

Prévention de la corrosion et prise en compte de la pérennité dans la conception des réseaux d'assainissement

Lionel MONFRONT

CERIB (Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton)

Responsable du Pôle Génie Civil

La gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement répond à des enjeux financiers considérables liés à la constitution du patrimoine d'ouvrages et à leur très longue durée d'utilisation. De nombreuses méthodes d'inspection, d'évaluation et des modèles de détérioration ou de vieillissement se développent pour permettre d'élaborer et de planifier la maintenance, la réhabilitation ou le renouvellement de réseaux existants. Ces approches permettent de mieux cerner l'état des réseaux existants, leurs éventuelles altérations et parmi celles-ci, celles résultant de la corrosion. Les opérateurs sont ainsi à même de mener les actions curatives nécessaires sur le réseau.

La pérennité des réseaux est aussi fortement conditionnée par le respect de règles de bonne conception, couramment admises par les professionnels de l'assainissement, mais parfois négligées du fait de la multiplication des acteurs dans le domaine de l'assainissement ou de la pression des acteurs du marché. Performance hydraulique, prévention de la corrosion, sécurité de fonctionnement et bonnes conditions d'exploitation sont fortement imbriquées et doivent donc être prises en compte de façon globale.

Ainsi, la moindre performance à long terme des canalisations de faibles pentes peut constituer une présomption de dysfonctionnement accru qui peut s'expliquer par les phénomènes de sédimentation et de dépôts dans les canalisations dus à un autocurage insuffisant. Toutefois, il y a lieu de tenir compte des performances effectives des canalisations d'assainissement en exploitation conditionnées par leur régime d'écoulement réel et de ne pas recourir à des approches trop théoriques basées sur des coefficients d'écoulement trop importants pouvant conduire à l'augmentation des risques de corrosion par un dimensionnement inadapté du réseau.

De même, la prévention de la corrosion des canalisations ne saurait se baser sur la seule recherche de matériaux de plus en plus résistants à la corrosion (au sulfure d'hydrogène par exemple - H_2S) au risque de négliger les autres impératifs clés à respecter dans la conception des réseaux et plus globalement des systèmes d'assainissement intégrant le traitement des effluents : prévention des odeurs, possibilité d'intervenir dans les réseaux, aptitude des stations au traitement...

Après avoir précisé les enjeux de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement, cette communication présente des résultats d'études patrimoniales et des bonnes pratiques de prévention de leur corrosion par la prise en compte de conditions réalistes et adaptées pour la conception des réseaux d'assainissement.

1. Les enjeux de la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement

Outre les enjeux sanitaires, environnementaux et de sécurité en termes de prévention des inondations, la gestion patrimoniale des réseaux d'assainissement répond à des enjeux financiers considérables liés à la constitution du patrimoine d'ouvrages et à leur très longue durée d'utilisation.

En France, la connaissance des réseaux d'assainissement n'est que partielle et se base sur des estimations et non une connaissance exhaustive. Il a néanmoins été évalué qu'en 2001 les réseaux d'eaux usées, unitaires ou séparatifs, représentaient en France environ 250.000 km de canalisations alors que ceux pour l'évacuation des eaux pluviales totalisaient 79 000 km [1,2].

L'âge des canalisations d'eaux usées varie selon leur implantation. La majeure partie des réseaux d'eaux usées, zones rurales et urbaines confondues, a moins de 55 ans [1].

Une étude a indiqué l'âge moyen des réseaux en 1999 :

Ancienneté des ouvrages	Réseaux et ouvrages associés
10 ans et moins	11 %
[10 ans – 20 ans]	32 %
[20 ans – 30 ans]	28 %
[30 ans – 60 ans]	19 %
Plus de 60 ans	10 %
Total	100 %

Tableau 1 : Age moyen des réseaux d'eaux usées en 1999 [1]

Estimés en valeur de remplacement, ceci représente un capital de l'ordre de 65 à 76 milliards d'euros [1]. Ceci conduirait à des dépenses de renouvellement moyennes annuelles de l'ordre de 1 milliard d'euros par an selon l'hypothèse de durée de vie entre 60 et 80 ans. Il convient de noter que ces hypothèses ne sont que de simples scénarios et qu'elles ne se basent pas sur une évaluation technique des canalisations et ne différentient pas la durée de vie selon les diamètres, les périodes de construction ou les matériaux constitutifs.

Il est à noter que si les durées et modes d'amortissement comptables ont pu être établis en tenant compte de la durée de vie utile (« useful life ») des canalisations, définie comme la période au cours de laquelle elle rend la totalité du service que l'on attend d'elle, des écarts notables ont pu être identifiés [3] entre approche comptable et approche technique :

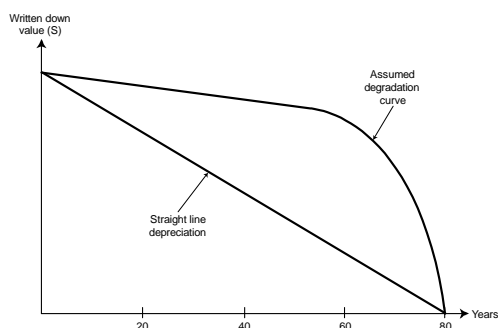


Figure 1 : Comparaison entre la courbe de dépréciation linéaire et la courbe de dégradation supposée de canalisations d'assainissement en béton armé se basant sur une approche combinée d'observation et d'avis d'experts [4].

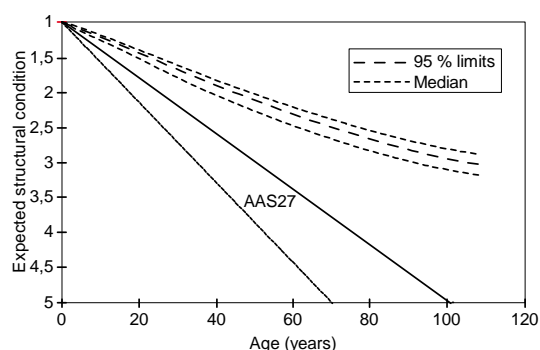


Figure 2 : Comparaison entre la courbe de dépréciation linéaire et la courbe de dégradation issues de la modélisation d'un réseau d'eaux pluviales [5]

2. Observations et codification des défauts dans les canalisations

La plupart des opérations de suivi des canalisations d'assainissement sont basées sur les résultats des inspections télévisuelles et la codification définie par la norme EN 13508-2 [6]. Ce recueil de données donne une image du réseau, ou la plupart du temps seulement d'une partie de celui-ci étant donné le manque d'informations disponibles.

Cette norme de codification des défauts, établie en 2003 mais reprenant pour partie la codification française de l'AGHTM en 1999 [7], se base essentiellement sur les canalisations de type ovoïde maçonné ou sur les canalisations circulaires en béton, traditionnellement utilisées depuis plus d'un siècle en assainissement. Ceci peut conduire à codifier de manière erronée ou inadéquate des défauts observés sur les matériaux plus récents dont les pathologies n'étaient pas encore suffisamment cernées il y a encore quelques années, à l'exception notable de l'ovalisation, comme par exemple celles présentées figure 3 :

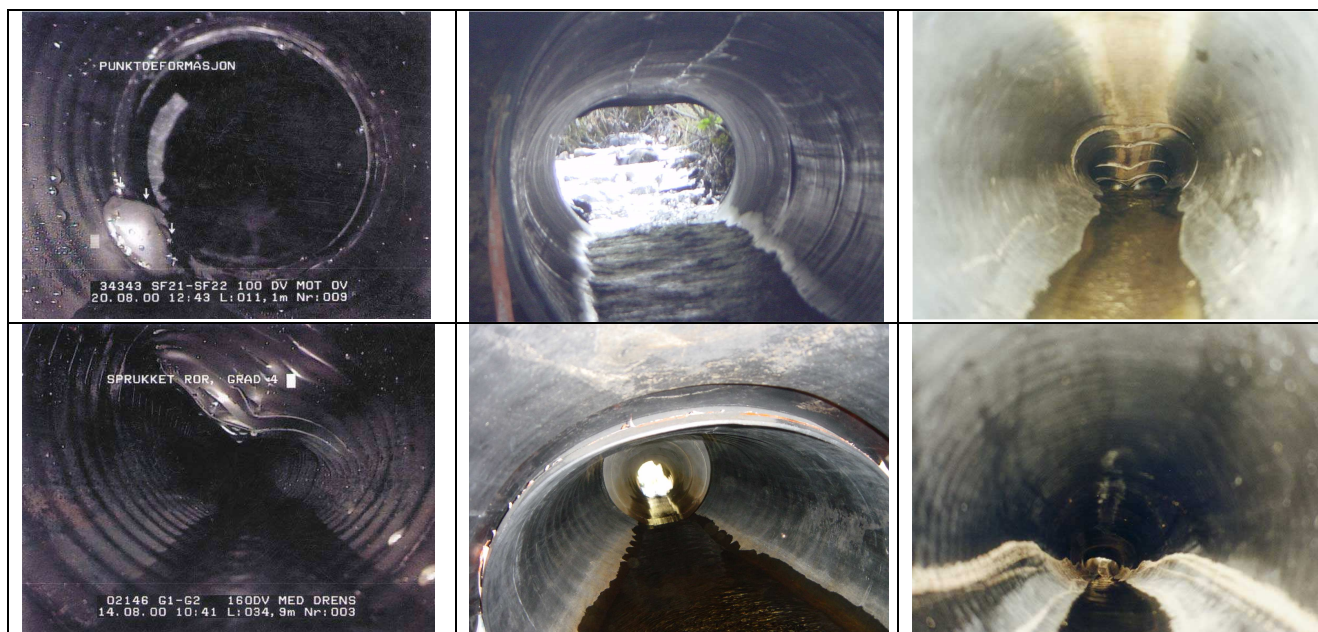


Figure 3 : Observations sur canalisations plastiques

La révision décidée de la norme EN 13508-2 pourrait être l'occasion de la préciser pour la rendre plus efficace d'autant qu'elle constitue un référentiel de réception pour les canalisations neuves d'assainissement intégré au référentiel d'accréditation COFRAC des entreprises de contrôle des canalisations d'assainissement qui pourrait être étendu à l'inspection télévisée des canalisations en fonctionnement.

Ces évolutions pourraient permettre de mieux approcher la performance effective des canalisations et l'influence de leur matériau constitutif. Il est toutefois important de noter que la norme EN 13508-2 ne doit pas être considérée comme une méthode d'évaluation de l'état des canalisations qui nécessiterait des jugements subjectifs et l'utilisation de données supplémentaires [6].

3. Résultats d'études patrimoniales de réseaux d'assainissement

L'important linéaire des réseaux d'assainissement ne permet pas leur connaissance exhaustive qui nécessiterait des moyens très importants d'inspection. L'évaluation de la dégradation des réseaux d'assainissement se base donc sur une approche statistique. Ceci conduit à des modèles basés sur une approche probabiliste qui ne permet pas de prévoir le comportement individuel de tronçons particuliers mais d'apprécier une probabilité de défaillance sur le réseau.

L'établissement de ces modèles de dégradation consiste à définir un certain nombre d'états de référence et à caractériser chaque tronçon de canalisation par l'un d'entre eux.

Le nombre d'états retenus dépend de :

- l'approche globale de la performance intégrant performance structurelle et de service [3,5] ou au contraire les dissociant [8] ;
- la taille de l'échantillon retenu pour évaluer le patrimoine ;
- la nature des canalisations : eaux usées, unitaires ou pluviales.

Ces états des canalisations sont déterminés de manière globale pour estimer :

- un état intrinsèque de la canalisation [9] ;
- un coût estimé de travaux à réaliser [10,11] ;
- l'urgence à entreprendre des travaux de réhabilitation [9] ;
- ou permettre l'évaluation de la durée de vie résiduelle de l'ouvrage [5].

Les résultats présentés ci-après permettent néanmoins d'approcher les différents phénomènes de dégradation et de vieillissement.

3.1 Pente des canalisations

Patrimoine étudié : 23 km en béton représentatif du linéaire total de tuyaux en béton d'un réseau d'assainissement

Critère : Classes d'état du tronçon (de 1 : état neuf à 5 : état de ruine)

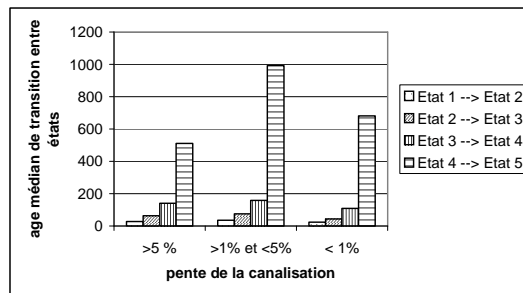


Figure 4 : Estimation de l'âge médian de la transition entre deux états de dégradation de l'ouvrage en fonction de la pente [10, 13]

3.2 Effluents transportés

Patrimoine étudié : 37.8 km représentatif du linéaire total d'un réseau d'assainissement

Critère : Classes d'état du tronçon (de 1 : état neuf à 5 : état de ruine)

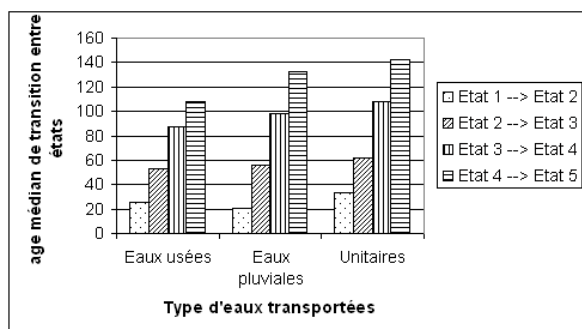


Figure 5 : Estimation de l'âge médian de la transition entre deux états de dégradation de l'ouvrage selon le type d'eaux transportées [10, 11]

Patrimoine étudié : 2510 km de canalisations d'assainissement de diamètre compris entre 150 mm et 600 mm

Critère : Nombre d'interventions d'urgences comptabilisées sur le réseau.

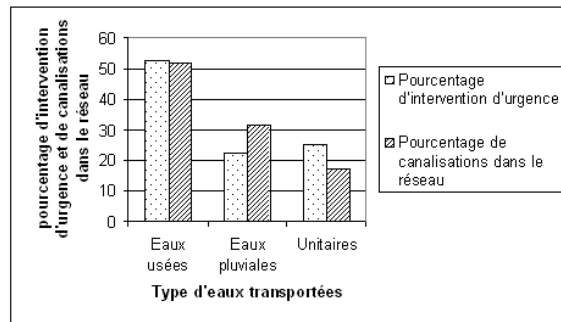


Figure 6 : Pourcentage d'interventions d'urgence par type d'eau transportée des canalisations [12]

3.3 Matériaux constitutifs des canalisations

Différentes études ont permis de dégager des résultats relatifs à la performances des canalisations selon leur matériau constitutif. Elles permettent d'attester de la bonne performance des canalisations en béton.

Patrimoine étudié : 17 km d'un réseau pluvial de 380 km

Critère : Proportion de tronçons de canalisations dans l'état le plus critique correspondant à une détérioration affectant la structure de l'investissement, nécessitant une reconstruction majeure ou une remise à neuf

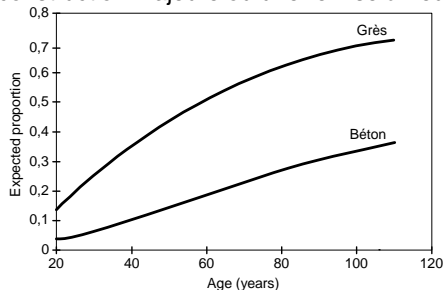


Figure 7 : Proportion de tronçons de canalisations pluviales dans l'état le plus critique [4]

Patrimoine étudié : 37.8 km représentatif du linéaire total d'un réseau d'assainissement

Critère : Classes d'état du tronçon (de 1 : état neuf à 5 : état de ruine)

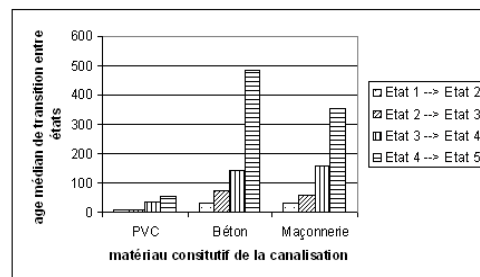


Figure 8 : Estimation de l'âge médian de la transition entre deux états de dégradation de l'ouvrage selon le matériau de canalisation [10]

Patrimoine étudié : 375 km de canalisations d'assainissement de diamètre compris entre 150 mm et 1050 mm

Critère : Pourcentage de déficience (Sont considérées

Patrimoine étudié : 2510 km de canalisations d'assainissement de diamètre compris entre 150 mm et 600 mm

Critère : Nombre d'interventions d'urgences sur le

comme déficientes, toutes canalisations présentant au moins des défauts de faibles niveaux tels que : déformation, casse, fissure ou une corrosion modérée)

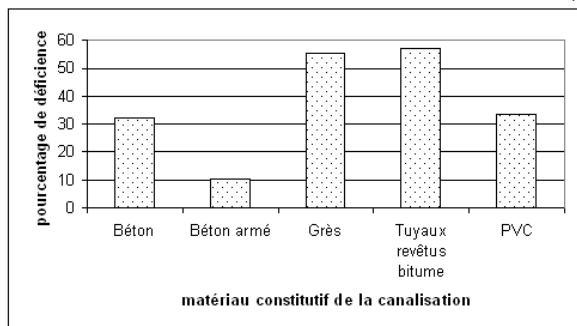


Figure 9 : Pourcentage de déficience pour un matériau donné et pourcentage relatif de déficience selon le matériau [12]

réseau

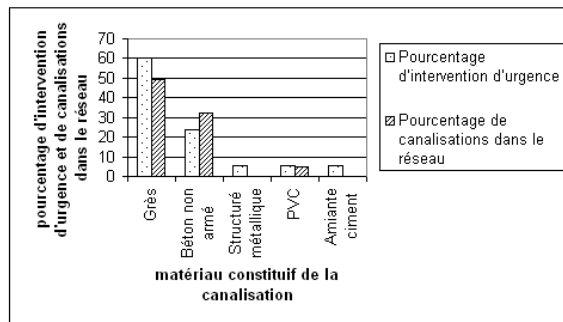


Figure 10 : Pourcentage d'interventions d'urgence par type de matériau de canalisation [12]

4. Bonnes pratiques en assainissement

L'intégration du suivi patrimonial des réseaux dans une démarche de management intégré des réseaux (préconisé par la nouvelle norme européenne EN 752 [14]) permet d'esquisser des stratégies de conception, de maintenance ou d'entretien des réseaux se basant sur des retours constatés dans des conditions opérationnelles de fonctionnement propres aux réseaux d'assainissement et intégrant non seulement les paramètres pertinents et leur interdépendance mais aussi les différentes priorités stratégiques de l'exploitation qui comprennent non seulement l'intégrité physique des ouvrages mais aussi des impératifs de fonctionnement opérationnels (traitement des eaux par exemple) ou la sécurité d'exploitation.

4.1 Pentés, autocurage et coefficient d'écoulement

La moindre performance à long terme des canalisations de faibles pentes peut constituer une présomption de dysfonctionnement accru qui peut s'expliquer par les phénomènes de sédimentation et de dépôts dans les canalisations dus à un autocurage insuffisant. Toutefois, il y a lieu de considérer également que cela peut résulter également de la prise en compte de coefficients d'écoulement hydraulique inadéquats. Des valeurs du coefficient de Manning-Strickler pouvant atteindre 120 sont parfois préconisées ou utilisées pour certains matériaux ou lors de réhabilitation alors que les valeurs courantes rencontrées en réseaux sont de l'ordre de 60 à 90, quel que soit le matériau constitutif de la canalisation.

Cette surestimation des coefficients d'écoulement, et donc des débits ou des vitesses d'écoulement des affluents, provient :

de l'interprétation d'essais d'écoulement effectués en laboratoire dans des conditions non représentatives des ouvrages : un essai d'écoulement d'eau claire sur un segment court de tuyau de faible diamètre dans des conditions de laboratoires (pente régulière et contrôlée, absence de singularité géométrique, conditions d'écoulement stabilisées) n'est pas représentatif de canalisations d'assainissement couramment posées. Les essais réalisés par le CERIB sur des tronçons de canalisation en béton et en PVC de diamètre 600 mm posés à une pente régulière de 5mm/m ont permis d'établir à section pleine des coefficients d'écoulement de l'ordre de 90 pour les deux matériaux [16]. Il est à noter que cet essai, ne prenait pas en compte d'irrégularité de pentes, de singularités spécifiques ou de dépôt et que par conséquent, les valeurs obtenues doivent être considérées comme des valeurs maximales.

de l'emploi de corrélations entre les rugosités Colebrook (k_s) et les coefficients d'écoulement de Manning Strickler

(K) hors de leurs domaines. Ainsi l'emploi de la formule de Hager $\frac{K \times k_s^{1/6}}{\sqrt{g}} = 8.2$ hors de son champ

d'application (les écoulements en régime rugueux pour lesquels $10^4 < Re < 10^7$), conduit à surestimer de 10 à 30% le débit en le calculant avec un coefficient $K=110$.

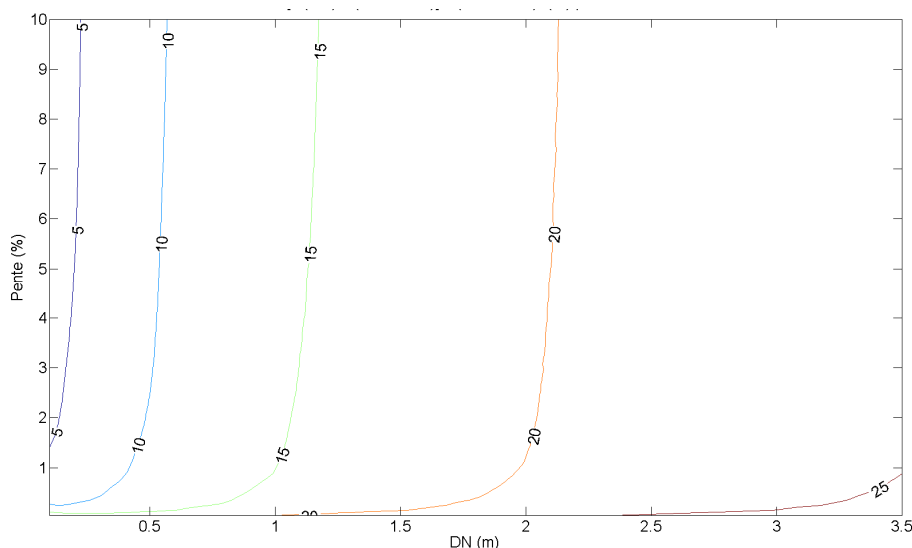


Figure 11 : Erreur sur le débit estimé par Manning-Strickler en appliquant la formule de Hager pour $k_s=0.162\text{mm}$

Si l'on utilise la formule de correspondance de la norme EN 752

$$K = 4\sqrt{g} \cdot \left(\frac{32}{D}\right)^{1/6} \cdot \log_{10}\left(\frac{3.71D}{k}\right)$$

qui a été établie en négligeant le terme de turbulence de la formule de Colebrook, ce qui conduit donc à comparer la formule d'écoulement de Nikuradse à celle de Manning Strickler. Le calcul du coefficient d'écoulement de Manning Strickler sur la base d'une rugosité au sable supposée inférieure à $1.4 \cdot 10^{-3}$ conduit à surestimer les débits calculés de 20 à 50% pour une section de canalisation donnée.

		Diamètres (mm)						
		100	300	500	800	1000	1500	2000
Rugosités au sable supposées	1.10^{-4}	117	110	107	104	102	99	97
	1.10^{-3}	84	83	82	80	80	78	77
	$1.4.10^{-3}$	79	79	78	77	76	75	74

Tableau 2: Coefficients d'écoulement de Manning Strickler calculés sur la base de rugosités au sable supposées

Afin de tenir compte des conditions réelles d'écoulement en réseau, il convient de considérer des coefficients d'écoulement de Manning Strickler compris entre 70 et 90 (correspondant à des rugosités Colebrook de 0.5mm à 1.5mm) qui correspondent aux recommandations et normes nationales, françaises et allemandes par exemple.

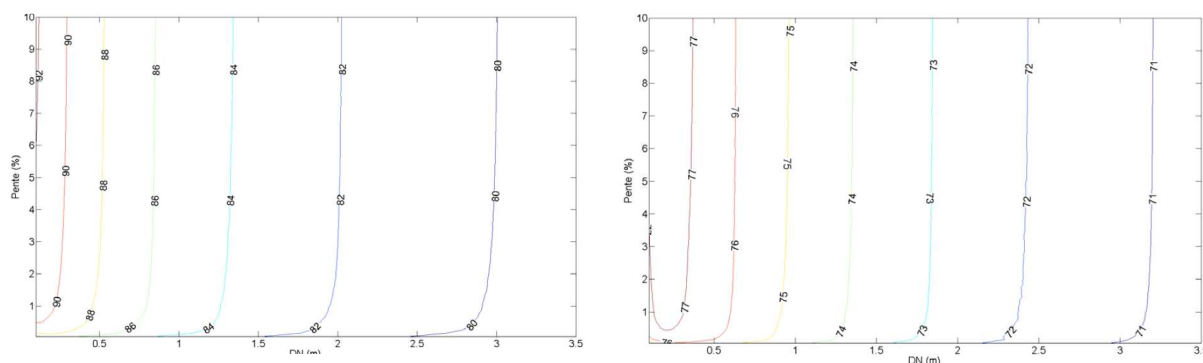


Figure 12 : Coefficient d'écoulement de Manning Strickler et rugosité Colebrook équivalentes pour $k_s=0.54\text{mm}$ et $k_s= 1.61 \text{ mm}$

4.2 Prise en compte du sulfure d'hydrogène

L'approche pathologique des conséquences de la transformation du sulfure d'hydrogène en acide sulfurique dans les systèmes d'assainissement peut conduire à concentrer l'analyse sur la seule caractérisation de la résistance à la corrosion des matériaux et composants et à négliger ou minimiser l'importance de la prise en compte de conditions représentatives des réseaux d'assainissement (conditions de production du sulfure d'hydrogène en réseau et conditions de transformation du sulfure d'hydrogène en acide sulfurique notamment) ou la nécessité d'assurer la sécurité d'exploitation ou la prévention des odeurs.

Une approche de la durabilité centrée sur la seule caractérisation de la résistance à la corrosion des matériaux et composants consisterait à se concentrer sur la tenue de ceux-ci à différentes classes d'agressivité. Par exemple pour le béton ceci conduirait à se baser sur les classes d'agressivité Xa1, XA2 et XA3 définies par le FD 18-011 [17] qui donne :

Agent agressif	Norme d'essai	Classe d'agressivité selon NF EN 206-1		
		XA1	XA2	XA3
Agressivité des gaz en milieu humide > 75 % en présence d'oxygène				
SO ₂ (mg/m ³)	NF EN 14791	≥ 0,15 et ≤ 0,5	> 0,5 et ≤ 10	> 10 et ≤ 200 ^{b)}
H ₂ S (mg/m ³)	ISO 19739	< 0,1 ^{g)}	≥ 0,1 et ≤ 10 ^{g)}	> 10 et ≤ 200 ^{b) g)}
b) Si le degré d'agressivité des solutions, des sols et des gaz présenté dans ce tableau dépasse les concentrations de la classe XA3, il est nécessaire de prévoir une protection externe (enduit, peinture) ou interne (imprégnation).				
g) Les valeurs mentionnées correspondent à des concentrations supposées homogènes. Dans le cas contraire, les limites sont ramenées à ≥ 0,1 et ≤ 5 (XA2) et > 5 et ≤ 25 (XA3), exprimées en concentration moyenne du milieu considéré.				

Tableau 3 : Définition des classes d'agressivité chimique pour les solutions, les sols et les gaz selon pr FD 18-011 (2007)

Une approche de management intégré des réseaux d'assainissement nécessite de considérer conjointement les risques de corrosion et :

- les conséquences en termes d'odeurs de la présence de H₂S ;
- la sécurité des personnels exploitants puisque la concentration moyenne de H₂S dans l'air de 10 mg/m³ faisant passer d'une classe d'exposition XA2 à XA3 est supérieure aux Valeurs Moyennes d'Exposition (VME) au H₂S de 7 mg/m³ assez proche des Valeurs Limites d'Exposition (VLE) au H₂S de 14 mg/m³. Les réseaux d'assainissement ne devraient donc être exposés qu'à des classes XA1 ou XA2 pour respecter les exigences de sécurité d'exploitation.
- la forte variabilité des paramètres chimiques et biologiques influant sur le processus de dégradation qui doit conduire à une grande prudence dans l'appréciation des valeurs caractéristiques des réseaux considérés. En outre, ceci rend difficile de mener des essais de laboratoires représentatifs des conditions réelles d'utilisation (pH, température, DCO, DBO₅, singularités hydrauliques influant sur le temps de séjour). L'interprétation de tels essais d'aptitude des matériaux à résister au H₂S est donc délicate et il convient donc toujours d'apprécier la représentativité de leur protocole.

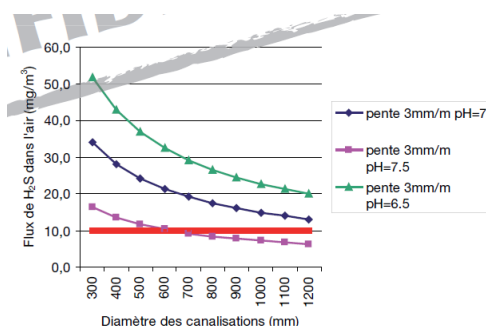


Figure 13 : Evaluation des classes d'exposition pour un réseau d'eaux usées : DBO₅=350mg/l / remplissage moyen 50% / Temps de séjour = 0.5 heure / Température = 19°C

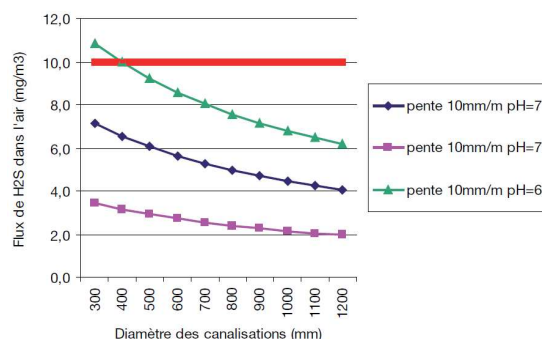


Figure 14 : Evaluation des classes d'exposition pour un réseau d'eaux : DBO₅=200mg/l / remplissage moyen 12% / Temps de séjour = 0.5 heure / Température = 19°C

Le respect de règles de conception et de bonnes pratiques (pour l'essentiel intégrées à l'IT 77284 [15]) ne saurait être négligé : pentes minimales supérieures à 3 mm/m, vitesse d'écoulement à section pleine recommandée de 0,7m/s, l'écoulement régulier des eaux usées sans blocage en assurant les conditions d'autocurage, la prévention des zones de turbulences limitées afin de ne pas favoriser l'échappement des sulfures des eaux usées vers l'atmosphère gazeuse de l'ouvrage (l'écoulement doit donc s'effectuer de préférence à travers les regards dans des cunettes et les branchements doivent se faire au niveau de l'écoulement principal sans différence de niveau), la prévention de sous-dimensionnements hydrauliques des canalisations notamment pour les temps de séjour importants demeurent les règles de bonnes pratiques.

5. Conclusion

Dans le cadre de la gestion patrimoniale des réseaux, le suivi de l'état des canalisations et l'application de modèles de dégradation peut permettre de rapprocher les performances attendues par les exploitants d'un réseau en béton de ses performances constatées ou prévisibles. L'apport essentiel de ces approches de suivi patrimonial des réseaux est de permettre d'esquisser des stratégies de maintenance ou d'entretien des réseaux se basant sur des retours constatés dans des conditions opérationnelles de fonctionnement propres aux réseaux d'assainissement.

Les canalisations en béton présentent de bonnes performances tant en ce qui concerne leur durée de vie, leurs âges médians de transition entre états de dégradation, leur pourcentage de déficience ou le pourcentage d'intervention d'urgence sur réseau.

La capitalisation et l'analyse de résultats de terrain devraient permettre de rapprocher les prévisions des modèles de dégradations existants de l'état constaté des réseaux et d'affiner la pertinence des hypothèses formulées sur l'évolution de la performance des canalisations.

6. Bibliographie

- [1] Inventaire et scénario de renouvellement du patrimoine d'infrastructures des services publics d'eau et d'assainissement – Synthèse - J-M. Berland, C. Juery – Office International de l'eau, Ministère de l'écologie et du développement durable - 2003
- [2] L'assainissement en France en 1998 et 2001 - Les dossiers IFEN N°3 – IFEN – 2006
- [3] Local Government Asset Accounting Manual - Department of Local Government – version 4 – 1999
- [4] Progress toward an asset management plan of drainage system for a local government in Western Australia – B. Greay – APWA International Public Works Congress – 2001
- [5] Deterioration, Depreciation and Serviceability of Stormwater Pipes – P.J. Combes - Stormwater Industry Association 2002 Conference on Urban Stormwater management – 2002
- [6] 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 – 2003
- [7] Les ouvrages d'assainissement non visitables – Fiches pathogénomologiques – TSM n°10 – 1999 - AGHTM
- [8] Condition assessment and rehabilitation of large Sewer – S.E McDonald, J.Q Zhao - NRC/CNRC - 2001
- [9] CareS - Multi Criteria Decision Support - R. Baur, R. Herz, I. Kropp - Care S D19 Paper – 2005
- [10] Selektive Inspektionsplanung und Prognostische Sanierungsstrategien für Abwassernetze – R. Baur – Wiener Mitteilungen (2001) Band 168 – 2001
- [11] Sanierungsbedarf und Sanierungsstrategien für Abwassernetze – R. Herz, R. Krug – TU Dresden – 2001
- [12] Optimization of Sewer Infrastructure Rehabilitation Planning – C.W MacLeod – University of Alberta – 2000
- [13] Hochrechnung des Zustands von Kanalhaltungen aus Inspektionsbefunden, dargestellt für ein Teilnetz der Stadtentwässerung Dresden – S. Hörold - TU Dresden
- [14] EN 752 : 2007 - Réseaux d'évacuation et d'assainissement à l'extérieur des bâtiments
- [15] Instruction technique relative aux réseaux d'assainissement des agglomérations – INT 77-284 – 1977
- [16] Performances hydrauliques des canalisations d'assainissement – D Grisot, F Dutruel – CERIB PT119 – 1998
- [17] prFD P 18-011 : 2007 - Béton - Environnements chimiquement agressifs - Recommandations pour la formulation des bétons