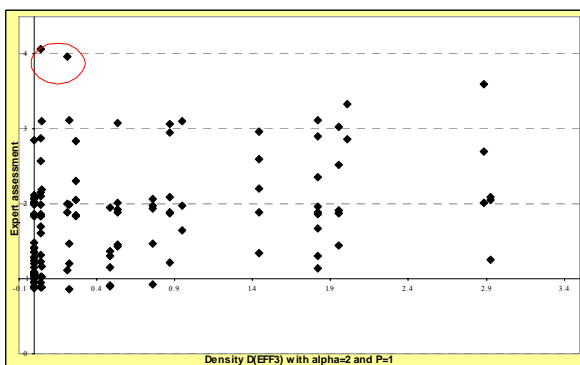
4.2.6 calage

Répartition des points tranche t1

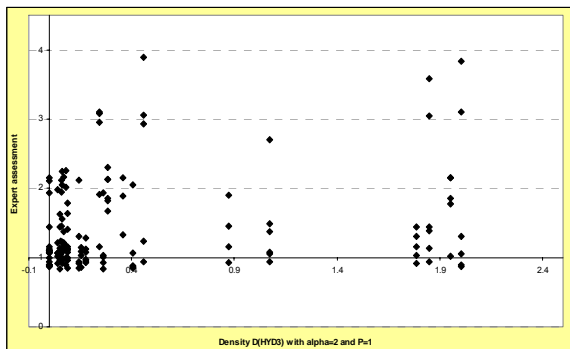
INF4



EFF3



HYD3



Aucun calage de seuils n'a été réalisé, les nuages de points ayant été considéré comme insatisfaisants.

4.2.7 Modification des tableaux RERAU

Cf ANNEXE 2

4.3 Tranche 2

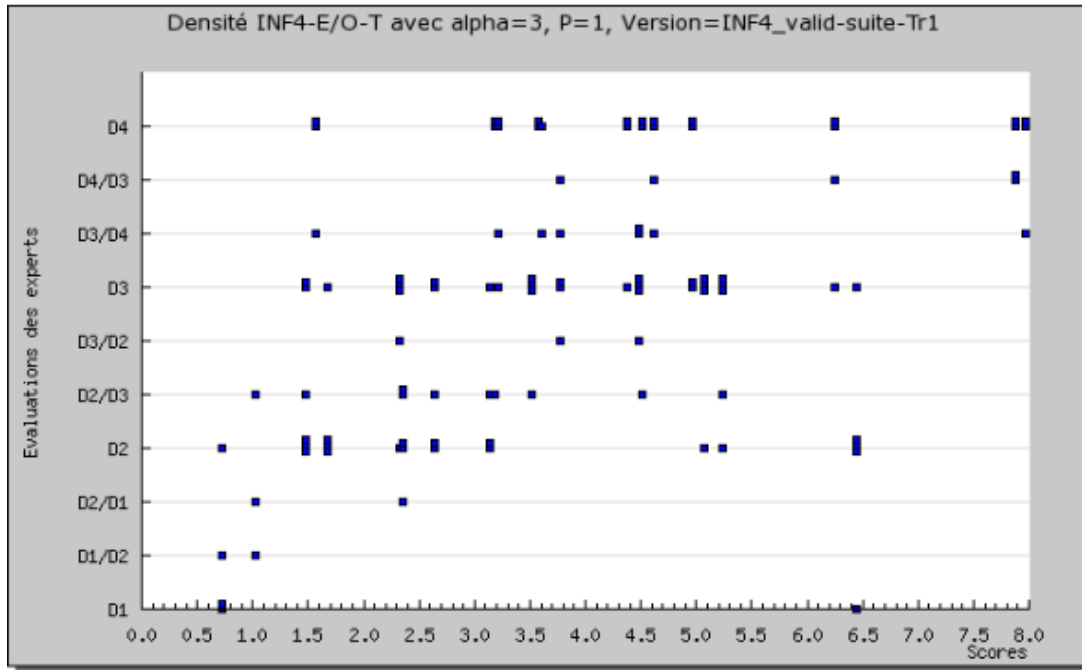
4.3.1 procédure de saisie

Pour INF4 et EFF3 – avis de type « Zone Rouge » à déplacer en « densité »
Règle adoptée : si $LgZR > (\frac{1}{4} \text{ Longueur du tronçon})$

4.3.2 Les données T2

30 tronçons codifiés En 13 508-2, SANS photo, dans echantiillon CG67, Grand Lyon, CUS.
Les tronçons retenus sont du CG67 et 1 CUS

4.3.3 Analyse des avis d'expert



Avec les avis corrigés automatiquement

4.3.4 Calage

Le calage est réalisé sur l'outil informatique, les résultats seront présentés dans le rapport final

4.3.5 modification des tableaux RERAU

cf ANNEXE 2 à faire après exploitation de la tranche 2

5 Connaissance sur les patrimoines (résultats dévaluation)

L'application sur le réseau du Grand Lyon est réalisé sur l'outil informatique, les résultats seront présentés dans le rapport final

6 Tableaux de synthèse

6.1 Résultats sur les différentes tranches

Méthodologie /Tranches d'analyse	Résultats		
	T0	T1	T2
Caractéristique des données	-15 tronçons rapport PDF avec photo, codifiés EN 13 508-2 à l'ITV -15 tronçons recodifié à partir d' ITV codifiées AGHTM, fichier excel, avec photos -15 tronçons codifiés rapport PDF avec photo	30 tronçons codifiés En 13 508-2, avec photo, un seul site	30 tronçons codifiés En 13 508-2, SANS photo,
Dysfonctionnements étudiés	INF4, EXF4, HYD3, ENS4, BOU4 (DSC7,ATC7,RAC4, ABR4 classés en D1 par experts)	INF4, EXF4, HYD3, ENS4, BOU4 en priorité	
méthodologie			
Méthode de recueil des avis de référence auprès des experts (avis par tronçon)	Donner D1/D2/D3/D4 et préciser : densité, concentration défauts, défaut majeur, combinaison défauts	-Saisie directe sur l'outil informatique - choix précis et flou : D1, D1/D2, D2/D1, D2... -Experts très attachés aux photo + erreurs de codage → erreur d'interprétation - beaucoup de zones rouges très étendues	-Saisie directe sur l'outil informatique si Zone rouge >3/4 de la Longueur alors il faut raisonner en densité
3 modes d'évaluation des dysfonctionnement pour l'interprétation des ITV	Beaucoup de tronçons écartés car beaucoup de dysfonctionnements considérés comme défaut majeurs → hiérarchisation des questions pour le recueil d'avis		
Méthode de traitement des avis de référence	-classification en 4 cas de répartition des avis -caractérisation des experts en sévère, médian, indulgent -correction des avis		- analyse sur l'outil informatique
Méthode de calage des seuils à partir des avis de référence	1 ^{er} calage pour S3 pour INF4 et EXF4 pour S1 pour HYD3, ENS4, BOU4	Prévu 1 ^{er} calage pour S3 pour HYD3, ENS4, BOU4 réalisé : nuages de points insatisfaisant	En cours
Grilles d'interprétation des résultats d'inspection	Voir tableau RERAU modifié	Voir tableau RERAU modifié	

Définition des niveaux de disfonctionnement

Si la décision est basée uniquement sur l'indicateur considéré :








D4 = « Situation intolérable quel que soit le contexte, nécessitant une action »

D3 = « Situation grave nécessitant une action mais à prioriser »

D2 = « Situation peu grave, tronçon à surveiller »

D1 = « Peu ou pas de dysfonctionnement constaté »

6.2 Lien tache 1 et outil informatique tache 2

méthodologie	Tache1 méthodologie		Tache 2 outils
Méthode de recueil des avis de référence auprès des experts (avis par tronçon)	1) même présentation que dans rapport PDF, notamment représentation du tronçon 2) Les experts sont très attachés aux PHOTOS (supprimées sur T2) si mauvais codage, il y a problème d'interprétation	  	2) Import à partir de fichiers CSV 2) photos supprimées en tranche 2 mais ne règle pas le problème d'erreur de codage 3) Procédure de saisie hiérarchisée Test sur longueur de zone rouge
3 modes d'évaluation des dysfonctionnements pour l'interprétation des ITV	Si défaut majeur ou zone rouge normalement pas de réponse en densité si un défaut majeur on demande une réponse en densité en faisant abstraction de ce défaut majeur Si longueur de la zone rouge > ¾ tronçon alors calcul de densité		
Méthode de traitement des avis de référence	4 avis d'expert sur un même tronçon peuvent donner réponses ≠ : mise en place d'une typologie d'expert et correction des avis		procédure de correction des avis d'experts
Méthode de calage des seuils à partir des avis de référence	proposition d'un critère de calage prenant en compte les caractéristiques du patrimoine à évaluer (distribution d'état, coût ou poids de chaque type d'erreur de classement) -		a) implémentation d'une procédure de calage automatique après saisie des paramètres propres à un service b) des préconisations sont élaborées pour la conduite d'une étude de sensibilité : étude des variations des seuils en fonction des paramètres
Grilles d'interprétation des résultats d'inspection	Certains défauts continuent à être utilisés pour un dysfonctionnement donné alors que exclus du tableau ex BAB CB BCA, BBA		Test pour éliminer l'utilisation de défauts hors tableaux RERAU corrigés

6.3 Synthèse résultats valorisation

Références	Résultats principaux
Ibrahim M., Le Gauffre P., Cherqui F. et Wery C. (2007) Gestion des réseaux d'assainissement : évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir d'inspections visuelles. XXVème rencontres l'AUGC (Association Universitaire du Génie Civil), Université de Bordeaux, France, 23-25 mai 2007. Actes sur CD-ROM, 6p.	<ul style="list-style-type: none"> - définition des trois modes d'évaluation des inspections télévisées, - Critère de calage des seuils en densité, intégrant les conséquences des erreurs d'affectation (faux positifs et faux négatifs) et prenant en compte les spécificités d'un patrimoine (état de santé, coût des erreurs, etc.)
Ibrahim, M., Cherqui, F., Le Gauffre, P., C. Wery (2007) Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. LESAM 2007 – 2nd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & LNEC, Lisbon (P), 17-19 October 2007. Proceedings on CD-Rom	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence de la densité de désordres comme note unique de synthèse - Expérimentation d'un calage (données INDIGAU)
Wery, C., Cherqui, F. Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). Sewer asset management tool: dealing with experts' opinions. In Cabrera & Pardo (ed.) Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking water, waste water and solid waste. London(UK): IWA Publishing, 125-134. PI08 mars 2008	<ul style="list-style-type: none"> - Prétraitement avant calage, - Analyse des avis d'experts,
Cherqui, F., Wery, C., Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on experts' opinions. Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK, 31 Aug.-5 Sept., 10 p.	<ul style="list-style-type: none"> - Correction des avis d'experts, - Expérimentation d'un calage - Étude de sensibilité
Cherqui F., Wery C., Ibrahim M., Closet J.-F. et Le Gauffre, P. (2009) Gestion des réseaux d'assainissement : Évaluation et calage d'indicateurs de dysfonctionnement à partir de jugements d'experts. XXVIIème rencontres Universitaires de Génie Civil, Saint-Malo, France, 3-5 juin 2009.	<ul style="list-style-type: none"> - Étude de sensibilité - Limites du critère propose - Proposition d'une approche par indicateur flou
Cherqui F., Wery C. and Le Gauffre P. (2009). Condition assessment of sewer segments using crisp and fuzzy calibration procedures. LESAM 2009 – 3rd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & AWWA, Miami (USA), 11-13 November 2009	<ul style="list-style-type: none"> - Comparaison des deux modes de calage (flou et précis)
<p>Ibrahim M. (2008). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains : évaluation et agrégation d'indicateurs de performance précis ou flous, Thèse de doctorat soutenue le 15 décembre 2008, Spécialité génie civil urbain, INSA de Lyon, 160 p. + annexes.</p>	
Chapitre 2 : Indicateurs précis évalués à partir de résultats d'inspections visuelles	<ul style="list-style-type: none"> - Construction du critère de calage - Procédure de calage pour un échantillon représentatif - Procédure de calage pour un échantillon non représentatif
Chapitre 6 : Expérimentations	<ul style="list-style-type: none"> - Expérimentation avec des données réelles et étude de sensibilité - Calage de seuils précis et de seuils flous et comparaison
<p>Projet d'Initiation à la Recherche et au Développement (étudiants en dernière année à l'INSA de Lyon)</p>	
MERMET Grégory, ROLLIN Aline, SONJON Damien (2008) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : traduction des données d'inspection visuelle en niveau de dysfonctionnement. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Juin 2008.	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'un pré-prototype d'interprétation d'ITV (règles et densité) norme EN et test sur des données du Grand Lyon (500 tronçons) - Pertinence de la densité de désordres comme note unique de synthèse sur l'infiltration
GADENNE Alexis, NGUYEN Van Dinh (2009) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement: expérimentation et mise au point de modèles avec les données d'ITV du réseau du Grand Lyon. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Mai 2009.	<ul style="list-style-type: none"> - Pertinence de la densité de désordres comme note unique de synthèse sur tous les indicateurs RERAU

Références

AGHTM (1998) Recommandations pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement. TSM- Techniques Sciences et Méthodes, Hors série, CD-rom.

Christol J. (2007) Critères pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement urbains : analyse critique de la formulation. Mémoire de master recherche. INSA-Lyon, LGCIE. 102 p. + annexes.

Le Gauffre P., Joannis C., Breyse D., Gibello C. and Desmulliez J.J. (2004). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique. Paris, Lavoisier Tec&Doc, 416 p., ISBN 27430-0748-6.

Références
Ibrahim M., Le Gauffre P., Cherqui F. et Wery C. (2007) Gestion des réseaux d'assainissement : évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir d'inspections visuelles. XXVème rencontres l'AUGC (Association Universitaire du Génie Civil), Université de Bordeaux, France, 23-25 mai 2007. Actes sur CD-ROM, 6p.
Ibrahim, M., Cherqui, F., Le Gauffre, P., C. Wery (2007) Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. LESAM 2007 – 2nd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & LNEC, Lisbon (P), 17-19 October 2007. Proceedings on CD-Rom
Wery, C., Cherqui, F. Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). Sewer asset management tool: dealing with experts' opinions. In Cabrera & Pardo (ed.) Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking water, waste water and solid waste. London(UK): IWA Publishing, 125-134 , PI08 mars 2008.
Cherqui, F., Wery, C., Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on experts' opinions. Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK, 31 Aug.-5 Sept., 10 p.
Cherqui F., Wery C., Ibrahim M., Closet J.-F. Et Le Gauffre, P. (2009) Gestion des réseaux d'assainissement : Évaluation et calage d'indicateurs de dysfonctionnement à partir de jugements d'experts. XXVIIème rencontres Universitaires de Génie Civil, Saint-Malo, France, 3-5 juin 2009.
Cherqui F., Wery C. And Le Gauffre P. (2009). Condition assessment of sewer segments using crisp and fuzzy calibration procedures. LESAM 2009 – 3rd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & AWWA, Miami (USA), 11-13 November 2009
Ibrahim M. (2008). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains : évaluation et agrégation d'indicateurs de performance précis ou flous, Thèse de doctorat soutenue le 15 décembre 2008, Spécialité génie civil urbain, INSA de Lyon, 160 p. + annexes.
Mermet Grégory, Rollin Aline, Sonjon Damien (2008) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : traduction des données d'inspection visuelle en niveau de dysfonctionnement. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Juin 2008.
Gadenne Alexis, Nguyen Van Dinh (2009) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : expérimentation et mise au point de modèles avec les données d'inspection du réseau du Grand Lyon. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Mai 2009.

ANNEXE 1 Indicateurs RERAU

1 Indicateur INF4-E/O-T et EXF4-E/O-T

		1	α	α^2	α^3	Gravité Étendue
Déformation	BAA		BAA			x P
Fissure	BAB	B		C		x L_obs
Rupture/effondrement	BAC			A	B/C	x P
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD		A	B/C	D	x P
Mortier manquant	BAE		BAE			x P
Dégradation de surface	BAF	A/C/D/E/F/G/H		B	I/Z	x L_obs
Raccordement défectueux	BAH			B/C/D		x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	Z		A ; #		x P
Déplacement d'assemblage	BAJ			BAJ		x P
Conduite poreuse	BAN	BAN				x L_obs
Sol visible par le défaut	BAO				BAO	x P
Vide visible par le défaut	BAP				BAP	x P
Racines	BBA			BBA		x P
Dépôts adhérents	BBB			BBB A		x P
Infiltration	BBF			BBF A/B	BBF C/D	x P

2 Indicateur HYD3-E/O-T

		1	α	α^2	α^3	Gravité Étendue
Courbure du collecteur	BCC				# ; A ou B (1)	x P
Rupture / effondrement	BAC	A			C	x P
Briquetage ou éléments maçonnerie défectueux	BAD	A/C			D	x P
Dégradation de surface	BAF		BAF			x L_obs
Branchement pénétrant	BAG			BAG		x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	# ; B/C/E				x P
Déplacement d'assemblage	BAJ	B/C				x P
Défaut de revêtement	BAK	Q<10 %	Q>10 %			x P
Racines	BBA	B		A/C	A/C ; Q > 50 %	x P
Dépôts adhérents	BBB	Q<10 %	Q>10 %		Q>50 %	x P
Dépôts	BBC	C ; Q<10 %	C ; Q>10 %		C ; Q>50 %	x P
Entrée de terre	BBD	Q<10 %	Q>10 %		Q>50 %	x P
Autres obstacles	BBE			Q<50 %	Q>50 %	x P
Progression de la caméra impossible	BDC				BDC	x P

(1) selon le sens de l'inspection (amont vers aval ou aval vers amont)

3 Indicateur ENS4-E/O-T

		1	α	α^2	α^3	Gravité Étendue
Courbure du collecteur	BCC				# ; A ou B (1)	x P
Niveau d'eau	BDD					
Caméra noyée	BDG				A	
caméra bloquée	BDC					
Rupture / effondrement	BAC	A			C	x P
Briquetage ou éléments maçonnerie défectueux	BAD	A/C			D	x P
Dégradation de surface	BAF		BAF			x L_obs
Branchement pénétrant	BAG			BAG		x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	# ; B/C/E				x P
Déplacement d'assemblage	BAJ	B/C				x P
Défaut de revêtement	BAK	Q < 10%	Q > 10%			x P
Racines	BBA	B		A/C, Q < 50%	A/C, Q > 50%	x P
Dépôts adhérents	BBB	Q < 10%	Q > 10%		Q > 50%	x P
Dépôts	BBC	C ; Q < 10 %	C ; Q > 10 %		C ; Q > 50 %	x P
Entrée de terre	BBD	Q < 10 %	Q > 10 %		Q > 50 %	x P
Autres obstacles	BBE			Q < 50 %	Q > 50 %	x P

(1) selon le sens de l'inspection (amont vers aval ou aval vers amont)

Il faut définir un niveau de gravité pour les deux défauts BDD et BDG.

BDC : Pas d'étendue dans le tableau RERAU.

4 Indicateur BOU4-E/O-T

		1	α	α^2	α^3	Gravité Étendue
Branchement pénétrant	BAG		Unitaire <u>et</u> [(L>50 % <u>et</u> H 9h-15h) <u>ou</u> (L>25 % <u>et</u> H 3h-9h)]		Eaux Usées <u>et</u> [(L>50 % <u>et</u> H 9h-15h) <u>ou</u> (L>25 % <u>et</u> H 3h-9h)] (x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	BAI Z ; #	Unitaire <u>et</u> BAI A ; B/C		Eaux Usées <u>et</u> BAI A ; B/C	x P
Racines	BBA	BBA B			BBA A/C	x P
Dépôts adhérents	BBB	BBB C <u>ou</u> BBB A <u>et</u> Q < 10 %		BBB A <u>et</u> Q > 10 % <u>ou</u> Unitaire <u>et</u> BBB B	Eaux usées <u>et</u> BBB B/Z	x P
Dépôts	BBC	BBC C <u>si</u> Q < 10 % <u>et</u> L < 1m	BBC C <u>si</u> Q < 10 % <u>et</u> L > 1m		BBC C <u>si</u> Q > 10 %	x P
Autres obstacles	BBE				BBE	x P

5 Indicateur DSC7-O-T

		niveau 1	niveau 2	niveau 3	niveau 4
Vide visible par le défaut	BAP				BAP
Entrée de terre	BBD				BBD
Rupture / effondrement	BAC			BAC B	BAC C
Information issue du curage					Présence de sol dans les matériaux de curage
Résultats d'une auscultation		Selon les résultats de l'auscultation			

6 Indicateur ATC7-O-T

Dysfonctionnement	Dégradation par attaque chimique
Indicateur	ATC7-O-T Dégradation par attaque chimique, constatée par investigation
Échelle de l'évaluation	Réseau ou Bassin Versant ➤ Tronçon
Type d'évaluation	Dysfonctionnement observé ➤ Dysfonctionnement estimé à partir d'observations Dysfonctionnement estimé <i>a priori</i> , à partir de facteurs de risque
Unité ou niveaux	Niveau : 1/2/3/4
Évaluation	L'appréciation du processus de dégradation sur un tronçon peut être réalisée à partir des dégradations constatées par inspection visuelle, si la cause probable de l'attaque chimique n'a pas été supprimée. Dans le système de codage NF EN 13508-2 la « dégradation de surface » correspond à l'observation BAF (Tableau 1). Les observations BAN (conduite poreuse), BAK (revêtement défectueux) et BBB (dépôts adhérents : B - graisse, C - organismes attachés à la paroi) peuvent également être exploitées (voir le Tableau 2).

BAF - Dégradation de surface : La surface de la canalisation a été endommagée par attaque chimique (y compris la corrosion des conduites métalliques) ou par action mécanique.

Caractérisation 1	Type de dégradation : ? rugosité accrue (A) ; ? écaillage (détachement de petits fragments de la surface) (B) ; ? granulats exposés (C) ; ? granulats déchaussés (D) ; ? granulats manquants (E) ; ? armature visible (F) ; ? armature dépassant de la surface (G) ; ? armature corrodée (H) ; ? paroi manquante (I) ; ? produits corrosifs sur la surface (J) ; ? autres dégradations de surface (Z).
Caractérisation 2	Cause de la dégradation : ? abrasion (dégradation mécanique) (A) ; ? attaque chimique – générale (par exemple corrosion de l'armature) (B) ; ? attaque chimique – attaque biochimique due à l'acide sulfurique – dégradation au-dessus du niveau de l'eau (C) ; ? attaque chimique – attaque par les eaux usées – dégradation au-dessous du niveau de l'eau (D) ; ? aucune cause évidente (E).

Niveau :	1	2	3	4
Observation :		BBB B ou C	BAN	BAF # ; B/C/D ou BAK B

7 Indicateur RAC4-O-T

Dysfonctionnement	Dégradation par intrusion de racines
Indicateur	RAC4-E/O-T Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation
Échelle de l'évaluation	Réseau ou Bassin Versant ➤ Tronçon
Type d'évaluation	➤ Dysfonctionnement observé Dysfonctionnement estimé à partir d'observations Dysfonctionnement estimé <i>a priori</i> , à partir de facteurs de risque
Unité ou niveaux	Niveau : 1/2/3/4
Évaluation	À partir des observations issues de l'inspection (Tableau 1).
Commentaires	La première partie du Tableau 1 concerne l'interprétation des désordres mineurs (BBA B ou C) qui sont cumulés sur l'ensemble du tronçon pour calculer une densité de désordres. Cette densité est ensuite traduite en niveau 1/2/3/4, de manière analogue à ce qui est proposé pour les autres indicateurs de dysfonctionnement évalués à partir d'une inspection visuelle. La seconde partie du tableau correspond au cas de l'observation d'un désordre majeur (BBA A); le tronçon est alors affecté directement en niveau 4.

Tableau 1 : évaluation de l'indicateur RAC4-O-T à partir d'une inspection visuelle

		1	α	α^2	α^3	
Racines	BBA	BBA B		BBA C		x P

		niveau 1	niveau 2	niveau 3	niveau 4
Racines	BBA				BBA A

7 Indicateur ABR4-O-T

Pas de tableau d'évaluation proposé dans le guide RERAU. L'observation « BAF ... ; A » permet de noter des dégradations de surface par cause mécanique (abrasion). Il reste à définir des niveaux de dégradation.

8 Indicateur EFF3-O-T

Tableau 1 : évaluation de EFF3-E/O-T : prise en compte des désordres mineurs

		1	α	α^2	α^3	
Fissure	BAB	A ; B/C	A ; A/D	B ; A <u>si</u> H 2-10 B ; C/D	B ; A <u>si</u> H 10-14	x L_obs
Fissure	BAB		B ; B			x P
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD		A/B ; A	A/B ; non A		x L_obs
Mortier manquant	BAE	BAE				x L_obs
Dégradation de surface	BAF		A-E			x L_obs

Tableau 2 : évaluation de EFF3-E/O-T : prise en compte des désordres majeurs

		Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Fissure	BAB	C ; # <u>si</u> H 2-10	C ; C C ; # <u>si</u> H 10-14	
Rupture/effondrement	BAC		A/B	C
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD	A/B ; A <u>si</u> H 10-14	A/B ; non A <u>si</u> H 10-14	D
Dégradation de surface	BAF		F/G/H	I

ANNEXE 2 évolution des tableaux RERAU après tranche T0, T1,

En rouge après tranche T0 (validation avec les gestionnaires le 1^{er} juillet 2008) utilisé pour tranche T1

En bleu après tranche T1 (validation avec les gestionnaires le 18 septembre 2008) utilisé pour tranche T2

1 Indicateur INF4-E/O-T et EXF4-E/O-T

Fiche 1 a.

Tableau 5 a : évaluation de l'indicateur INF4-E/O-T : prise en compte des désordres mineurs

		1	α	α^2	α^3	Gravité Étendue
Déformation	BAA		BAA			x P
Fissure	BAB	B		C		x L_obs
Rupture/effondrement	BAC			A	B/C	x P
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD		A	B/C	D	x P
Mortier manquant	BAE		BAE			x P
Dégradation de surface	BAF	— A 1C/D/E/F/G/H		B	+ Z	x L_obs
Raccordement défectueux	BAH			B/C/D		x P
Joint d'étanchéité apparent	BAI	Z		A ; #		x P
Déplacement d'assemblage	BAJ			BAJ		x P
Conduite poreuse	BAN	BAN				x L_obs
Sol visible par le défaut	BAO				BAO	*P
Vide visible par le défaut (T2 supprimé ?)	BAP				BAP	x P
Racines	BBA			BBA		x P
Dépôts adhérents	BBB			BBB A		x P
Infiltration	BBF			BBF A/B	BBF C/D	*P

Tableau 6 b : évaluation de l'indicateur INF4-E/O-T : prise en compte des désordres majeurs

		Niveau 3	Niveau 4
Rupture/effondrement	BAC	B	C
Dégradation de surface	BAF	I	
Sol visible par le défaut	BAO	BAO	

¹ Vérifier si BGA n'est pas utilisé ailleurs

Il reste a valider dans les tranches suivantes :

- Le défaut briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux (BAD) s'il reste en densité ou il passe en règle.
- Le défaut vide visible par le défaut (BAP) s'il reste en densité ou il passe en règle.
- Il n'y a plus de défauts en alpha3 (30/1/09)
- BAF répartir entre 1 et alpha et alpha 2 de B à H (30/1/09)

2 Indicateur EFF3-O-T

Fiche 2.

Indicateur EFF3-E/O-T : niveau d'endommagement constaté par investigation

Dysfonctionnement	EFFONDREMENT
Indicateur	EFF3-E/O-T Niveau d'endommagement constaté par investigation
Échelle de l'évaluation	Réseau ou Bassin Versant ➤ Tronçon
Type d'évaluation	Dysfonctionnement observé ➤ Dysfonctionnement estimé à partir d'observations Dysfonctionnement estimé <i>a priori</i> , à partir de facteurs de risque
Unité ou niveaux	Niveau : 1/2/3/4
Évaluation	L'appréciation du niveau d'endommagement sur un tronçon peut être réalisée à partir des observations issues d'une ITV. En présence de désordres mineurs, l'affectation du niveau 1 ou du niveau 2 est réalisée à partir du tableau suivant 1) codage Ci des observations Oi selon la norme NF EN 13508-2 ; 2) traduction Ni des observations Ci ; 3) calcul de la densité $D = N / LT$ avec $N = \sum Ni$, et LT : longueur du tronçon (m) ; 4) comparaison de D avec le seuil S1 : Niveau 1 si : $D \leq S1$; 2 sinon. En présence de désordres majeurs, l'évaluation peut être directe, à partir du tableau.
Commentaires	L'évaluation peut être consolidée par auscultation.

Tableau 7 : évaluation de EFF3-E/O-T : prise en compte des désordres mineurs

		I	α	α^2	α^3	
Fissure	BAB	A ; C	A ; A/D	B ; A si H 2-10 B ; C/D	B ; A si H 10-14 C ; non B² si H2-10	x L_obs
Fissure	BAB	A ; B	B ; B		C ; B si H 2-10	x P
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD		A/B ; A	A/B ; B	A/B ; A si H 10-14	x L_obs
Mortier manquant	BAE	BAE				x L_obs
Dégradation de surface	BAF	B	C-E		F/G/H	x L_obs

Tableau 8 : évaluation de EFF3-E/O-T : prise en compte des désordres majeurs

		Niveau 2	Niveau 3	Niveau 4
Fissure	BAB	C ; # - si H 2-10	C ; C C ; # - si H 10-14	

² nonB à supprimer ?

Rupture/effondrement	BAC		A/B	C
Briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux	BAD	A/B ; A si H 10-14	A/B ; non A B si H 10-14	C/D
Dégradation de surface	BAF		I F/G/H	I

Il reste a valider dans les tranches suivantes :

- Le défaut briquetage ou éléments de maçonnerie défectueux (BAD) en densité et en règle.
- Le défaut fissure ouverte – Hélicoïdale (BAB C ; D si H10-14) s'il reste en règle niveau 3 ou il passe en densité α^3 .

3 Indicateur RAC4-O-T

Fiche 3.

Indicateur RAC4-O-T : réduction de la durée de vie, par intrusion de racines, constatée par investigation

Dysfonctionnement	Dégradation par intrusion de racines
Indicateur	RAC4-E/O-T Dégradation par intrusion de racines, constatée par investigation
Échelle de l'évaluation	Réseau ou Bassin Versant ➤ Tronçon
Type d'évaluation	➤ Dysfonctionnement observé Dysfonctionnement estimé à partir d'observations Dysfonctionnement estimé <i>a priori</i> , à partir de facteurs de risque
Unité ou niveaux	Niveau : 1/2/3/4
Évaluation	À partir des observations issues de l'inspection (Tableau 9).
Commentaires	La première partie du Tableau 9 concerne l'interprétation des désordres mineurs (BBA B ou C) qui sont cumulés sur l'ensemble du tronçon pour calculer une densité de désordres. Cette densité est ensuite traduite en niveau 1/2/3/4, de manière analogue à ce qui est proposé pour les autres indicateurs de dysfonctionnement évalués à partir d'une inspection visuelle. La seconde partie du tableau correspond au cas de l'observation d'un désordre majeur (BBA A) ; le tronçon est alors affecté directement en niveau 4.

Tableau 9 : évaluation de l'indicateur RAC4-O-T à partir d'une inspection visuelle

		1	α	α^2	α^3	
Racines	BBA	BBA B		BBA C		x P

		niveau 1	niveau 2	niveau 3	niveau 4
Racines	BBA			BBA C	BBA A

ANNEXE 3 textes des références bibliographiques

INDIGAU

Références
Ibrahim M., Le Gauffre P., Cherqui F. et Wery C. (2007) Gestion des réseaux d'assainissement : évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir d'inspections visuelles. XXVème rencontres l'AUGC (Association Universitaire du Génie Civil), Université de Bordeaux, France, 23-25 mai 2007. Actes sur CD-ROM, 6p.
Ibrahim, M., Cherqui, F., Le Gauffre, P., C. Wery (2007) Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. LESAM 2007 – 2nd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & LNEC, Lisbon (P), 17-19 October 2007. Proceedings on CD-Rom
Wery, C., Cherqui, F. Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). Sewer asset management tool: dealing with experts' opinions. In Cabrera & Pardo (ed.) Performance Assessment of Urban Infrastructure Services. Drinking water, waste water and solid waste. London(UK): IWA Publishing, 125-134 , PI08 mars 2008.
Cherqui, F., Wery, C., Ibrahim M. and P. Le Gauffre (2008). CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on experts' opinions. Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK, 31 Aug.-5 Sept., 10 p.
Cherqui F., Wery C., Ibrahim M., Closet J.-F. Et Le Gauffre, P. (2009) Gestion des réseaux d'assainissement : Évaluation et calage d'indicateurs de dysfonctionnement à partir de jugements d'experts. XXVIIème rencontres Universitaires de Génie Civil, Saint-Malo, France, 3-5 juin 2009.
Cherqui F., Wery C. And Le Gauffre P. (2009). Condition assessment of sewer segments using crisp and fuzzy calibration procedures. LESAM 2009 – 3rd Leading-edge conf. on Strategic Asset management. IWA (Int. Water Assoc.) & AWWA, Miami (USA), 11-13 November 2009
Ibrahim M. (2008). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains : évaluation et agrégation d'indicateurs de performance précis ou flous, Thèse de doctorat soutenue le 15 décembre 2008, Spécialité génie civil urbain, INSA de Lyon, 160 p. + annexes.
MERMET Grégory, ROLLIN Aline, SONJON Damien (2008) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : traduction des données d'inspection visuelle en niveau de dysfonctionnement. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Juin 2008.
GADENNE Alexis, NGUYEN Van Dinh (2009) Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement : expérimentation et mise au point de modèles avec les données d'inspection du réseau du Grand Lyon. Projet d'Initiation à la Recherche & Développement – Mai 2009.

Gestion des réseaux d'assainissement

Evaluation d'indicateurs de dysfonctionnement à partir d'inspections visuelles

Mazen Ibrahim* — Pascal Le Gauffre* — Frédéric Cherqui* — Caty Werey**

* LGCIE, INSA-Lyon, 20 av. Einstein, F-69621 Villeurbanne Cedex, France ; Université de Lyon, Lyon, F-69003, France ; Université Lyon 1, Lyon, F-69003, France

pascal.le-gauffre@insa-lyon.fr

** UMR Cemagref-ENGEES GSP, 1 quai Koch, BP 61039, 67070 Strasbourg Cedex, France

RÉSUMÉ. Cette communication aborde le problème méthodologique de l'exploitation des résultats d'inspections visuelles pour l'évaluation du niveau de dysfonctionnement de l'objet d'étude. Cette question est étudiée sur le cas des réseaux d'assainissement mais les résultats sont transposables à d'autres domaines. Le niveau de dysfonctionnement peut être défini à l'aide de trois raisonnements : des règles expertes, la comparaison d'une note de synthèse avec des valeurs seuils et l'analyse d'un profil longitudinal. Le calage des valeurs seuils nécessite de comparer des résultats d'affectation de niveaux de dysfonctionnement avec des dires d'expert servant de référence. Nous proposons un critère de calage qui permet de prendre en compte les coûts associés aux différentes erreurs d'affectation.

ABSTRACT. This paper addresses methodological problems regarding the use of visual inspections for assigning an asset to a condition grade. The study deals with sewer networks; however some results may be useful for other types of assets. A dysfunction indicator may be calculated by using three types of reasoning: expert rules, calculation of a single score and comparison with cut-off values, analysis of a longitudinal profile. Defining cut-off values requires comparing results of the assignment procedure with expert assignments, which are considered as references. For the calibration process we propose a criterion that takes into account the costs associated with the different kinds of errors.

MOTS-CLÉS : réseaux d'assainissement, gestion du patrimoine, inspections visuelles, indicateurs, calage de seuil.

KEYWORDS : sewer; asset; inspection; rehabilitation; assessment.

1. Introduction

La gestion patrimoniale d'un réseau d'assainissement vise à maintenir l'infrastructure dans un état satisfaisant vis-à-vis d'enjeux sanitaires, environnementaux, économiques, etc. Elle comprend l'acquisition d'informations, l'évaluation des performances de l'infrastructure, et la réhabilitation d'éléments ou de sous-systèmes considérés comme défaillants ou à risque. L'évaluation du patrimoine doit être structurée par la définition de critères ou d'indicateurs de performance, tels que ceux définis dans le cadre du projet national RERAU³ (Le Gauffre *et al.*, 2004). Ces indicateurs de performance visent à exploiter des informations obtenues par des voies complémentaires : inspections visuelles des collecteurs, mesures en réseau, données issues de l'exploitation du réseau, données relatives à la vulnérabilité des environnements exposés, etc. Les inspections visuelles, en particulier les inspections télévisées (ITV), constituent une méthode d'investigation privilégiée en vue d'évaluer l'état de santé des réseaux d'assainissement. Nous examinons ici la question de l'exploitation des résultats de ces inspections pour l'évaluation d'indicateurs de dysfonctionnement, sur une échelle à quatre niveaux (de 1 – satisfaisant à 4 – dysfonctionnement majeur).

2. Exploitation des rapports d'inspections visuelles

La question est formulée de la manière suivante : comment traduire en niveau de dysfonctionnement l'ensemble des observations obtenues sur un tronçon ? Cette question renvoie à plusieurs étapes et sous problèmes présentés sur la Figure 5. La première étape consiste à traduire les observations en une séquence de codes, conformément à un système de codage propre au questionnaire ou normalisé (un système de conversion peut permettre de relier ces deux codages). Une étape ultérieure concerne la traduction quantitative de ces codes afin d'obtenir une séquence de notes pouvant faire l'objet d'une procédure d'agrégation plus ou moins sophistiquée (calcul d'une note unique et/ou calcul d'un profil longitudinal de l'état de santé). Finalement, un niveau de dysfonctionnement est défini en combinant éventuellement trois raisonnements : a) l'utilisation de règles exploitant directement la séquence de codes, b) la comparaison de la note de synthèse avec 3 valeurs seuils délimitant les 4 conclusions possibles, c) l'analyse du profil longitudinal. Ces trois raisonnements sont complémentaires : ils permettent de prendre en compte des situations de dégradations localisées ou uniformément réparties sur le tronçon.

2.1. Systèmes de codage des défauts observés

Concernant le relevé des défauts observés lors des inspections, la pratique professionnelle a connu une évolution importante grâce à l'application récente de la norme européenne NF EN 13508-2 (AFNOR, 2003) qui uniformise le codage des défauts. Cela garantit la comparabilité des résultats obtenus et permet aussi une mise en commun des données. Chaque observation est décrite au moyen d'un code principal composé de trois lettres et d'informations supplémentaires. Par exemple : BAB-C-A indique une fissure ouverte longitudinale, BAJ-A indique un emboîtement insuffisant, BBA-... la présence de racines. Ainsi, un rapport d'inspection contiendra un ensemble de codes, chaque code étant associé à une distance par rapport au regard de visite de début d'inspection.

³ Réhabilitation des réseaux d'assainissement urbains.

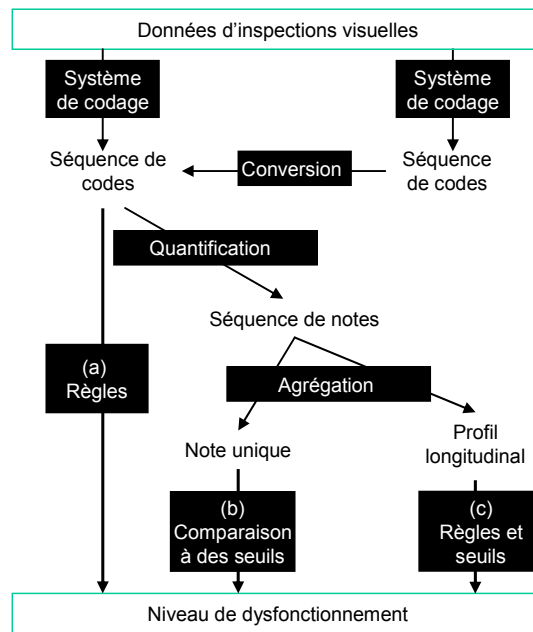


Figure 5. Étapes et sous problèmes pour l'évaluation d'un indicateur de dysfonctionnement à partir des données d'inspections visuelles d'un tronçon

2.2. Conversion des données d'une inspection en niveau de dysfonctionnement

A partir du rapport d'inspection visuelle chaque dysfonctionnement est qualifié à l'aide de la démarche proposée Figure 5. Le guide méthodologique RERAU (Le Gauffre *et al.*, 2004) définit 12 types de dysfonctionnements : infiltration, exfiltration, débordements, déversements anormaux, diminution de la capacité hydraulique, ensablement, bouchage, déstabilisation du complexe sol-conduite, attaque chimique, dégradation par intrusion de racines, dégradation par abrasion et risque d'effondrement. Les règles expertes (procédure a de la Figure 5) dépendent du dysfonctionnement étudié ; elles ont un rôle de veto forçant le classement en niveau 4 (dysfonctionnement majeur) lors de situations particulières, comme par exemple la combinaison de désordres spécifiques pouvant conduire à un dysfonctionnement majeur.

La quantification, qui vise à traduire chaque code en une note élémentaire N_i , est réalisée en prenant en compte la gravité de chaque observation (par l'attribution d'un poids) vis-à-vis du dysfonctionnement considéré et l'étendue de l'observation (la longueur L_i du défaut). Une étendue forfaitaire P est attribuée aux défauts ponctuels. Le poids de chaque défaut est donné à partir d'une échelle définie par un seul paramètre α et quatre niveaux de gravité : 1, α , α^2 , α^3 . On obtient ainsi pour chaque tronçon un ensemble de notes N_i correspondant à chaque défaut et à sa localisation à partir de la formule générale :

$$N_i = \alpha^n \times P \text{ (ou } L_i), \text{ avec } n = 0, 1, 2, \text{ ou } 3 \text{ et } \alpha = 2, 3, \text{ ou } 4 \quad [1]$$

La Figure 6 présente un extrait du tableau regroupant les règles d'évaluation de l'indicateur *INF4 - Défaut d'étanchéité, évalué à partir d'une inspection*, utilisé pour étudier le dysfonctionnement infiltration.

L'ensemble des notes est ensuite agrégé selon une note unique (procédure b de la Figure 5). Compte tenu de l'hétérogénéité de longueur des tronçons (entre 10 et 70 m), la note de synthèse la plus appropriée semble être la densité D :

$$D = \sum N_i / LT \text{ avec } LT : \text{ longueur du tronçon (m)} \quad [2]$$

Cette densité est à comparer à 3 seuils ($S1$, $S2$ et $S3$) afin de définir le niveau du dysfonctionnement : niveau 1 si $D \leq S1$, niveau 2 si $S1 < D \leq S2$, niveau 3 si $S2 < D \leq S3$ et niveau 4 si $D > S3$. Nous reviendrons sur la question du calage de ces seuils en section 4.

Le calcul de la densité permet de juger l'état global du tronçon mais ne permet pas de détecter une éventuelle concentration critique de désordres. Afin de pallier ce manque, les notes N_i peuvent être agrégées par unité de longueur afin d'obtenir un profil longitudinal (procédure c de la Figure 5). Des règles doivent ensuite permettre de classer le tronçon selon un niveau de dysfonctionnement (note de la section la plus défavorable, etc.). Au final, la détermination du niveau de dysfonctionnement pour le tronçon sera une synthèse des trois procédures (a, b et c Figure 5) : le classement le plus défavorable sera retenu.

	Gravité:				
	1	α	α^2	α^3	
<i>Désordres significatifs</i>					<i>Étendue</i>
Fissure :	BAB B	-	BAB C	-	L_{obs}
Rupture/effondrement :	-	-	BAC A	BAC B/C	P
Raccordement défectueux :	-	-	BAH B/C/D	-	P
Sol visible par le défaut :	-	-	-	BAO	P
...					...

Figure 6. Extrait du tableau regroupant les règles d'évaluation de l'indicateur INF4 : défaut d'étanchéité, évalué à partir d'une inspection

3. L'expérimentation menée dans le Département du Bas-Rhin

3.1. Présentation du cas d'étude

L'expérimentation menée dans le Département du Bas-Rhin (Dorchies, 2005 ; Wery *et al.*, 2006) fait suite à l'inventaire départemental (hors Communauté Urbaine de Strasbourg) des réseaux d'assainissement, réalisé en 2003, soit 5 300 km représentant 135 000 tronçons. Parmi ceux-ci, 100 km ont été inspectés depuis 1980. Ceci représente 32 000 inspections qui ont été initialement saisies selon la codification « maison » du Conseil Général du Bas-Rhin utilisant les préconisations de l'association allemande pour l'eau, les eaux usées et les déchets (ATV, 99).

Dans une première étape de l'expérimentation, l'ensemble des observations a été recodifié selon la norme NF EN 13508-2. L'étape suivante a consisté à calculer les valeurs des 7 indicateurs évalués à partir d'inspections, selon la méthode RERAU (Le Gauffre *et al.*, 2004), et concernant les dysfonctionnements : INF/EXF – infiltration/exfiltration, HYD – diminution de la capacité hydraulique, ENS – ensablement, BOU – bouchage, DSC – déstabilisation du complexe sol conduite, RAC – dégradation par intrusion de racines, EFF – altération de l'intégrité structurale, risque d'effondrement. Ces 7 indicateurs ont été évalués pour 17 769 inspections de constatation (c'est à dire réalisées au moins 2 ans après la date de pose) des conduites d'eaux usées.

3.2. Détermination des seuils puis confrontation avec l'avis d'expert

Les seuils $S1$, $S2$ et $S3$ définissent le niveau de fonctionnement en fonction de la valeur de la densité calculée. Leur détermination a été basée, dans cette étude, sur le postulat que la présence d'un défaut majeur doit conduire au classement du tronçon en niveau 4. Les seuils sont ainsi fonction de α^n et de la longueur moyenne des tronçons. Les résultats obtenus sont en accord avec le postulat énoncé. De plus, la comparaison avec l'évaluation d'un expert (à partir d'un échantillon d'ITV) est présentée dans le Tableau 10.

$$\alpha = 3$$

$$\alpha = 4$$

Avis de l'expert	Dysfonctionnement calculé				Total
	1	2	3	4	
1	26	3	1	0	30
2	3	3	3	2	11
3	3	1	4	11	19
4	4	0	1	13	18
Total	36	7	9	26	78

Avis de l'expert	Dysfonctionnement calculé				Total
	1	2	3	4	
1	26	4	0	0	30
2	3	5	2	1	11
3	3	5	9	2	19
4	4	0	3	11	18
Total	36	14	14	14	78

Tableau 10. Bilan de la confrontation du calcul des 7 dysfonctionnements avec l'avis d'experts pour $\alpha = 3$ et $\alpha = 4$

Le tableau ci-dessus permet de comparer l'avis de l'expert (chaque ligne correspond à un niveau de dysfonctionnement) avec le résultat du calcul (en colonne). La confrontation a été menée pour deux valeurs de α (paramètre d'échelle pour la définition de la gravité des désordres, voir éq. 1). Les valeurs de la diagonale du tableau correspondent à l'adéquation entre expertise et calcul. Les résultats montrent globalement une bonne adéquation entre les niveaux calculés et l'avis expert. Une valeur de $\alpha = 3$ conduit à augmenter le nombre de dysfonctionnements de niveau 4 effectivement détectés, par rapport à la valeur $\alpha = 4$: 13 cas expertisés de niveau 4, parmi 18, sont ainsi identifiés (11 pour $\alpha = 4$). Ces résultats montrent l'importance du choix des seuils. Quelque soit les seuils choisis, il existera nécessairement des erreurs d'affectation ; nous proposons au paragraphe suivant une méthode de calage des seuils permettant de contrôler ces erreurs d'affectation.

4. Définition des seuils : proposition d'un critère de calage

La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustre le problème du calage des seuils destinés à définir un niveau de dysfonctionnement à partir de la note de synthèse retenue.

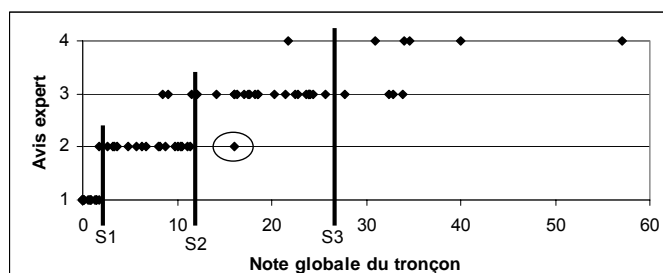


Figure 7. Confrontation entre l'affectation issue du calcul (évaluation d'une note globale puis comparaison à trois seuils) et l'avis expert pris pour référence

Le point entouré correspond à un tronçon affecté en état 2 par l'expert (cet avis sert de référence) mais affecté en état 3 par la procédure de calcul (note du tronçon comprise entre les seuils S_2 et S_3) : dans ce cas il y a surestimation du niveau de dysfonctionnement. En utilisant la terminologie des tests de détection, on peut parler ici de « faux positif » : tronçon classé à tort parmi les situations de dysfonctionnements (Le Gauffre *et al.*, 2007). A l'inverse, des tronçons affectés en état 3 par l'expert pourront être affectés en état 2 (voire 1) par le calcul : on parlera alors de « faux négatifs ». Dans le Tableau 10, les faux positifs correspondent aux cases grisées situées dans le triangle supérieur et les faux négatifs correspondent aux cases grisées situées dans le triangle inférieur.

La fixation des seuils S_1 , S_2 et S_3 vise à minimiser les conséquences des écarts d'affectation entre calcul et experts. Nous proposons un critère de calage C qui permet de prendre en compte les coûts associés aux différentes situations de faux positifs et de faux négatifs :

$$C = \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=i+1}^4 C_{FP}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) + \sum_{i=2}^4 \left(\sum_{j=1}^{i-1} C_{FN}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) [3]$$

avec :

$E_i \in \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$: niveau de dysfonctionnement du tronçon (énoncé par l'expert pour les tronçons de l'échantillon de calage) ;

$C_j \in \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$: niveau de dysfonctionnement calculé (fonction des seuils) ;

$P(C_j / E_i)$: probabilité d'une valeur calculée C_j pour un tronçon en état E_i (est estimée avec un échantillon de calage, et dépend des trois seuils recherchés) ;

$P(E_i)$: probabilité qu'un tronçon soit en état E_i ; cette probabilité dépend de la population sur laquelle on souhaite appliquer la procédure ;

$C_{FP}(i, j)$: coût associé à un faux positif $FP(i, j)$ (état E_i et valeur calculée $C_j, j > i$) ;

$C_{FN}(i, j)$: coût associé à un faux négatif $FN(i, j)$, (état E_i et valeur calculée $C_j, j < i$)

Ce critère « *coût global des erreurs d'affectation* » repose sur l'expression de différents coûts $C_{FP}(i, j)$ et $C_{FN}(i, j)$ qui permettent de représenter les enjeux privilégiés par un gestionnaire ainsi que ses pratiques (suites données lors d'une affectation C_j). Notons enfin que ce critère pourra conduire à retenir des seuils différents pour deux populations de tronçons différentes telles que $P(E_i) \neq P'(E_i)$.

5. Discussion

Avec une première application à grande échelle, la méthodologie RERAU a montré son caractère opérationnel pour le calcul d'indicateurs de dysfonctionnement à partir de rapports d'inspections visuelles. Cette application a également mis en évidence l'importance de la définition des valeurs seuils qui permettent de transformer une évaluation numérique en niveau de dysfonctionnement. Nous proposons un critère de calage permettant de prendre en compte simultanément les erreurs de sous évaluation et de sur évaluation des dysfonctionnements. Cette approche est applicable à de nombreux domaines lorsque des niveaux de performances doivent être définis.

La procédure présentée permet de minimiser un critère *coût global*, qui n'a de sens qu'à l'échelle d'un parc, mais elle induit des erreurs ponctuelles (à l'échelle d'un tronçon) qui peuvent être importantes. Une démarche alternative, en cours d'étude, repose sur l'utilisation de la théorie des sous ensembles flous. L'approche floue est une perspective de modélisation très intéressante puisqu'elle permet de définir l'imprécision des transitions entre deux classes d'état en considérant qu'un tronçon peut appartenir en partie à deux classes successives lorsqu'il est difficile d'établir un jugement strict.

6. Remerciements

Les travaux de recherche ont été initiés et se poursuivent dans le cadre du Projet National RERAU puis du projet INDIGAU⁴ financé par l'ANR au sein du programme RGC&U (Réseau Génie Civil et Urbain). Les auteurs tiennent à remercier tous leurs partenaires au sein de ces deux projets.

7. Bibliographie

AFNOR. « NF EN 13508-2 : Condition des réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments. Partie 2 : système de codage de l'inspection visuelle. » AFNOR, Paris, Septembre 2003, 124 p.

ATV-DVWK. « M 149 – Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäude. » Hennef, GFA, 1999, ISBN 3-933693-31-4.

⁴ Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains

- Dorchies, D. « Etude de l'applicabilité de l'outil d'aide à la décision RERAU pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement sur l'inventaire du département du Bas-Rhin. » Mémoire de fin d'études : ENGEES Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics, 2005, 62 p. + annexes.
- Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J. « Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique », Paris, 2004, Lavoisier Tec&Doc, 416 p., ISBN 27430-0748-6.
- Le Gauffre P., Joannis C., Vasconcelos E., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J. « Performance Indicators and Multicriteria Decision Support for Sewer Asset Management. » *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, 13(2), June 2007, on press.
- Werey C., Dorchies D., Mellac Beck I. « Sewer asset management: assessing criteria for a multicriteria decision support on a county level data base », Joint int. conf. on Computing and decision making in civil and building engineering, Montreal, June 14-16, 2006, 886-895.

Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators

M. Ibrahim^{*}, F. Cherqui^{*}, P. Le Gauffre^{*} & C. Werey^{**}

^{*} LGCIE, INSA-Lyon, 20 av. Einstein, F-69621 Villeurbanne Cedex, France ; Université de Lyon, Lyon, F-69003, France ; Université Lyon 1, Lyon, F-69003, France

frederic.cherqui@insa-lyon.fr

^{**} UMR Cemagref-ENGEES GSP, 1 quai Koch, BP 61039, 67070 Strasbourg Cedex, France. Caty.werey@cemagref.fr

Keywords dysfunction; grade; indicator; misclassification cost; threshold; visual inspection, sewers.

Abstract Asset management is an increasing concern for wastewater utilities and companies. Criteria are developed for supporting the definition of investigation and rehabilitation programs. Dysfunction indicators contribute to the calculation of criteria, using expert rules. These indicators are mostly based on visual inspections, which provide major information. However, difficulties remain in the translation of visual inspection survey into dysfunction indicators. This article presents a methodological approach aiming to fill this lack. In the framework of the French RERAU program (Rehabilitation of urban sewer networks) a methodological approach has been developed in order to convert visual inspections of sewer segments into four possible condition grades {1, 2, 3, 4}, grade 4 corresponds to the worse condition. Three complementary procedures are thus executed: (a) expert rules based on sequences of observation codes, (b) comparison of single score to threshold and (c) rules based on analysis of segment profiles (scores distribution). An experiment lead in the Bas-Rhin (France) illustrates the different steps of the methodological approach and the applicability of the RERAU methodology on CCTV data. Moreover, confrontation between expert assessment of sewer segments (condition grade) and calculated scores has demonstrated the necessity of considering diagnosis imperfection, which may lead to misclassification in some cases. The algorithm proposed in this article aims to minimize a cost function with costs assigned to false positive diagnosis test (segment classified in worse condition than experts' opinion) and false negative diagnosis test (segment classified in better condition than experts' opinion). The algorithm is described in detail and applied to an example. Thus imprecision of assessment is taken into account: the threshold is chosen as to be the most efficient (in term of cost). This approach is generally applicable to numerous domains, when levels of performance need to be defined.

Introduction

Asset management is an increasing concern for wastewater utilities and companies, which aims to maintain infrastructure in a condition that is compatible with economic, environmental and sanitary stakes. Asset management includes data acquisition, performance assessment, and rehabilitation of element or sub-systems assessed as deficient or insecure. Asset valuation must include definition of performance indicators, such as the ones which have been defined in the framework of the French R&D RERAU⁵ program (Le Gauffre *et al.*, 2004). These performance indicators use information obtained from complementary sources: visual inspections of sewer segments, network monitoring, data issued from network and treatment plant operation, data related to environment vulnerability, etc. Visual inspection and more especially closed circuit television inspection (CCTV), is nowadays a major method to assess condition of sewer networks and is widely used (Knolmar and Szabo, 2003). However, difficulty remains in the translation of visual inspection survey into a level of dysfunction, which is then used to determine if an action is necessary. This article presents a methodological approach aiming to fill this lack, in order to convert visual inspections of sewer segments into four possible condition grades {1, 2, 3, 4}, grade 4 corresponds to the worse condition.

The different steps of the methodology are detailed in the first section. The second section presents an experiment lead in the department of Bas-Rhin (France). After discussions related to results of the experiment, the case study illustrates different steps of the methodological approach. Confrontation

⁵ "Réhabilitation des Réseaux d'Assainissement Urbains" – Urban sewer networks rehabilitation

between methodological approach and expert's assessment leads to section 3 in which we propose a procedure in order to control misclassification errors.

Focusing on CCTV inspections

Question can be expressed in the following manner: how translating the observations obtained on a sewer segment into a level of dysfunction? This question can be divided into several steps presented in figure 1.1.

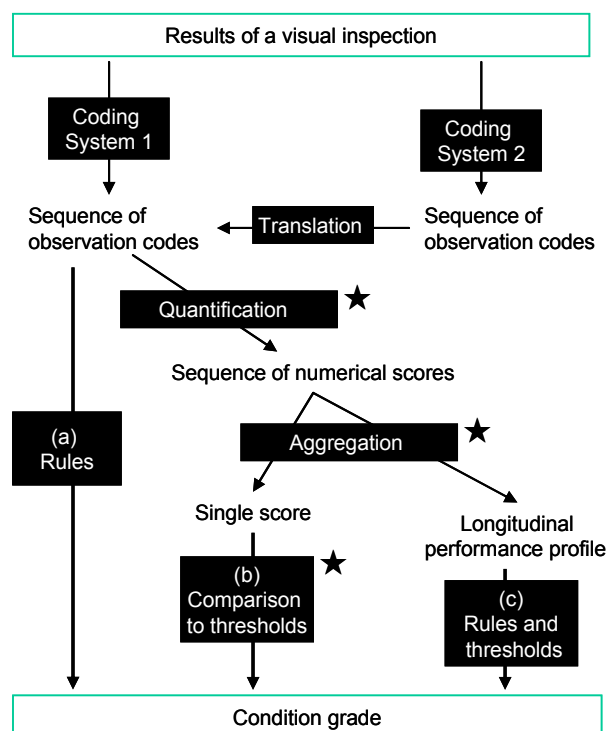


Figure 1.1 Translation of visual inspection survey into condition grade.

At first, the observations are converted into sequences of observation codes; coding system can be specific to a utility or standardization (for example the European standard EN 13508-2). A conversion system may allow linking two different coding systems. Then, the observation codes can be quantified in order to obtain a distribution of scores on each sewer segment. The score of a section considers all defects, their gravity and their extent. Moreover, this single score is calculated for the sewer segment: it can be obtain from more or less complicated aggregation. Yet, this single score corresponds to the global density of defects. Three complementary procedures are then executed to obtain a condition grade related to the sewer segment: (a) expert rules based on sequences of observation codes, (b) comparing the single score with thresholds (cutoff values) and (c) rules based on the analysis of segment profiles (scores distribution).

European coding system

Concerning the coding system used, a major evolution is the recent application of the European standard EN 13508-2 (CEN, 2003). This standard guarantees the comparability of results and allows mutual capitalization of data. Each observation is described with a three letter code and with complementary information. For example, BAB-C-A is an open longitudinal crack, BAJ-A is a longitudinal displacement of adjacent pipes from their intended position, BBA-... means roots of trees or other plants growing into the pipeline through joints, defects or connections.

From visual inspection coding to condition grades

Given a CCTV report, each dysfunction is qualified using the procedure proposed on figure 1.1. The RERAU methodological guide (Le Gauffre *et al.*, 2004; 2007) defines 12 types of dysfunction: degradation from abrasion, blockage, risk of collapse, degradation due to corrosion, excessive spillage,

exfiltration (seepage loss), flooding, decrease in hydraulic capacity, infiltration, degradation due to roots intrusion, sand silting, destabilization of the ground-pipe system. Expert rules (procedure *a* in figure 1.1) depend on the studied dysfunction: they are veto forcing, grading in condition 4 (major dysfunction) on particular situation, for example when a specific combination of disorders may lead to a major dysfunction.

For each dysfunction, the quantification of a code *i* into an elementary score N_i takes into account the gravity of the observation (through weight attribution) and the extend of observations (disorder length L_i). A defined extend P is attributed to pinpoints defects. The weight of each defect depends on a single parameter α and four levels of gravity: 1, α , α^2 , α^3 . Thus, each sewer segment is characterized with a set of scores N_i based on equation 1:

$$N_i = \alpha^n \times P \text{ (or } L_i \text{)}, \text{ with } n = 0, 1, 2, \text{ or } 3 \text{ and } \alpha = 2, 3, \text{ or } 4 \quad [1]$$

Table 1.1 presents an extract from the evaluation table of indicator *INF4* (infiltration assessed from CCTV inspection).

Table 1.1 Extract from the evaluation table of dysfunction indicator *INF4* (risk of infiltration: watertightness deficiency assessed from CCTV results).

	Seriousness:	1	α	α^2	α^3	
<i>Significance of disorder</i>						<i>extend</i>
Fissure (crack, fracture):	BAB B	-	BAB C	-	-	L_obs
Break/collapse:	-	-	BAC A	BAC B/C	-	P
Defective connection:	-	-	BAH B/C/D	-	-	P
Soil visible through defect:	-	-	-	BAO	-	P
...						...

The set of scores is then aggregated into a single score (procedure *b* in figure 1.1). Taking into account the length of each sewer segment (from 10 metres to more than 70 metres), the most appropriate single score seems to be the global density of defects D , as show in equation 2. We discuss this hypothesis in the next section.

$$D = \sum N_i / LT \text{ with } LT: \text{ total length of the sewer segment [m]} \quad [2]$$

The global density is compared to 3 thresholds ($S1$, $S2$ and $S3$) in order to define the level of dysfunction:

- Grade 1 if $D \leq S1$;
- Grade 2 if $S1 < D \leq S2$;
- Grade 3 if $S2 < D \leq S3$; and
- Grade 4 if $D > S3$.

The threshold establishment influences classification and so it must be executed carefully: we propose an algorithm based on a cost function minimizing in section 4 entitled "Fixing thresholds: minimizing a cost function". The density calculation assesses the overall condition of a sewer segment (regarding a given dysfunction); however this procedure cannot detect a critical concentration of defects. To fill this niche, scores N_i are aggregated per unit of length in order to obtain a longitudinal profile (procedure *c* in figure 1.1). Then, the expert rules applied to longitudinal profile allow sewer segments to be classified. At last, the final grade is a synthesis of the 3 procedures (*a*, *b* and *c* in figure 1.1): the worst classification is retained.

Illustration: the sewer networks of the department of Bas-Rhin

Presentation of the case study

The experiment lead in the department of Bas-Rhin (Dorchies, 2005; Wery *et al.*, 2006) follows the inventory of sewer networks carried out in 2003. This inventory, which does not include the urban community of Strasbourg, concerns 135 000 sewer segments for a total length of 5300 kilometres. Among these segments, 100 kilometres have been inspected since 1980, which represent 32 000 CCTV inspections. These closed circuit television inspections have been initially encoded using local coding system; originally based on recommendations from the German Association for water management, wastewater and waste (ATV-DVWK, 1999). During the first stage of experiment, all observations have been re-encoded using the EN 13508-2 coding system. Then, for 7 indicators of the RERAU methodology (Le Gauffre *et al.*, 2004), a single score has been calculated for each sewer segment (procedure b of figure 1.1). The 7 indicators are: INF/EXF – infiltration/exfiltration (seepage loss), HYD – decrease in hydraulic capacity, ENS – sand silting, BOU – blockage, DSC – destabilization of ground-pipe system, RAC – degradation from root intrusion and EFF – risk of collapse. INF and EXF are merged because they are currently evaluated with the same tables (see Table 1.1). These 7 indicators have been assessed for 17769 CCTV inspections. Figure 2.1 below presents an inventory of the observed disorders (in accordance with the EN 13508-2 coding system).

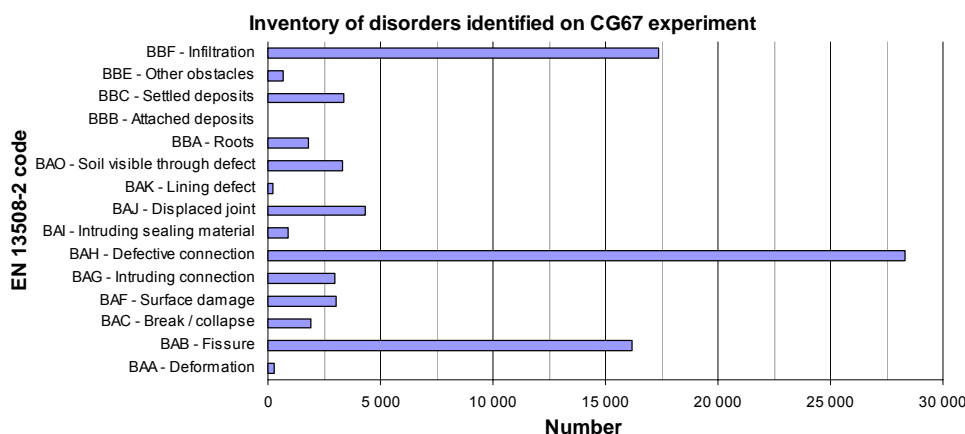


Figure 2.1 EN 13508-2 codes of disorders and their numbers for the Bas-Rhin’s case study (Dorchies, 2005)

A preliminary analysis of the inventory shows 3 disorders which are more important than others: defective connection (*BAH*), infiltration (*BBF*) and fissure (*BAB*). These 3 disorders have often been observed on Bas-Rhin’s sewer networks. Moreover, considering the case study, several codes have never been found: defective brickwork or masonry (*BAD*), missing mortar (*BAE*), defective repair (*BAL*), weld failure (*BAM*), porous pipe (*BAN*), void visible through defect (*BAP*), ingress of soil (*BBD*), exfiltration (*BBG*) and vermin (*BBH*). Both of these observations can be:

- Due to re-encoding procedure (from home made coding system to EN-13508-2 coding system) which does not include some EN codes or transcripts too many disorders in the same codes (generally one line in home made coding leads to several lines in EN coding).;
- Most of the CCTV inspections were done after diagnosis studies regarding inflow/infiltration issues.

Although these observations need further investigation and must be compared to other experiments to be generalized, second hypothesis is currently preferred to the first one.

Score of dysfunction indicators

Figure 2.2 presents the score calculation related to infiltration dysfunction (INF) for more than 15205 sewer segments (from CCTV inspections); score is based on the aggregation of elementary scores calculated using equation 1 with values of table 1.1.

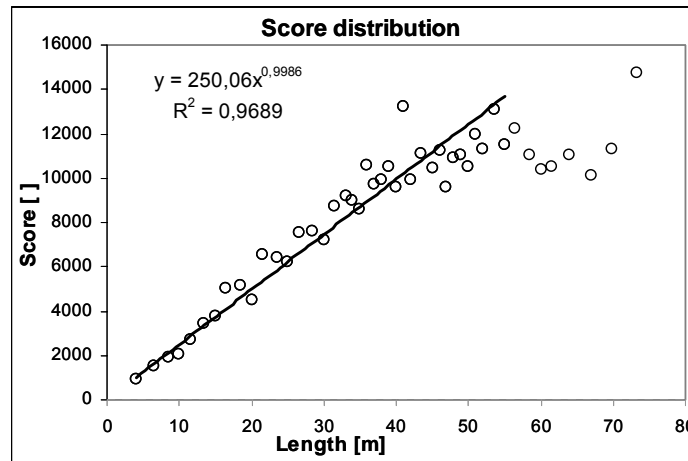


Figure 2.2 Average total score related to the different segment lengths, for a given dysfunction indicator (INF4) – result of 15205 CCTV inspections

In the figure above, each dot represents an average of around 300 values (that is to say 300 inspected sewer segments) for a given range of sewer length. Another distribution with an average of around 150 values per dot was also tried and results were identical. As shown, concerning sewer segment length below 55 metres, there is a linear relationship between score and segment’s length (with a correlation coefficient of 0.9689). For length above 55 m, scores are lower. To explain this result, we propose some hypotheses that should be confirmed with further investigations:

- Re-encoding: transcription from home made coding system to EN 13508 may have induced some errors;
- Observation: the longer the segment is and the less the disorders are inventoried by operators (only major disorders are inventoried after some distance);
- Physical reality: in Bas-Rhin, installation of the longest segments date from 70s and so the longest segments are younger and may have less disorders; moreover the 70s correspond to better laying specifications and new materials;
- Other reasons...

The strong linear relationship between score and segment’s length confirms that the score density is a pertinent single score to characterize a segment, because this density is constant for segment’s length below 55 metres. Further investigations and experiments are required to characterize segment with length above 55 metres.

Dysfunction quantification versus expert opinion

The level of dysfunction is defined by comparing the single score to 3 thresholds $S1$, $S2$ and $S3$. The choice of thresholds is based, in this study, on expert’s propositions; moreover 2 values of α (3 and 4) are used for each dysfunction’s quantification (see equation 1). Results based on a panel of CCTV inspections were compared with an expert judgment and are presented in table 2.1.

Table 2.1 Synthesis of the confrontation of grade classification based on expert’s opinions and on calculations (6 indicators for 13 sewer segments).

$\alpha = 3$						$\alpha = 4$					
Expert's opinion	Dysfunction quantified				Total	Expert's opinion	Dysfunction quantified				Total
	1	2	3	4			1	2	3	4	
1	26	3	1	0	30	26	4	0	0	30	
2	3	3	3	2	11	3	5	2	1	11	
3	3	1	4	11	19	3	5	9	2	19	
4	4	0	1	13	18	4	0	3	11	18	
Total	36	7	9	26	78	36	14	14	14	78	

This table compares expert’s opinions (each line corresponds to a dysfunction level) with single score calculations (in column). Diagonal values (in bold) correspond to judgment match: results show a good overall agreement between expert’s opinion and single score comparison to threshold. Moreover, $\alpha = 3$

provides more dysfunction classified in grade 4 than $\alpha = 4$: 13 cases among 18 are communally identified (11 for $\alpha = 4$). These results attest importance of threshold determination. Any threshold will involve error in grade assignment. In the next section, we propose an algorithm to adjust threshold by controlling assignment errors.

Fixing thresholds: minimizing a cost function

Figure 3.1 illustrates the assignment errors related to single value comparison to thresholds.

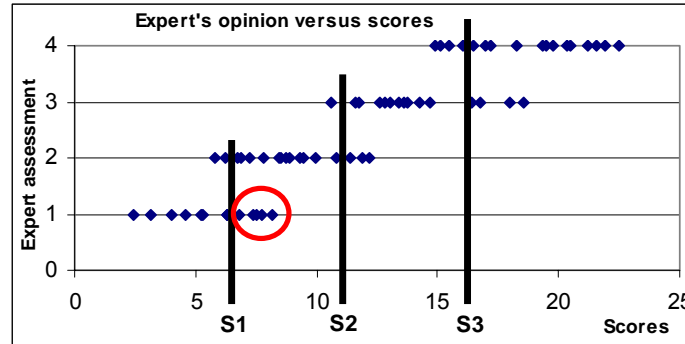


Figure 3.1 Experts' opinion versus condition grades obtained by comparing scores with thresholds (sample of 63 sewer segments).

The points encircled correspond to sewer segments assigned to grade 1 when considering expert's opinion (this opinion is considered as reference) however assigned to grade 2 through the calculation procedure (segments' score between thresholds $S1$ and $S2$). In this case, the level of dysfunction is overestimated and is called false positive (FP): segment wrongly assigned to a dysfunction situation (Le Gauffre *et al.*, 2007). Conversely, a false negative (FN) concerns a sewer segment assigned for example to grade 3 according to expert's opinion and assigned to grade 2 through calculation. In table 2.1, FP corresponds to the grey cells located in the upper triangle and FN corresponds to grey cells located in the lower triangle.

Fixing thresholds $S1$, $S2$ and $S3$ aims at minimizing consequences of assignment errors, that is to say the difference between the expert's opinion and the single score utilization. An adjustment criterion C is proposed; it takes into account cost related to different situations of false positive and false negative, as given in equation 3:

$$C = \sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=i+1}^4 C_{FP}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) + \sum_{i=2}^4 \left(\sum_{j=1}^{i-1} C_{FN}(i, j) P(C_j / E_i) P(E_i) \right) \quad [3]$$

With

$E_i \in \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$ level of dysfunction according to experts;
 $C_j \in \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ level of dysfunction based on a single score comparison to thresholds;
 $P(C_j/E_i)$ occurrence probability of C_j for a segment in grade E_i (is determined with a calibration sample and is depending on the 3 studied thresholds);
 $P(E_i)$ probability that a segment is in grade E_i (this probability is depending on the studied asset stock);
 $C_{FN}(i, j)$ cost of a false positive $FP(i, j)$, grade E_i and calculated value C_j with $j > i$;
 $C_{FP}(i, j)$ cost of a false negative $FN(i, j)$, grade E_i and calculated value C_j with $j < i$.

Application on the studied population (experts' opinion are unknown)

The calculation method is an iterative procedure. A chosen set k of thresholds ($S1$, $S2$ and $S3$) _{k} applied to the studied population enables to obtain the number ($N(C_j)$) and the proportion of segments in each grade $P(C_j)$; using a score comparison to thresholds. Then, $P(E_i)$ values are calculated with equation 4:

$$P(C_j) = \frac{N(C_j)}{\sum_{j=1}^4 N(C_j)} = \sum_{i=1}^4 P(C_j / E_i) * P(E_i) \quad [4]$$

The required values of $P(C_j/E_i)$ depend only on thresholds and they are evaluated using a calibration sample (see next section for further explanations). Thus the cost function C can be calculated for $(S1, S2$ and $S3)_k$ with equation 3. These steps are repeated for each different set of thresholds and the set which minimized C is kept.

The criterion C , “total cost of all assignment errors”, is based on several costs $C_{FP}(i,j)$ and $C_{FN}(i,j)$. Thresholds are thus strongly depending on costs related to false positives and false negatives. These costs represent the stakes chosen by wastewater services and represent also their practices (actions when a segment is classified in grade C_j).

Calibration sample (expert’s opinions are known)

An example of calibration sample is presented figure 3.1: as shown in this figure, grade assignment errors depend on thresholds. That is to say, given 3 thresholds, $P(C_j/E_i)$ values can be calculated, it corresponds to (the number of segments assigned to grade j according to score and to grade i according to expert’s opinion) divided by (the total number of segments assigned to grade i according to expert’s opinion).

In order to be used for calibration, a sample should present enough “dots” for each grade assigned by expert (each line). A dot corresponds to a sewer segment for which score and expert’s opinion are known. The calibration sample is considered representative for the French territory due to the fact that each grade is clearly defined.

Example: influence of false positive and false negative costs

In order to attest influence of CFN / CFP ratio, 3 alternatives have been studied. The studied asset stock consists of 400 sewer segments; segments’ scores are between 0.098 and 24.03, as shown in figure 3.2. Figure 3.1 presents the sample used for calibration.

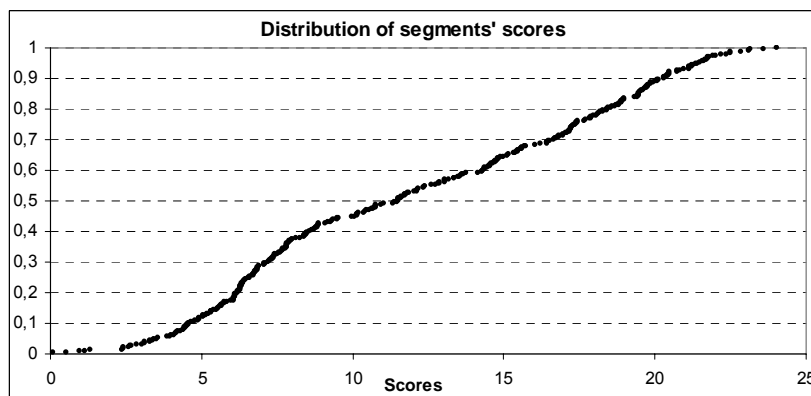


Figure 3.2 Distribution of 400 segments’ scores of the studied asset stock.

Each alternative has a different CFN / CFP ratio, as presented in table 3.1 below:

Table 3.1 Three alternatives are proposed in order to adjust thresholds: in alternative 1, $CFN / CFP = 1.5$ ($CFP = 1$ and $CFN = 1.5$), in alternative 2, $CFN / CFP = 3$, and in alternative 3, $CFN / CFP = 5$.

Expert's opinion	Alternative 1				Alternative 2				Alternative 3			
	Dysfunction quantified				Dysfunction quantified				Dysfunction quantified			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
2	1,5	0	1	1	3	0	1	1	5	0	1	1
3	1,5	1,5	0	1	3	3	0	1	5	5	0	1
4	1,5	1,5	1,5	0	3	3	3	0	5	5	5	0

Alternative 3 has higher CFN / CFP ratio than alternatives 1 and 2, and alternative 1 has lower CFN / CFP ratio than alternative 2. Both CFN and CFP depend on manager’s strategy. CFN corresponds to costs related to consequences of a failure such as social costs due to disturbance for users, replacement costs

instead of repair costs. *CFP* corresponds to costs such as useless CCTV (required before any rehabilitation action). Alternative 3 represents high *CFN / CFP* ratio: for example a strategy in which the manager wants to avoid failures at any price. Results are presented in table 3.2:

Table 3.2 Results for all alternatives: numbers of segment assigned to each grade ($N(C_j)$) and proportion of segments in each grade $P(C_j)$ calculated using score comparison to thresholds. Thresholds obtained are displayed below each alternative.

		Dysfunction quantified			
		1	2	3	4
Alternative 1 (CFN/CFP=1) S1= 8.14 ; S2= 12.15 ; S3= 14.67	N(C _j)	151	65	34	150
	P(C _j)	0.38	0.16	0.08	0.38
Alternative 2 (CFN/CFP=3) S1= 7.76 ; S2= 9.98 ; S3= 14.67	N(C _j)	138	41	71	150
	P(C _j)	0.34	0.10	0.18	0.38
Alternative 3 (CFN/CFP=5) S1= 5.33 ; S2= 9.98 ; S3= 14.67	N(C _j)	56	123	71	150
	P(C _j)	0.14	0.30	0.18	0.38

Concerning the studied asset stock, probabilities related to each grade E_i (and obtained for all alternatives) are: $P(E_1)=0.3$; $P(E_2)=0.2$; $P(E_3)=0.2$; and $P(E_4)=0.3$. As shown in the table, increasing *CFN / CFP* ratio involves the increasing of segments' number assigned to grade 3 to the detriment of grades 1 and 2 (comparing alternative 1 and 2). If *CFN / CFP* ratio increases more, segments' number assigned to grade 2 increases to the detriment of grade 1 (comparing alternative 2 and 3). Decrease of segments' number assigned to grade 4 is obtained for very low ratio of *CFN / CFP* (ratio < 0.4). Procedure based on a cost function is stable and the number of segments assigned to grade 4 varies less than numbers in grade 2 and 3.

Discussion

The first application on a large scale (Bas-Rhin – France) has demonstrated that RERAU methodology is operational in order to assess dysfunction indicators from CCTV inspections. This application has also highlighted importance of thresholds determination, allowing numerical values (scores) to be converted into level of dysfunction (grade from 1 to 4). We propose a calibration criterion (misclassification cost) enabling to take into account simultaneously false positive and false negative errors. Thus imprecision of assessment is taken into account: the threshold is chosen as to be the most efficient (in term of cost). This approach is generally applicable to numerous domains, when levels of performance need to be defined.

This cost minimizing procedure has a meaning exclusively at the scale of the asset stock; it induces errors punctually (at the scale of the sewer segment) which may be considerable. As a perspective, we propose to study the contribution of fuzzy theory applied to threshold determination. Fuzzy approach, introduced by Zadeh (1978), offers the possibility to include imprecise transition between the different states. That is to say it allows defining that a segment may belong to two grades when it is difficult to establish a sharp statement.

Acknowledgements

Results presented in this paper were initiated in the frame of the French R&D RERAU program (“Réhabilitation des Réseaux d’Assainissement Urbains”) and they are carried on in the frame of the INDIGAU research project (“Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d’assainissement urbains”; www.indigau.com) supported by the French *National Agency for Research – ANR* within the PGCU-2006 program. The authors would like to thank all the participants of the RERAU and INDIGAU projects.

References

- ATV-DVWK. (1999) *M 149 – Zustandserfassung, -klassifizierung und -bewertung von Entwässerungssystemen außerhalb von Gebäude*. Hennef, GFA, ISBN 3-933693-31-4.
- CEN (2003) *EN 13508-2 Condition of drain and sewer systems outside buildings, Part 2: Visual inspection coding system*, European Norms.
- Knolmar, M. and Szabo, G. C. (2003). *CARE-S report D3 - WP2 Structural condition - Classification systems based on visual inspection*, Technical report of the CARE-S project, Budapest University of Technology and Economics, 192 p.
- Dorchies, D. (2005) *Etude de l'applicabilité de l'outil d'aide à la décision RERAU pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement sur l'inventaire du département du Bas-Rhin*, Mémoire de fin d'études, ENGEEES Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics, 62 p.
- Le Gauffre P., Joannis C., Breyse D., Gibello C. and Desmulliez J.J. (2004) *Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique*. Paris, Lavoisier Tec&Doc, 416 p., ISBN 27430-0748-6.
- Le Gauffre P., Joannis C., Vasconcelos E., Breyse D., Gibello C., Desmulliez J.J. (2007) Performance Indicators and Multicriteria Decision Support for Sewer Asset Management. *Journal of Infrastructure Systems*, ASCE, **13**(2), June 2007, 105-114.
- Werey C., Dorchies D., Mellac Beck I. (2006) Sewer asset management: assessing criteria for a multicriteria decision support on a county level data base. *Joint int. conf. on Computing and decision making in civil and building engineering*, Montreal, June 14-16, 886-895.
- Zadeh L. A. (1978) Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Set and Systems*, **1**, 3-28.

Sewer asset management tool: dealing with experts' opinions

C. Werey¹, F. Cherqui², M. Ibrahim² and P. Le Gauffre²

¹ UMR Cemagref-ENGEES Gestion des Services Publics, 1 quai Koch, BP 61039, F-67070 Strasbourg Cedex, France,

caty.werey@cemagref.fr, Tlf +33 38824 8253, Fax: +33 38824 8284

² Université de Lyon, F-69000, Lyon, France ;
INSA-Lyon, F-69621, Villeurbanne, France ;
Université Lyon 1, F-69622, Villeurbanne, France ;
Laboratoire Génie Civil & Ingénierie Environnementale ;
pascal.le-gauffre@insa-lyon.fr, tel.: +33 47243 8858 ; fax: +33 47243 8521

Keywords: sewer network, CCTV inspection, dysfunction indicators, expert opinion

Abstract

Asset management requires the development of performance indicators (PIs) and decision procedures. Within the French RERAU methodology each rehabilitation criterion is assigned a grade out of four possible ones. This grade results from an aggregation of complementary PIs that use information derived from various sources: visual inspection, O&M data, network monitoring, etc.

This paper focuses on the development of dysfunction indicators derived from visual inspection results (WP1 of the French INDIGAU program). Inspection reports provide sequences of observation (defect) codes. On this basis, three complementary procedures are proposed so as to assign a condition grade to the sewer segment: (a) expert rules identifying major defects (b) calculation of a single score and comparison to three thresholds and (c) rules based on the analysis of scores distribution along the segment.

Calibrating procedure b) means defining parameters used in the calculation of a single score and defining three (crisp or fuzzy) thresholds. The calibration also requires experts' judgments that will be used as references. A sample of 45 links has been studied by 8 experts, regarding 10 indicators. The results

display a lot of conflicts between experts' opinions. Three types of situation are defined: 1) no conflict, a consensus can be identified; 2) one expert disagrees with a majority, a consensus may be defined; 3) major conflicts between answers.

1. Introduction

Asset management is an increasing concern for wastewater utilities and companies. Criteria are developed for supporting the definition of investigation and rehabilitation programs. Dysfunction indicators contribute to the calculation of criteria, using expert rules. Indicators based on visual inspections provide major information. However, difficulty remains in the translation of a visual inspection survey into dysfunction indicators (Rahman & Vanier, 2004). In the framework of the French RERAU program (Rehabilitation of urban sewer networks) a methodological approach has been developed (Le Gauffre *et al.*, 2004; Le Gauffre *et al.*, 2007). 10 dysfunction indicators are defined and assessed with visual inspections reports of sewer segments; these dysfunction indicators are assigned a grade $G \in \{1, 2, 3, 4\}$: (from the best to the worst).

The different steps of the dysfunction indicators' valuation are detailed in the 2nd section. The 3rd section presents the ongoing work within the French project "INDIGAU" (Performance Indicators for asset management of urban sewer networks"), dealing with experts' judgment of CCTV reports. The first results and conclusions are presented in the 4th section.

2. Dysfunction indicators valuation

Inspection reports provide sequences of observation codes, using a coding system (for example European standard EN 13508-2), that are quantified in order to obtain a score distribution on each sewer segment. The score of a section considers all defects, their gravity and their extent. Moreover, a single score is calculated for the sewer segment: the global density of defects relating to each dysfunction. Three complementary procedures are then executed so as to obtain a condition grade related to the sewer segment: (a) expert rules based on sequences of observation codes, (b) comparison of single score to threshold and (c) rules based on analysis of segment profiles (score distribution), as presented on Figure 8.

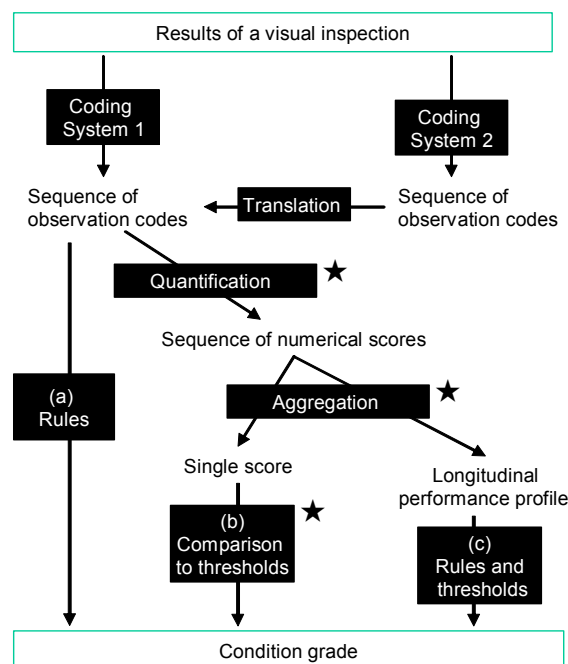


Figure 8. TRANSLATION OF VISUAL INSPECTION ENCODING INTO CONDITION GRADE

The translation of visual inspections into condition grades depends on the coding system that is used. The methodology proposed in the RERAU project needs observation codes using the European standard EN 13508-2. So if the existing data are coded either in a self-made codification (case for the application done in the department of Bas-Rhin (Dorchies, 2005; Wery *et al.*, 2006) or in a national coding (in France, AGHTM, 1999), it is necessary to translate them within the EN 13508-2 codification. We can notice that new material exists since a few time on the market making the inspection directly with this new framework.

When the defaults are available into EN 13508-2 standard, the calculation of the dysfunction scores can begin using tables provided within the RERAU project (Le Gauffre *et al.*, 2004; Le Gauffre *et al.*, 2007) where dysfunction indicators are defined concerning: infiltration (*INF*), exfiltration (*EXF*), decrease of hydraulic capacity (*HYD*), sand silting (*SAN*), blockage (*BLO*), destabilisation of ground-pipe system (*SPD*), ongoing corrosion (*COR*), ongoing degradation from roots intrusion (*ROO*), ongoing degradation from abrasion (*ABR*), risk of collapse (*COL*). Figure 9 and Figure 10 present the corresponding tables for the infiltration dysfunction.

Dysfunction	INFILTRATION
Indicator	INF4: Infiltration risk, estimated from visual inspection
Valuation scale	Segment
Valuation type	Observation-based estimation of a dysfunction
Unit or gravity levels	Grades : 1/2/3/4
Valuation	1 – coding Ci of observations Oi according to EN 13508-2 ; 2 – translating Ci into scores Ni according to the following table ; 3 – calculation of density $D = N / LT$, with $N = \sum Ni$, and LT: length of the segment (m) $Ni = \alpha^n \times P$ (or L_i), with $n = 0, 1, 2$ or 3 and $\alpha = 2, 3$ or 4 ; 4 – comparison of D with thresholds S1, S2, S3 : level 1 if $D \leq S1$; 2 if $S1 < D \leq S2$; 3 if $S2 < D \leq S3$; 4 if $S3 < D$.

Figure 9. DENSITY CALCULATION FOR INFILTRATION (LE GAUFFRE *ET AL.*, 2004)

Observation Oi	Code Ci	1	α	α^2	α^3	← Gravity Extent ↓
Deformation	BAA		BAA			P
Fissure	BAB	BAB B		BAB C		L
Break/collapse	BAC			BAC A	BAC B/C	P
Missing mortar	BAE		BAE			P
Defective connection	BAH			BAH B/C/D		P
...	...					

Figure 10. DEFECTS CONTRIBUTING TO INFILTRATION (LE GAUFFRE *ET AL.*, 2004)

3. Eliciting Experts' opinion

We present here the first results of the expert survey we made within the INDIGAU project. For each dysfunction indicator, experts' opinions are used for calibrating thresholds for the 4 different states presented in the previous part. Then we will use either a crisp approach (Ibrahim *et al.*, 2007) or a fuzzy approach (Le Gauffre *et al.*, 2008) for threshold determination; these methods offer the possibility to take into account simultaneously false positive and false negative errors between the expert valuation and the calculated scores. Figure 11 illustrates the assignment errors related to score value comparison to thresholds.

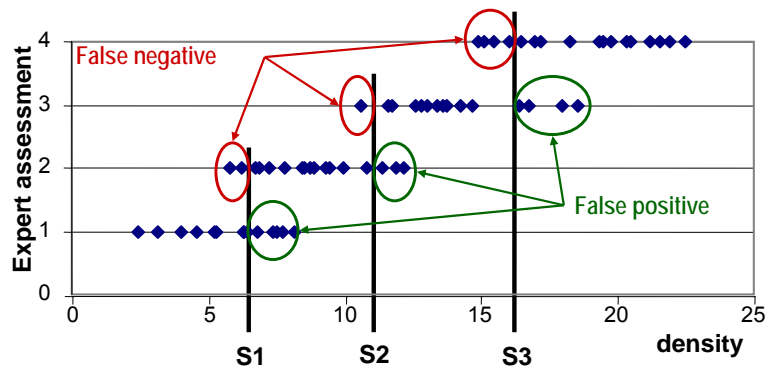


Figure 11. EXPERTS' OPINION VERSUS CONDITION GRADES OBTAINED BY COMPARING SCORES WITH THRESHOLDS (63 SEWER SEGMENTS); IDENTIFICATION OF ASSIGNMENT ERRORS.

In the present application we gathered data on 45 links within 3 different utilities and we asked each of the 8 experts involved in the project to valuate 22 links, that is to say to assign a grade to each dysfunction indicator for each link. This means that for each link we expected 3 or more answers. Thus we want to take into account in our model the gap between calculated scores and expert's opinions and also the fact that on a same link different experts can propose different results.

First of all, the four grades have been defined and discussed in accordance with experts' opinion. These grades are defined in the Table 1.

Table 1. DEFINITION OF EACH GRADE

Grade	Definition
G1	no or few noticed defects (regarding the considered dysfunction)
G2	situation with low gravity, link to be kept under watch
G3	situation with a certain gravity, intervention to be prioritized
G4	unacceptable situation in any context, action needed

Next, a sample of 45 links was built up: one third of the sample in the French coding system, the second third in EN 13508-2 system after recodification from French system, the last third available directly in the EN 13508-2 system.

Then, each expert had to answer in a spreadsheet; the generic response sheet is presented in Figure 12. Each answer with Grade 3 or 4 must be justified, following procedures (a) *major(s) defect(s) or combination of defects*, (b) *density* or (c) *concentration of defects* presented in Figure 8.

Link id: CG03		Time spent: 20 minutes				
Expert id: FJ + MW						
		Judgment justification				
PI	G	Density	Concentration of defects	Major(s) defect(s)	Combination of defects	Comments
INF	G3	X				
EXF	G2					
HYD	G2					
SAN	G1/G2					
BLO	G1					
SPD	G3	X				
COR	G1					

ROO	G3	BBA A 4.7 + BCA E A 23.7
ABR	G2	
COL	G4	Risk of road collapse + BAP 18.9 + BAH B 24.5

Figure 12. EXAMPLE OF EXPERT'S JUDGMENT OF A LINK

4. Results of the survey

We now describe the results of the expert valuation we have just collected on 34 links on which we have 3 or more answers. Conflict between experts occurs when the difference between 2 answers is 2 or more levels; in fact when difference between experts' opinions is 1 level, consensus may be obtained at the middle of the levels (*i.e.* consensus of D1 + D2 is D1/D2).

Table 2 presents the answers for link 12. It illustrates the situations observed for the 33 links.

Table 2. EXPERTS' JUDGMENT FOR LINK 12, GRADING OF EACH DYSFUNCTION INDICATOR. THREE CASES ARE IDENTIFIED: 1) A CONSENSUS IS OBTAINED (WHITE COLUMNS); 2) ONE EXPERT DISAGREES BUT CONSENSUS IS KNOWN (WHITE COLUMNS AND BLACK CELL); 3) CONSENSUS IS DIFFICULT (GREY COLUMNS).

Expert	INF	EXF	HYD	SAN	BLO	SPD	COR	ROO	ABR	COL
X1	G3	G3	G4	G4	G4	G3	G1	G1	G1	G4
X5	G3	G3	G3	G3	G1/G2	G2	G1	G1	G1	G3/G4
X6	G4	G4	G1	G4	G3	G1	G1	G1	G2	G1
X7	G3	G3	G4	G4	G4	G2	G1	G3	G2	G1
X8	G3	G3	G1	G2	G1	G2	G1	G1	G1	G2

Three cases occur. In case 1, a consensus is identified, there is no conflict; consensus can be "no dysfunction" as for *COR* and *ABR* in Table 2 or consensus can be "major dysfunction" as for *INF* and *EXF*. In case 2, consensus is also known because only one expert disagrees and this answer may be excluded. For example, in Table 2, *SAN* is assigned grade G3/G4 and *ROO* is assigned G1. In the last case (case 3), consensus is hardly known since there are major conflicts between all experts (*HYD*, *BLO* and *COL* in Table 2); further investigations are needed in order to conclude (ask other experts to assess this link, question again experts, characterize expert behaviour to see if expert is optimist or pessimist, etc.).

If we now consider all the 34 links, the number of links for each case is presented in Table 3.

**Table 3. COMPARISON OF EXPERTS' JUDGMENTS FOR 34 LINKS;
CASE 1: CONSENSUS, CASE 2: ONE OPINION DIFFERS, CASE 3: NO CONSENSUS**

Cases	Dysfunction indicators									
	INF	EXF	HYD	SAN	BLO	SPD	COR	ROO	ABR	COL
1	23	19	20	18	20	19	31	33	27	17
2	6	10	5	5	9	7	3	1	6	10
3	5	5	9	11	5	8	0	0	1	7

For *COR* and *ROO*, there are no major conflicts, however there are few defects concerning these dysfunctions: grade G1 and G2 have been assigned by the experts. At the opposite, *SAN* presents many conflicts so as *HYD*, *SPD*, and *COL*. From Table 3, we can conclude that experts agree with each other in the majority of links; however there is a surprisingly high rate of conflict. Discrepancies between experts'

judgement must be investigated and although further work is needed, several directions have been identified:

- expert's background: an expert may be lenient (few D3 or D4) because the asset stock of its utility is in poor condition and rehabilitation budget is slim...
- expert's skills: an expert may be mainly preoccupied with some aspect such as hydraulics (HYD, BLO, etc.) and not with some others such as water tightness (INF, EXF);
- human error: a major defect or a harmful combination of defect may have been omitted;
- interpretation differences: each procedure (a, b, c, Figure 8) may not have the same limits and meanings for each expert.

Taking into account these different points of view will be our challenge but we will first of all have to consolidate these results by presenting them to the experts to validate or not their positions.

When we look at the results, expert by expert, we see different behaviours as we mentioned it already before. Let us have a look to the answers given for INF presented on Figure 13. First of all, it is noticeable that results are well spread between grade 2 and grade 4; grade 1 results are considered less interesting because the aim of the INDIGAU project is to provide a support for the prioritization of rehabilitation projects. Expert 6 may be identified as more severe than other experts: he often gives the highest grade amongst other answers. On the contrary, expert 2 may be considered as less severe than others: he has never assigned grade 4 and often gives the lowest grade. Some other experts, such as expert 8, appear as "moderate" because they often give median answer. The study of other indicators shows that experts are not systematically optimist, lenient or median; it depends on the considered dysfunction.

5. Conclusion – outlook

We have reported an ongoing work that aims at calibrating dysfunction indicators based on the results of visual inspections. In a first step, three complementary procedures have been proposed for making the most of the observations, and rules have been defined for translating defect codes into deduct values that can be aggregated in a single score. This score may be compared to thresholds for assigning a grade to each link. Calibration requires experts' opinions used as references. We have shown that eliciting a reference condition grade from experts is not obvious. Further works will go on with the elicitation of reference values and calibration procedures will be implemented within crisp and fuzzy approaches.

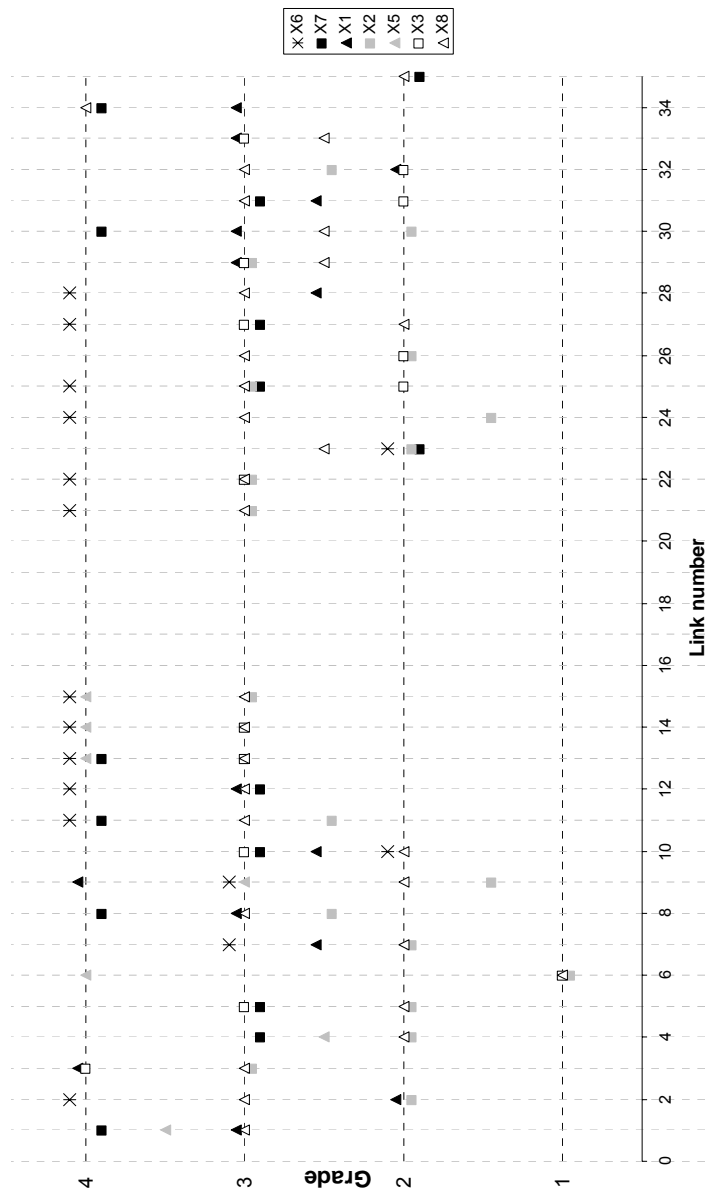


Figure 13. RESULTS OF EXPERTS' OPINION FOR *INF* INDICATOR AND FOR 30 LINKS (PLEASE ROTATE THE FIGURE FOR BETTER UNDERSTANDING).

6. Acknowledgements

The research presented in this paper is carried out in the frame of the INDIGAU research project (www.indigau.fr) supported by the French National Agency for Research – ANR, within the PGCU-2006 program. The authors thank the experts of the utilities that are involved in the project: *Brest Métropole Océane*, *Communauté d'Agglomération Caen la mer*, *Communauté Urbaine de Strasbourg*, *Conseil Général du Bas-Rhin*, *Grand Lyon*, *Lille Métropole Communauté Urbaine*, *Nantes Métropole Communauté Urbaine*.

7. References

- AGHTM (1999). Les ouvrages d'assainissement non visitables : fiches patho-gnomoniques. Techniques Sciences et Méthodes, octobre 1999, 23-90
- Dorchies, D. (2005). Etude de l'applicabilité de l'outil d'aide à la décision RERAU pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement sur l'inventaire du département du Bas-Rhin, *Mémoire de fin d'études, ENGEES Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics*, 62 p.
- Ibrahim M., Cherqui F., Le Gauffre P., Wery C. (2007). Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. *2nd Leading Edge Conf. on Strategic Asset Management, Lisbonne, Portugal, October 17-19, 10p.*
- Le Gauffre P., Ibrahim M. and Cherqui F. (2008). Sewer asset management: fusion of performance indicators into decision criteria. Pi08 – Performance Assessment of Urban Infrastructure Services, Valencia, Spain, 12-14 March. *In press.*
- Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C. and Desmulliez J.J. (2004). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique. Paris, *Lavoisier Tec&Doc*, 416 p., ISBN 27430-0748-6.
- Le Gauffre P., Joannis C., Vasconcelos E., Breysse D., Gibello C., Desmulliez J.J. (2007). Performance Indicators and Multicriteria Decision Support for Sewer Asset Management. *Journal of Infrastructure Systems, ASCE*, **13**(2), June 2007, 105-114.
- Rahman, S. and Vanier, D.J. (2004). An evaluation of condition assessment protocols for sewer management. Report B-5123.6. Ottawa (Canada): CNRC-NRC. Available online at: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/b5123.6/b5123.6.pdf>.
- Wery C., Dorchies D., Mellac Beck I. (2006). Sewer asset management: assessing criteria for a multicriteria decision support on a county level data base. *Joint int. conf. on Computing and decision making in civil and building engineering, Montreal, June 14-16*, 886-895.

CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on expert's opinion

F. Cherqui^{1}, C. Werey², M. Ibrahim¹, P. Le Gauffrel*

¹ Université de Lyon, F-69000, Lyon, France; INSA-Lyon, F-69621 Villeurbanne, France;

Université Lyon 1, F-69622, Villeurbanne, France;

Laboratory of Civil & Environmental Engineering.

² UMR Cemagref-ENGEES GSP, 1 quai Koch, BP 61039, 67070 Strasbourg Cedex, France.

**Corresponding author, e-mail frederic.cherqui@insa-lyon.fr*

Abstract

Asset management is an increasing concern for wastewater utilities and companies. Indicators are developed for supporting the definition of investigation and rehabilitation programs. These indicators are mostly based on visual inspections, which provide major information. However, difficulty remains in the translation of a visual inspection survey into dysfunction indicators. Condition grade of a sewer segment may be obtained by comparison of single score to thresholds which must be in accordance to practices of utilities' experts. The confrontation between expert's assessment of sewer segments (condition grade) and calculated scores also demonstrates the necessity of considering diagnosis imperfection when establishing thresholds. To fill this niche, an algorithm has been recently proposed (Ibrahim et al., 2007) in order to fix thresholds by minimizing a cost function. This article presents an successfully application of the proposed algorithm on 30 CCTV reports of sewer segments located Strasbourg and in Bas-Rhin. For each CCTV, a score is calculated using observation codes converted into numerical scores and in parallel, it is assessed by several experts (sewer managers of different French local authorities). This method has proved its interest when threshold determination is required to assess indicators. Moreover, this approach is generally applicable to numerous domains, when levels of performance need to be defined.

Keywords

Grade; indicator; misclassification cost; threshold; visual inspection, sewers, expert's opinion.

Introduction

Asset management is an increasing concern for wastewater utilities and companies. Criteria are developed for supporting the definition of investigation and rehabilitation programs. Dysfunction indicators contribute to the calculation of criteria, using expert rules. Indicators based on visual inspections provide major information. However, difficulty remains in the translation of a visual inspection survey into dysfunction indicators (Rahman & Vanier, 2004). In the framework of the French RERAU program (Rehabilitation of urban sewer networks) a methodological approach has been developed (Le Gauffre et al., 2004; Le Gauffre et al., 2007). 10 dysfunction indicators are defined and assessed with visual inspections reports of sewer segments; these dysfunction indicators are assigned a grade $G \in \{1, 2, 3, 4\}$: (from the best to the worst). This paper aims at presenting the ongoing work within the French project "INDIGAU" (Performance Indicators for asset management of urban sewer networks"), dealing with experts' judgment of CCTV reports. The first results and conclusions are presented in the 3rd section and they are discussed in the following section.

Sewer segment grading

Inspection reports provide sequences of observation codes, using a coding system (for example European standard EN 13508-2), that are quantified in order to obtain a score distribution on each sewer segment. The score of a section considers all defects, their gravity and their extent. Moreover, a single score is calculated for the sewer segment: the global density of defects relating to each dysfunction. Three complementary procedures are then executed so as to obtain a condition grade related to the sewer segment: (a) expert rules based on sequences of observation codes, (b) comparison of single score to threshold and (c) rules based on analysis of segment profiles (score distribution), as presented on Figure 1.

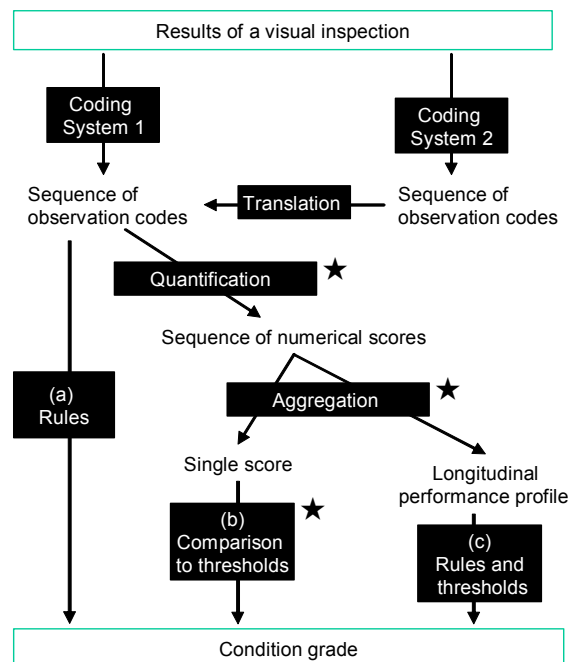


Figure 1. Translation of visual inspection encoding into condition grade.

The translation of visual inspections into condition grades depends on the coding system that is used. The methodology proposed in the RERAU project needs observation codes using the European standard EN 13508-2. So if the existing data are coded either in a self-made codification (case for the application done in the department of Bas-Rhin (Dorchies, 2005; Wery *et al.*, 2006) or in a national coding (in France, AGHTM, 1999), it is necessary to translate them within the EN 13508-2 codification. We can notice that lately, new material is available on the market, making the inspection directly with this new framework.

Dysfunction indicators valuation

When the defaults are available into EN 13508-2 standard, the calculation of the dysfunction scores can start using tables provided within the RERAU project (Le Gauffre *et al.*, 2004; Le Gauffre *et al.*, 2007) where dysfunction indicators are defined concerning: infiltration (*INF*), exfiltration (*EXF*), decrease of hydraulic capacity (*HYD*), sand silting (*SAN*), blockage (*BLO*), destabilisation of ground-pipe system (*SPD*), ongoing corrosion (*COR*), ongoing degradation from roots intrusion (*ROO*), ongoing degradation from abrasion (*ABR*), risk of collapse (*COL*). Figure 2 and Figure 3 present the corresponding tables for the infiltration dysfunction.

Dysfunction	INFILTRATION
Indicator	INF4: Infiltration risk, estimated from visual inspection
Valuation scale	Segment
Valuation type	Observation-based estimation of a dysfunction
Unit or gravity levels	Grades : 1/2/3/4
Valuation	<p>1 – coding C_i of observations O_i according to EN 13508-2 ;</p> <p>2 – translating C_i into scores N_i according to the following table ;</p> <p>3 – calculation of density $D = N / LT$, with $N = \sum N_i$, and LT: length of the segment (m)</p> <p>$N_i = \alpha^n \times P$ (or L_i), with $n = 0, 1, 2$ or 3 and $\alpha = 2, 3$ or 4;</p> <p>4 – comparison of D with thresholds S_1, S_2, S_3 : level 1 if $D \leq S_1$; 2 if $S_1 < D \leq S_2$; 3 if $S_2 < D \leq S_3$; 4 if $S_3 < D$.</p>

Figure 2. Density calculation for infiltration (Le Gauffre *et al.*, 2004).

Observation O_i	Code C_i	1	α	α^2	α^3	← Gravity Extent ↓
Deformation	BAA		BAA			P
Fissure	BAB	BAB B		BAB C		L
Break/collapse	BAC			BAC A	BAC B/C	P
Missing mortar	BAE		BAE			P
Defective connection	BAH			BAH B/C/D		P
...	...					

Figure 3. Defects contributing to infiltration (Le Gauffre *et al.*, 2004).

Dealing with experts' opinions

Eliciting opinions

We present here the first results of the expert survey we made within the INDIGAU project. For each dysfunction indicator, experts' opinions are used for calibrating thresholds for the 4 different states presented in the previous part. Then, in the next section, we will use a crisp approach (Ibrahim *et al.*, 2007) for threshold determination. The method proposed offers the possibility to take into account simultaneously false positive and false negative errors between the expert valuation and the calculated scores. Figure 4 illustrates the assignment errors related to score value comparison to thresholds.

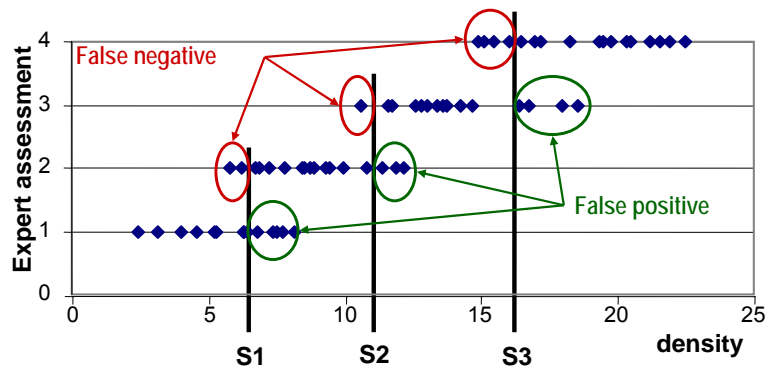


Figure 4. Ideal experts' opinion versus condition grades obtained by comparing scores with thresholds (63 fictive sewer segments); identification of assignment errors.

In the present application we gathered data on 45 links within 3 different utilities and we asked each of the 8 experts involved in the project to evaluate 22 links, that is to say to assign a grade to each dysfunction indicator for each link. This means that for each link we expected 3 or more answers. Thus we want to take into account in our model the gap between calculated scores and expert's opinions and also the fact that on a same link different experts can propose different results. First of all, the four grades have been defined and discussed in accordance with experts' opinion. These grades are defined as follow :

- Grade G1: no or few noticed defects (regarding the considered dysfunction);
- Grade G2: situation with low gravity, link to be kept under watch;
- Grade G3: situation with a certain gravity, intervention to be prioritized;
- Grade G4: unacceptable situation in any context, action needed.

The sample of 45 links was built up with 3 kinds of coding: one third of the sample in the French coding system, the second third in EN 13508-2 system after recodification from French system, the last third available directly in the EN 13508-2 system. Then, each expert had to answer in a spreadsheet; the generic response sheet is presented in figure 5. Each answer with Grade G3 or G4 must be justified, following procedures (a) *major(s) defect(s) or combination of defects*, (b) *density* or (c) *concentration of defects* presented in figure 1.

Link id: CG03		Time spent: 20 minutes				
Expert id: FJ + MW		Judgment justification				
PI	G	Density	Concentration of defects	Major(s) defect(s)	Combination of defects	Comments
INF	G3	X				
EXF	G2					
HYD	G2					
SAN	G1/G2					
BLO	G1					
SPD	G3	X				
COR	G1					
ROO	G3			BBA A 4.7 + BCA E A 23.7		

ABR	G2		
COL	G4	X	Risk of road collapse

Figure 5. Example of expert’s judgment of a link. PI means performance indicators and G means grade.

Results of the survey

Results presented in this paper concern 30 sewer segments: 15 links from Strasbourg utility, coded STG and 15 links from Bas Rhin’s local council utility, coded CG as *Conseil Général*. For every link, at least 3 expert valuations are available; in some cases more than 3 expert valuations are available thanks to extra work of some experts. We are hoping to complete the results soon, that is to say ask experts for missing valuations and calculate score of others links from Nantes utility (which are coded according to AGHTM, 1999).

As presented recently (Werey *et al.*, 2008), we identify that conflict between experts occurs when the difference between 2 answers is 2 or more levels; in fact when difference between experts’ opinions is 1 level, consensus may be obtained at the middle of the levels (i.e. consensus of D1 + D2 is D1/D2). Table 1 presents for example, the answers for link CG12. It illustrates the situations observed for the 30 links.

Table 1. Experts' judgment for link CG12, grading of each dysfunction indicator. Three cases are identified: 1) a consensus is obtained (white columns); 2) one expert disagrees but consensus is known (white columns and black cell); 3) consensus is difficult (grey columns).

Expert	INF	EXF	HYD	SAN	BLO	SPD	COR	ROO	ABR	COL
X1	G3	G3	G4	G4	G4	G3	G1	G1	G1	G4
X5	G3	G3	G3	G3	G1/G2	G2	G1	G1	G1	G3/G4
X6	G4	G4	G1	G4	G3	G1	G1	G1	G2	G1
X7	G3	G3	G4	G4	G4	G2	G1	G3	G2	G1
X8	G3	G3	G1	G2	G1	G2	G1	G1	G1	G2

Three cases occur (Werey *et al.*, 2008), each case is illustrate with the example of table 2:

- In case 1, a consensus is identified, there is no conflict; consensus can be “no dysfunction” (G1 or G2) as for COR and ABR; or consensus can be “major dysfunction” (G3 or G4) as for INF and EXF.
- In case 2, consensus is also known because only one expert disagrees and this answer may be excluded. For example, SAN is assigned grade G3/G4 and ROO is assigned G1.
- In the last case (case 3), consensus is hardly known since there are major conflicts between all experts (HYD, BLO and COL); further investigations are needed in order to conclude (ask other experts to assess this link, question again experts, characterize expert behavior to see if expert is optimist or pessimist, etc.).

Thus, it is necessary to have at least 3 expert valuations per link in order to conclude. If we now consider all the available links and all dysfunctions, we can notice that most of them are classified in case 1. However there is still a high proportion of link classified in case 3 (15% in average for all dysfunctions but values vary between 0% and 32%. 0% corresponds to COR and ROO; there are no major conflicts, however there are few defects concerning these dysfunctions: grade G1 and G2 have been assigned by the experts. At the opposite, SAN presents many conflicts (32% of links in cases 3) so as HYD (26%), SPD (23%), and COL (20%). We can conclude that experts agree with each other in the majority of links; however there is a surprisingly high rate of conflict. Interpretation of experts' judgment (Werey *et al.*, 2008) has demonstrated that experts are not always optimist, pessimist or moderate; it depends on the considered dysfunction. Discrepancies between experts' judgments must be investigated and although further work is needed, several directions have been identified:

- Expert's background: an expert may be “lax” (few D3 or D4) because the asset stock of its utility is in poor condition and rehabilitation budget is slim...
- Expert may also be “exigent” for several dysfunctions because specific dysfunctions are often observed in the asset stock of the utility.
- Human error: a major defect or a harmful combination of defect may have been omitted;
- Interpretation differences: each procedure (a, b, c, Figure 1) may not have the same limits and meanings for each expert.
- Some experts may have “recreate” a context accompanying the CCTV report, that is to say for example a link displacement (usually judge as grade G4) has been valuate in grade G2 by some experts because they consider that displacement was stabilized and will not get worse.

The next section detail the calibration of thresholds used in procedure b (figure 1), for the infiltration dysfunction indicator.

Thresholds calculation for infiltration

Approach describe in (Ibrahim *et al.*, 2007) has been applied to the sample of 30 sewer segments. That is to say that optimum thresholds between scores (figure 4) have been calculated depending on α and P values (figure 3) and in accordance with exerts' opinions. Table 2 below present raw experts' judgments available for each different link (in row): because these judgments are used to determine density thresholds, all judgments with a different justification than density have been removed.

Table 2. Experts' judgments related to infiltration dysfunction indicator, for the 30 links. Only assessments based on density are represented.

	X1	X2	X3	X5	X6	X7	X8
STG01		G3			G4		
STG02		G3	G3		G4		
STG03		G2			G2	G2	G2/G3
STG04		G1/G2			G4		
STG05		G3	G2		G4		
STG06		G2	G2				
STG07			G3		G4		G2
STG08	G2/G3				G4		
STG09	G3	G3	G3				G2/G3
STG10	G3	G2					G2/G3
STG11	G2/G3		G2				
STG12	G2	G2/G3	G2				
STG13	G3						G2/G3
STG14	G3					G4	G4
STG15							G2
CG01	G3			G3/G4			
CG02	G2	G2					
CG03	G4	G3	G4				G3
CG04		G2					G2
CG05		G2					G2
CG06		G1	G1	G4			G1
CG07	G2/G3	G2		G2	G3		G2
CG08	G3	G2/G3				G4	
CG09	G4	G1/G2		G3			G2
CG10	G2/G3				G2		G2
CG11					G4		G3
CG12	G3				G4		
CG13				G4	G4	G4	G3
CG14			G3	G4	G4		G3
CG15		G3		G4	G4		G3

As notice in the table below, each link has a least to judgments, indeed, the main justification for grading is density.

Determination of α and P values

Density score of each link has been calculated for α and P varying respectively from 2 to 4 and 0.5 to 5. $\alpha = 1$ is not considered because it cannot permit to distinguish different gravity of defects and $P = 0$ is also excluded because in this case several links assessed G2 by different experts obtain a score of 0. A consensus value aggregating experts' opinions is determined for each link. Then, for each values of α and P, links are sorted by increasing density and the links which do not respect a sorting rule are counted. The sorting rule is the following: a threshold must belong to a maximum of 2 grades, that is to say:

- for a densities $< d1$, grades based on experts' opinion are between G1 and G2,
- then between $d1$ and $d2$, experts' opinion grades are between G2 or G3,
- and for densities $> d2$, experts' opinion grades are between G3 or G4.

The sorting rule is of major importance and it is a constraint we decide to apply. It is in fact not coherent to exploit experts' judgments for a link which vary from G1 to G3 or from G2 to G4. This sorting rule is necessary until it becomes possible to use only consensus judgment; however it is not possible yet to exploit only consensus judgment because the number of link is limited. A future survey is plan and it should concern more links. This sorting rule must conduct to a graph similar to figure 4 (where $d1 = 8$ and $d2 = 12$); it enable to determine the values of α and P in best accordance to experts' opinions.

Concerning the sample of 30 links, 3 sets of best values have been preferred ($\alpha = 2 / P = 0.5$; $\alpha = 3 / P = 0.5$ and $\alpha = 4 / P = 0.5$) because they conduct to the minimum number (4) of links in disagreement with sorting rules (STG07, CG01, CG08, and CG11, links in *italic* in figure 4). A specific analysis of these 4 links has shown that 4 opinions are at the origin of the problem: X8's opinion for link STG07, X5's opinion for link CG01, X7's opinion for link CG08 and X6's opinion for link CG11. We discuss these links in the discussion section.

Using raw experts' opinion

For each set of α and P values, thresholds have been calculated using the procedure which is illustrate below with $\alpha = 2$ and $P = 1$. First of all, experts' opinions have been "corrected", that is to say following the work presented in (Werey *et al.*, 2008), experts' behaviors have been characterized (optimist when expert is inclined to overestimate grade, pessimist when he is inclined to underestimated grade and neutral if no specific behavior is identified). These characterizations were done analyzing one precise expert's answers versus other expertise in all the conflict cases (cases 1, 2 and 3 presented in table 1). Correction was applied to 9 of 84 pairs of values (density / grade according to expert). We are dealing with pair of values in considering each expert valuation independently, that is to say for example link STG01 become 2 pairs of values because 2 experts' opinions are available.

It is then necessary to deal with imprecise answer: G1/G2, G2/G3 and G3/G4 answers. This imprecise answers are needed in fuzzy approach (such as proposed in Le Gauffre *et al.*, 2008), but they are not directly workable here. Each imprecise answer is made round with two different procedures;

- A favorable procedure: round values are equally spread when possible (if there are two imprecise answers G1/G2, one is assigned G1 and the other is assigned G2) and if possible sorting rule (defined above) is respected. If sorting rule cannot be respected, the point is identified has problematic.
- A unfavorable procedure: round values are equally spread when possible however sorting rules should not be respected in order to obtain the maximum number of problematic points.

For each procedure, the total number of problematic points (which do not respect sorting rule) is calculated. For $\alpha = 2$ and $P = 1$, favorable and unfavorable procedure leads respectively to 2 and 5 problematic points, as shown in figure 6.

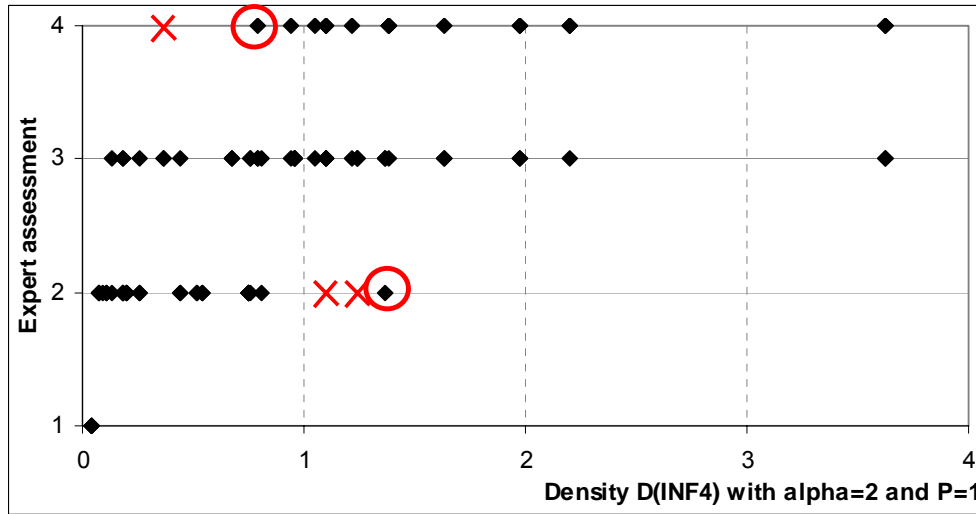


Figure 6. Experts' opinion versus condition grade obtained for 84 experts' judgments on 30 links. Points encircled are the 2 problematic points common to both procedure and crosses are the position of problematic points of unfavorable procedure.

Figure 6 shows that the number of problematic points is low considering the total number of experts' judgments. For both procedure, problematic points have been removed and thresholds have been calculated. The table 5 presents a synthesis of the thresholds calculation with a hypothesis of ratio CFN / CFP equal to 1 (see Ibrahim *et al.*, 2007).

Table 3. Thresholds (S12, S23 and S34) determination based on experts' opinion comparison to density calculation condition grade obtained for 84 experts' judgments on 30 links, and with CFN/CFP = 1. "F" means favourable procedure and "U" means unfavourable procedure.

	$\alpha = 2 / P = 1$		$\alpha = 3 / P = 1$		$\alpha = 4 / P = 1$	
	F	U	F	U	F	U
Problematic pts	2	6	2	6	2	6
S12	0,064	0.064	0.156	0.156	0.285	0.285
S23	0,745	0.745	1.555	1.555	2.632	2.632
S34	1,966	1.965	4.522	3.034	5.363	5.363
MC mini	0,268	0.278	0.268	0.269	0.286	0.269
PE1 [%]	3.66	3.80	3.66	3.85	3.57	3.85
PE2 [%]	31.71	34.18	31.71	34.62	32.14	34.62
PE3 [%]	46.34	43.04	46.34	43.59	45.24	42.31
PE4 [%]	18.29	18.99	18.29	17.95	19.05	19.23

As shown in table 3, thresholds are increasing with α because α is directly connected to the score of each link. However, it is also noticeable that proportion of elements in grades G1, G2, G3 or G4 is stable. More experts' judgments are needed in order to differentiate each value of α . Other experiments were done varying the number of experts' judgment available for threshold determination and the following results were obtained:

- Thresholds variation between the different experiments is not significant;

- Proportions of elements in the different grades (PE1, PE2, PE3 and PE4) vary highly between the different experiment and it is not possible to characterize these variations because they strongly depend on the judgments removed;

Discussion

The demarche developed in this paper enables to "calibrate" thresholds using experts' assessment of dysfunction. Concerning the example presented above, the 4 experts' opinions (X8's opinion for link STG07, X7's opinion for link CG08, X5's opinion for link CG01 and X6's opinion for link CG11) which disagree with sorting rules have been carefully analyzed. The last 2 opinions may be explained by the fact that in both case, justification of grade was ambiguous (density *and* Majors defects), however the 2 other opinions are not understandable and need to be discuss with the concerned experts. A threshold determination was based on consensus of experts' judgment (30 pairs of value, on per link) and in spite of the fact that we consider the number of pairs insufficient, results were closer to those obtained in table (PE1 = 3.33 %, PE2 = 33.33 %, PE3 = 43.33 % and PE4 = 20 %). These results confirm the pertinence of corrections applied to experts' valuation and the use of sorting rule.

Concerning favorable and unfavorable procedure, the similar results confirm the low influence of converting hesitations (G1/G2 or G2/G3 or G3/G4) into crisp opinions. There are 13 hesitations and only a part of them create problematic point.

Last but not the least, this experiment proves that it is possible to calibrate thresholds in accordance to multiple experts' opinions. Moreover, thresholds are not significantly influenced by variation in the number of experts' opinions available. Yet, some difficulties remain concerning experts' opinions verification and use. Case study demonstrated the difficulty to deal with imperfect repartition of expert valuation for a link. This problem should be reduced when enough opinions will be available; then only consensus opinion could be used to determine thresholds.

Conclusions

We have reported an ongoing work that aims at calibrating dysfunction indicators based on the results of visual inspections. This calibration requires experts' opinions and calculation of densities for several sewer segments. We have shown that it is not obvious to manage imperfect opinions. However, the method proposed in this paper has been successfully applied to a real sample of 30 links assessed by several experts working in different French utilities. Thus, this method has proved its interest when threshold determination is required to assess indicators. Further works will now focus in two distinct directions: first of all, it is necessary to apply this method on other kind of dysfunction indicators (decrease of hydraulic capacity, sand silting, risk of collapse). Research will also concern fuzzy approach (Zadeh, 1978) in order to include imprecise transition between the different grades. That is to say it allows defining that a segment may belong to two grades (fuzzy thresholds) when it is difficult to establish a sharp statement.

Acknowledgement

The research presented in this paper is carried out in the frame of the INDIGAU research project (www.indigau.fr) supported by the French National Agency for Research – ANR, within the PGCU-2006 program. The authors thank the experts of the utilities that are involved in the project: *Brest Métropole Océane, Communauté d'Agglomération Caen la mer, Communauté Urbaine de Strasbourg, Conseil Général du Bas-Rhin, Grand Lyon, Lille Métropole Communauté Urbaine, Nantes Métropole Communauté Urbaine.*

References

- AGHTM (1999). Les ouvrages d'assainissement non visitables : fiches patho-gnomoniques. Techniques Sciences et Méthodes, octobre 1999, 23-90
- Dorchies, D. (2005). Etude de l'applicabilité de l'outil d'aide à la décision RERAU pour la réhabilitation des réseaux d'assainissement sur l'inventaire du département du Bas-Rhin, *Mémoire de fin d'études, ENGEES Strasbourg, UMR Gestion des Services Publics*, 62 p.
- Ibrahim M., Cherqui F., Le Gauffre P. & Wery C. (2007). Sewer asset management: from visual inspection survey to dysfunction indicators. *2nd Leading Edge Conf. on Strategic Asset Management, Lisbonne, Portugal, October 17-19, 10p.*
- Le Gauffre P., Ibrahim M. & Cherqui F. (2008). Sewer asset management: fusion of performance indicators into decision criteria. Pi08 – Performance Assessment of Urban Infrastructure Services, Valencia, Spain, 12-14 March.
- Le Gauffre P., Joannis C., Breysse D., Gibello C. & Desmulliez J.J. (2004). Gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains. Guide méthodologique. Paris, *Lavoisier Tec&Doc*, 416 p., ISBN 27430-0748-6.
- Le Gauffre P., Joannis C., Vasconcelos E., Breysse D., Gibello C. & Desmulliez J.J. (2007). Performance Indicators and Multicriteria Decision Support for Sewer Asset Management. *Journal of Infrastructure Systems, ASCE*, **13**(2), June 2007, 105-114.
- Rahman, S. & Vanier, D.J. (2004). An evaluation of condition assessment protocols for sewer management. Report B-5123.6. Ottawa (Canada): CNRC-NRC. Available online at: <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/pubs/fulltext/b5123.6/b5123.6.pdf>.
- Wery C., Cherqui F., Ibrahim M. & Le Gauffre P. (2008). Sewer asset management tool: dealing with experts' opinion. Pi08 – Performance Assessment of Urban Infrastructure Services, Valencia, Spain, 12-14 March.
- Wery C., Dorchies D. & Mellac Beck I. (2006). Sewer asset management: assessing criteria for a multicriteria decision support on a county level data base. *Joint int. conf. on Computing and decision making in civil and building engineering, Montreal, June 14-16*, 886-895.
- Zadeh L. A. (1978) Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy Set and Systems*, 1, 3-28.

Poster LESAM 2009 MIAMI 11-13 novembre 2009



CONDITION ASSESSMENT OF SEWER SEGMENTS USING CRISP AND FUZZY CALIBRATION PROCEDURES

F. Cherqui*, P. Le Gauffre* & C. Wéry*

Context



$$\text{Density} = \frac{\sum (\text{Deduct Values})}{\text{Length of Pipe Segment}}$$

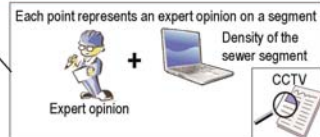
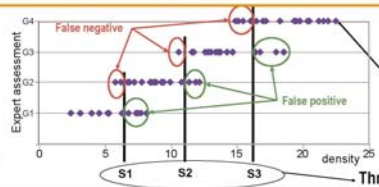
- Grade G1: no or few reported defects (regarding the considered dysfunction);
- Grade G2: situation of low gravity;
- Grade G3: situation of a certain gravity, intervention to be prioritized;
- Grade G4: unacceptable situation in any context, action needed.

The condition grade (distress-based evaluation) of a sewer segment is assigned according to a comparison of defects' inventory (defect coding and deduct values) with a subjective scale of numerical values. This subjective scale of numerical values is permanent for each protocol, however results show that each utility has its own priorities and so will not give the same condition grade to a sewer segment (Cherqui et al., 2008; Wéry et al., 2008). => We propose two different methods for establishing the scale of numerical values, in order to determine thresholds between each condition grade. These methods are based on expert assessment of a sample of sewer segments for which density has been calculated.

Materials

Calibrating thresholds requires a sufficient amount of "expert opinions", that is to say sewer segments with both a single score (density) and expert assessments.

false positive: segment classified in worse condition than experts' opinion
false negative: segment classified in better condition than experts' opinion



Thresholds to be identified

Calibrating thresholds

"Crisp" procedure: minimization of a global function C

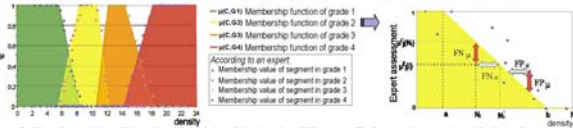
$$C = \sum_{i=1}^4 \left(\sum_{j=1}^4 P(C_j/E_i) * P(E_i) * w_{ij} \right)$$

- $P(C_j/E_i)$ occurrence probability of C_j for a segment in grade E_i ;
- $E_i \in \{E_1, E_2, E_3, E_4\}$ level of dysfunction according to experts;
- $C_j \in \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$ level of dysfunction based on a single score comparison to thresholds;
- $P(E_i)$ probability that a segment is in grade E_i ;
- w_{ij} weight given to a segment assigned to grade j according to score and to grade i according to expert's opinion.
- If $i = j$ then $w_{ij} = 0$
- If $i > j$ then error is a false positive, dysfunction is overestimated by score
- If $i < j$ then error is a false negative, dysfunction is underestimated by score
- w_{ij} depends on the capacity of the utility to manage risks related to dysfunctions.

"Fuzzy" procedure:

Associate calibration error to each segment

Hypothesis : a sewer segment may belong to maximum two grades
Expert opinion may be fuzzy: "segment belongs to grade 2 for 60% and to grade 3 for 40 %"



Calibration = identifying (a, b) which minimize the difference D, for each membership function :

$$D = \sum_{i=1}^n \left[\beta * (N_i - a)^2 + (1 - \beta) * (N_i - b)^2 \right]$$

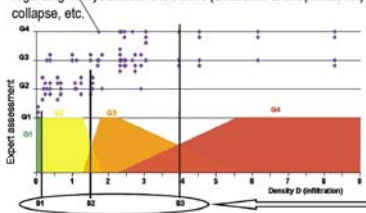
with $N_i = \frac{FN_i + FN_N}{FN_N + FN_N}$ when $N_i < N_N$
 $N_i = \frac{FN_N + FN_N}{FN_N + FN_N}$ when $N_i > N_N$
 $N_i = \frac{FN_N + FN_N}{FN_N + FN_N}$ when $N_i = N_N$

- n number of points (density + expert opinion)
- β coefficient $\in [0; 1]$ which controls the slope
- N_i density of segment i
- N_N fictive density calculated with membership function and $a_i^{(j)}$
- $a_i^{(j)}$ membership value for segment i according to expert
- $a_i^{(j)}$ membership value for density N_i according to membership function
- CFP_j or CFN_j weight given respectively to false positive or false negative (density)
- CFP_j or CFN_j weight given respectively to false positive or false negative (μ)

Experimentation

30 sewer segments (CCTV reports) assessed by 8 experts (4 experts at least per segment), regarding 10 dysfunction indicators (Structural and Operational) : Infiltration, blockage, risk of collapse, etc.

- Each expert has his own background:
 - Different asset stocks
 - In excellent or poor condition.
 - With an important or slim budget
 - "severe" or "lax"
 - Focusing on specific problems: structural / operational

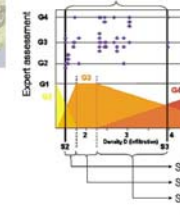


Fuzzy memberships functions

"Crisp" thresholds



Segments in grade 3 according to "crisp" threshold



Segments classified in grade G3 according to "crisp" procedure are classified more accurately according to "fuzzy" procedure.

For example, it is possible to rehabilitate segments in grade 4 and segment in grade 3 and 4 (and not all segments in grade 3).

- Segments in grades 2 and 3 according to membership functions
- Segments in grade 3 entirely according to membership functions
- Segments in grades 3 and 4 according to membership functions

- "crisp" procedure does not enable to control error; reliability of assessment is questionable when density is close to each threshold;
- "fuzzy" procedure is in concordance with "crisp" procedure and moreover it allows to prioritize more efficiently rehabilitation needs.

Conclusion

- => "crisp" thresholds allow translating numerical assessment into dysfunction grade;
- => "crisp" procedure minimizes a global error and can be adapted to each utility - manager can choose w_{ij} and $P(E_i)$;
- => however CCTV are not always reliable and "crisp" procedure does not deal with error assigned to each sewer segment;
- => "fuzzy" procedure allows defining transition between two grades and thus give information upon reliability of classification;
- perspectives: -> Improve reliability of the results with extended experiments (expert opinions on new sewer segments);
- > connect this work with fusion of fuzzy indicators: see [Le Gauffre & Cherqui \(2009\)](#) in the present conference.

Refs

Cherqui, F., Wéry, C., Ibrahim H. and P. Le Gauffre (2008). CCTV inspection of sewer segments: calibration of performance indicators based on experts' opinions. Proceedings of the 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, UK, 31 Aug.-5 Sept., 10 p.

AK

The research presented in this paper is carried out in the frame of the INDIGAU research project (www.indigau.fr) supported by the French National Agency for Research - ANR, within the PGCU-2006 program. The authors thank the experts of the utilities that are involved in the project: Communauté Urbaine de Grand Métropole Océane, Communauté d'Agglomération Caen la mer, Communauté Urbaine de Strasbourg, Conseil Général du Bas-Rhin, Communauté Urbaine du Grand Lyon, Lille Métropole Communauté Urbaine, Nantes Métropole Communauté Urbaine.