
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-ENGEEES 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 RERAU¹ (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 vulnérabilités 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 1. La première étape consiste à traduire les observations en une séquence de codes, conformément à un système de codage propre au gestionnaire 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

¹ Réhabilitation des réseaux d'assainissement urbains.

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.

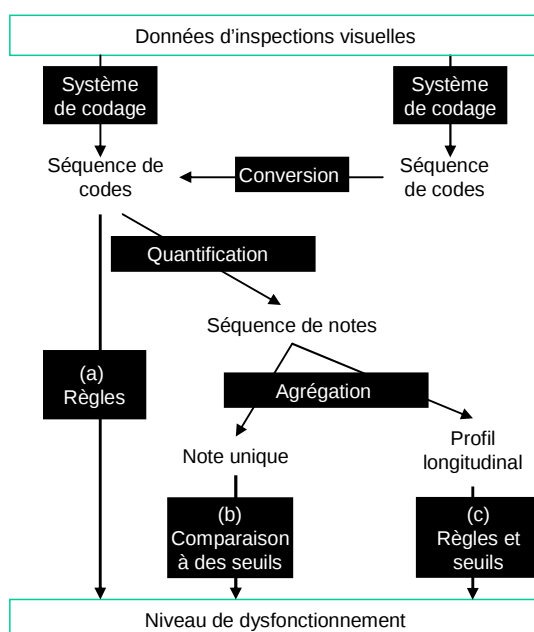


Figure 1. Étapes et sous problèmes pour l'évaluation d'un indicateur de dysfonctionnement à partir des données d'inspections visuelles d'un tronçon

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 1. 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 1) 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 2 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 1). 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 1). 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 1) : 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 2. 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 ; Werey *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 1.

Tableau 1. Bilan de la confrontation du calcul des 7 dysfonctionnements avec l'avis d'experts pour $\alpha = 3$ et $\alpha = 4$

$\alpha = 3$							$\alpha = 4$						
Avis de l'expert	Dysfonctionnement calculé					Total	Avis de l'expert	Dysfonctionnement calculé					Total
	1	2	3	4				1	2	3	4		
1	26	3	1	0		30	1	26	4	0	0		30
2	3	3	3	2		11	2	3	5	2	1		11
3	3	1	4	11		19	3	3	5	9	2		19
4	4	0	1	13		18	4	4	0	3	11		18
Total	36	7	9	26		78	Total	36	14	14	14		78

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

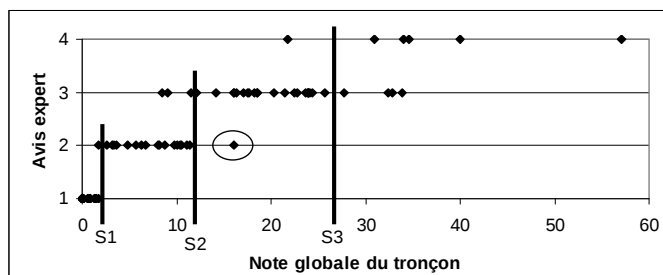


Figure 3. Confrontation entre l'affectation issue du calcul (évaluation d'une note globale puis comparaison à trois seuils) et l'avis expert pris pour référence

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* ». Dans le Tableau 1, 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 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 $P(E_i) \neq P'(E_i)$.

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 INDIGAU² 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.
- 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., Breyse 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., Breyse 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.

² Indicateurs de performance pour la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement urbains