



HAL
open science

Modélisation de la survie à long terme des canalisations d'eau potable pour optimiser leur renouvellement

A. Large, Yves Le Gat, S. M. Elachachi, Eddy Renaud, D. Breysse, M.
Tomasian

► To cite this version:

A. Large, Yves Le Gat, S. M. Elachachi, Eddy Renaud, D. Breysse, et al.. Modélisation de la survie à long terme des canalisations d'eau potable pour optimiser leur renouvellement. 6ème Journée Doctorale en Hydrologie Urbaine (JDHU), Jul 2014, Villeurbanne, France. 10 p. hal-01064034

HAL Id: hal-01064034

<https://hal.science/hal-01064034>

Submitted on 15 Sep 2014

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.

Modélisation de la survie à long terme des canalisations d'eau potable pour optimiser leur renouvellement

Large A.^{1,2}, Le Gat Y.¹, Elachachi S. M.², Renaud E.¹, Breyse D.² et Tomasian M.¹

¹ IRSTEA, Unité ETBX, Equipe GPIE, 50 avenue de Verdun, 33600 Cestas, France.

² Université de Bordeaux, I2M, CNRS UMR 5295, Département GCE, 351 cours de la Libération, 33405 Talence, France.

RESUME

Dans les pays développés, l'eau potable est distribuée au domicile des usagers. Ce confort requiert un long linéaire de réseau de forte valeur patrimoniale. Pour optimiser ressources et performances, il est important d'essayer de renouveler les tronçons au meilleur moment possible. Dans ce cadre cet article présente les modèles « court terme » (1 à 3 ans) et « long terme » (> 70 ans) actuellement employés. Les processus « court terme » semblent assez efficaces, mais les méthodes « long terme » restent frustes. Cet article propose de mettre en place une approche « long terme » pour obtenir une vision globale du patrimoine de canalisations et rationaliser sa gestion. Cette approche est ensuite testée à partir des données réelles du SEDIF, le plus grand syndicat d'eau potable français. Dans un premier temps nous exposons la courbe de survie empirique passée des linéaires de réseau en fonction de leur âge à la mise hors service. Après analyse et traitement de cette courbe nous déduisons des indicateurs de réalisation tels que les futurs taux de renouvellement, et des indicateurs financiers tels que les montants futurs à investir.

MOTS CLES

Distribution, planification, remplacement, réseau, transport

INTRODUCTION

Contexte

Dans les pays développés, l'eau potable est distribuée au domicile des usagers. Ce confort implique un long linéaire de réseau (plus de 900 000 km en France en 2014) avec une valeur des ouvrages élevée (entre 120 et 170 milliards d'euros en France dont 70 % correspond aux canalisations) (Bouleau et Guérin, 2011 ; ASTEE *et. al.*, 2013).

Le renouvellement annuel d'une fraction du linéaire des canalisations est nécessaire du fait du vieillissement « naturel » de ces objets techniques, qui entraîne l'érosion progressive de leur niveau de performance. En parallèle du vieillissement, l'évolution des besoins et des contraintes (coordination avec d'autres domaines de l'ingénierie urbaine, aménagement du territoire, législation, obsolescence) peut nécessiter la pose de nouvelles canalisations. Dans une optique d'optimisation des ressources et des performances, il est essentiel de renouveler les tronçons au meilleur moment possible, évitant des travaux trop précoces ou curatifs, après défaillance.

Problématique et questions scientifiques associées

Les questions scientifiques que nous nous sommes posées sont les suivantes :

- les gestionnaires utilisent-ils des méthodes « court terme » (CT) et « long terme » (LT) pour gérer leur patrimoine de canalisations ?
- s'ils en utilisent, quels sont les atouts et les faiblesses de ces méthodes ?
- comment assure-t-on une cohérence entre les visions de CT et de LT au sein d'un même service d'eau ?
- quelle est la marge d'amélioration de ces méthodes ? Si celle-ci est importante, comment la mettre en oeuvre ?

Selon nous, le plus pertinent pour optimiser ressources et performance serait de partir d'une vision « long terme » (>70 ans, durée typique de maintien en service des tronçons) permettant de prédire le linéaire de canalisations qui doivent être renouvelées chaque année pour respecter des objectifs stratégiques en termes de performances, puis d'en déduire le besoin annuel en investissement à « moyen terme » (≈10 ans, échelle du « master plan »). Il faudrait ensuite appliquer des méthodes de « court terme » permettant d'obtenir pour l'année à venir une liste de tronçons hiérarchisés par niveau de besoin en renouvellement, en s'assurant que ces opérations permettent effectivement d'atteindre les performances visées.

L'objectif principal de notre travail est de construire une méthode « long terme » (>70 ans) permettant d'aider le gestionnaire dans le choix des réalisations (linéaire, matériaux, etc.) à effectuer, en lien avec son propre processus décisionnel « court terme » et ses objectifs à plus long terme.

Le problème est que les modèles « long terme » utilisés actuellement en gestion patrimoniale sont trop réducteurs. La plupart considère le renouvellement comme déterminé par l'atteinte d'une durée de vie fixée à dire d'expert (cf. les modèles dans NESSIE, Patrimoine Expert, Cador) (AWWA, 2010 ; Naldeo, 2013 ; Cador, 2002), or il n'est pas rare de rencontrer de vieilles canalisations (100 ans) en parfait état de fonctionnement. De fait, nul ne dispose de réelles « fonctions de survie » décrivant la détérioration effective des canalisations du fait de leur seul vieillissement : les courbes de survie que l'on peut reconstruire à partir des données observées intègrent obligatoirement les causes multiples des renouvellements (coordination, urbanisation, etc.). Sachant qu'une **fonction de survie**, dans cet article, est une fonction qui donne, pour un linéaire de réseau étudié, sa **probabilité de « survivre »** (= ne pas avoir été mis hors service) **au-delà d'un certain âge t** (cf. Figure 2).

Le premier enjeu sera d'identifier des courbes de survie des tronçons (fonction de l'âge à la mise hors service) à partir des données observées mais corrigées de l'ensemble des effets parasites. Ces courbes pourront, dans un second temps, être utilisées pour estimer à « long terme » les linéaires à renouveler chaque année et les coûts engendrés.

REVUE / SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

Les méthodes à « court terme » (< 3 ans)

La revue bibliographique et les enquêtes menées auprès des gestionnaires ont démontré que les méthodes « court terme » appliquées sont en général assez robustes. Un processus décisionnel a été mis au point par les gestionnaires qui utilisent plusieurs modèles et logiciels

permettant d'établir une liste de tronçons hiérarchisés selon le niveau d'opportunité de leur renouvellement. Ce processus peut se diviser en 5 étapes :

1. La probabilité future de défaillance est estimée pour chaque tronçon. Pour les défaillances impactant la quantité d'eau (fuite, ruptures) l'estimation est effectuée par exemple par les logiciels « Casses » ou « CARE-W-Poisson », à base d'un modèle statistico-probabiliste (Le Gat, 2013), et utilisant l'historique des défaillances, des données environnementales et des caractéristiques des tronçons (Eisenbeis et al. 2003). Pour les défaillances impactant la qualité d'eau (eaux rouges, noires, etc.) l'estimation peut être réalisée par des modèles comme Q-WARP (Liu et al., 2012).

2. Les niveaux de différents risques de dommages associés à la défaillance d'un tronçon sont calculés. C'est le cas par exemple du risque de coupure d'eau chez l'utilisateur (rupture de la continuité du service) ou du risque de perturbation du trafic dans la voie concernée, d'inondation, d'effondrement etc. Ces calculs sont effectués par des logiciels comme «CARE-W-ARP» ou «CARE-W-Relnet» à partir du croisement de la probabilité de défaillance obtenue à l'étape 1, du temps de réparation, et des caractéristiques des éléments vulnérables (usagers, véhicules, biens, etc.) : leur quantité, leur vulnérabilité et leur valeur (Le Gauffre et al., 2002).

3. Des indicateurs de coûts peuvent être calculés. A partir du niveau de risque de l'étape 2 on peut estimer le coût des dommages potentiels, ainsi que des coûts de réparation et de renouvellement des canalisations.

4. Les indicateurs de risque et/ou de coûts sont pondérés par le gestionnaire et intégrés dans un modèle décisionnel tel qu'ELECTRE TRI dans lequel il indique ses préférences (orientant ses futures solutions de compromis). En sortie, le gestionnaire obtient plusieurs groupes de tronçons classés par besoin en renouvellement croissant. Il peut établir une carte SIG colorée (du plus urgent au moins urgent) (Poinard, 2006).

5. Le gestionnaire prend enfin en compte les opportunités et les contraintes externes à son service. Elles répondent à des besoins de coordination avec d'autres services (travaux de renouvellement de la voirie, de gaz, d'électricité, d'urbanisme, etc.), ou sont induites par des éléments extérieurs, comme la sécurité incendie (p. ex. augmentation de la capacité hydraulique de conduites existantes). En croisant toutes ces informations, le gestionnaire établit la liste définitive des chantiers (groupes de tronçons adjacents) à mettre en œuvre.

Notons que ces étapes et les critères pris en compte peuvent varier sensiblement d'un service à l'autre. Pour enchaîner ces différentes étapes, il existe une grande variété de modèles et de logiciels sensiblement différents (Large, 2013 ; Large et al., 2014). Ces modèles ne sont certes pas parfaits mais les meilleurs d'entre eux sont capables de réaliser des prédictions qui sont assez voisines de ce qui est observé sur le terrain ensuite. La marge de progression dans le domaine des modèles à « court terme » est limitée. Ce ne sera pas notre objectif, mais nous avons formalisé ce processus de décision « court terme », dans une logique d'évaluation et d'interrelation avec le processus de décision « long terme » (Large, 2013).

Les méthodes à « long terme » (> 70 ans)

Notre enquête a illustré que la vision sur le « long terme » au sein des services d'eau est généralement soit inexistante soit trop simple et déconnectée du processus de décision « court terme ». Lors de la recherche bibliographique des modèles ont été recensés [Cador (Cador, 2002), Nessie (AWWA, 2010), Patrimoine Expert (Naldeo, 2013)]. Ils se résument souvent simplement à additionner une durée de vie « à dire d'expert » à la date de pose pour obtenir la date de mise hors service présumée. Cette démarche ne convainc pas les praticiens.

Elle est cependant, dans la pratique, utilisée par l'un des services partenaires de nos travaux pour estimer les linéaires à renouveler : à partir de durées de vie fixées « à dire d'expert » pour 5 matériaux, il estime ses besoins annuels futurs en renouvellement. Cette méthode fait l'hypothèse que les canalisations doivent être remplacées à âge fixe, ce qui est non pertinent : en fonction des contraintes que subit une canalisation, certaines très âgées peuvent être en bon état et d'autres très jeunes en mauvais état. De plus aucun lien n'est fait entre cette valeur « à dire d'expert » et le processus décisionnel opérationnel de « court terme » (coordination, risques, etc.), dont résulte effectivement l'âge à la mise hors service.

Un modèle prometteur est celui utilisé par Kanew (Herz, 2002 ; Kropp, 2013) et PiREM (Fuchs et al., 2008). Il suppose que les canalisations ne sont pas renouvelées à âge fixe mais selon une distribution statistique (survie) de l'âge à la mise hors service par cohorte¹. Néanmoins ces modèles allemand et autrichien ne sont, à notre connaissance, utilisés par aucun service d'eau en France. La faiblesse majeure de ce modèle est que les courbes de survie des tronçons (fonction de l'âge à la mise hors service) ne sont pas identifiées à partir des données du service d'eau, mais, elles aussi, établies a priori, à « dire d'expert ». La question de la représentativité et de la pertinence de ces courbes de survie par rapport aux données du service, à son processus de décision « court terme » passé, et à ses objectifs futurs demeure entière.

METHODOLOGIE

Préliminaire

Nous avons tout d'abord synthétisé la bibliographie se rapportant à ce sujet (Large, 2013), puis afin de documenter de manière précise les modèles, les méthodes et les pratiques, nous avons mené des entretiens avec les professionnels de trois grands services d'eau européens : le Syndicat des Eaux d'Ile de France (SEDIF), la communauté urbaine de Lyon (Grand Lyon) et le Service des Eaux de Lausanne (eauservice) dont les linéaires respectifs sont de 8 300 km, 3 900 km et 900 km. Nous avons ensuite collecté leurs données concernant les tronçons, les défaillances et l'environnement du réseau.

Afin de pallier les faiblesses des méthodes « long terme » et leur manque de cohérence avec les méthodes « court terme », en nous appuyant sur les données réelles des trois partenaires, nous avons travaillé en 3 étapes. Dans un premier temps, nous avons reconstruit la courbe de survie passée des linéaires de canalisation en fonction de leur âge. Cette courbe est issue de la somme des différents processus court terme passés. Puis nous avons choisi d'appliquer la stratégie « **same as in the past** » à l'avenir. Cette stratégie considère que, par le passé, les âges à la mise hors service ont été bien choisis et consiste à reproduire les mêmes distributions (courbe de survie) pour les décisions à venir. Nous simulons ensuite les conséquences de cette stratégie sur les réalisations induites (linéaire, taux de renouvellement futurs) et les moyens pour la mettre en œuvre (coût d'investissement).

Mise en œuvre concrète de la démarche

Concrètement il faut d'abord estimer les **courbes de survie « brutes »** $S_b(t)$ des tronçons hors service (état des lieux au 31/12/2012) sur la fenêtre d'observation (ici 1995-2012). Les tronçons sont indexés i . Chaque tronçon a une longueur L_i et un âge à la mise hors

¹ groupe de tronçons posé la même année.

service b_i . Les tronçons peuvent être censurés ($c_i=1$) c'est-à-dire que la date de mise hors service de ce tronçon n'est pas dans la période d'observation, ou non-censurés ($c_i=0$) c'est-à-dire que leur date de mise hors service est dans la fenêtre d'observation. Posons $I\{\dots\}$ la fonction indicatrice qui prend la valeur 1 si les conditions entre accolades sont respectées et 0 sinon. On estime d'abord la distribution $D(t)$ puis la fonction de répartition brute $F(t)$ et enfin la survie brute $Sb(t)$.

$$D(t) = \sum_i (L_i \times I\{c_i = 0 \ \& \ b_i = t\}) / \sum_i (L_i \times I\{c_i = 0\}) \quad \text{Eq. 1}$$

$$Sb(t) = 1 - F(t) = 1 - \sum_{k \leq t} D(k) \quad \text{Eq. 2}$$

Dans les données archivées, les dates de mise hors service ne sont disponibles sous une forme réellement exploitable que sur une fenêtre d'observation assez récente (souvent depuis le milieu des années 90 ou le début des années 2000). Les âges à la mise hors service sont donc tronqués à gauche, les canalisations mises hors service avant la période d'observation étant ignorées. La courbe « brute » de survie est donc biaisée, elle ne prend en compte ni la troncature à gauche, ni la censure à droite (on ne sait pas quand seront mises hors service les canalisations qui sont encore en service à la fin de la période d'observation). La méthode de Turnbull (Turnbull, 1976 ; Le Gat et al., 2013) est employée pour corriger ces biais d'échantillonnage et établir la **courbe de survie « empirique »** $Se(t)$ débiaisée.

Comme l'explique (Malm et al., 2012) cette courbe « empirique » n'est pas seulement représentative de l'évolution physique du patrimoine (« vieillissement ») mais elle résulte aussi, de manière complexe, des décisions passées (coordination avec la voirie ou non, aversion plus ou moins grande aux conséquences des défaillances...), qu'il est impossible de reconstituer finement. Si le gestionnaire applique à l'avenir la stratégie « **same as in the past** » (*i.e.* rien ne change ni dans les objectifs, ni dans les mécanismes impliqués, ni dans les pratiques de gestion), on peut cependant utiliser cette courbe de survie pour calculer les taux de renouvellement à venir.

La démarche suit une procédure itérative pour reconstituer les linéaires posés dans le passé à partir des linéaires observés aujourd'hui. Posons $C\theta$, l'ensemble des tronçons (cohorte) posés la même année (θ). Au début du processus itératif, l'année de pose (θ) varie de 1851 à 2012 (cf. Figure 1 à gauche). Pour chaque année N , chaque cohorte est caractérisée par une longueur en service : $LES_{C\theta}(N)$ et un âge : $t_{C\theta}(N)$. La survie de la cohorte $C\theta$, dépend de son âge à l'année N : $S[t_{C\theta}(N)]$.

On souhaite prédire la longueur de la nouvelle cohorte en 2013. On calcule alors pour la cohorte la longueur en service.

$$LES_{C\theta}(2013) = LES_{C\theta}(2012) \times \frac{S[t_{C\theta}(2013)]}{S[t_{C\theta}(2012)]} \quad \text{Eq. 3}$$

Puisque l'on souhaite conserver un linéaire en service constant, on calcule alors la longueur de canalisations à poser et le taux de renouvellement (TR) de cette nouvelle année.

$$LES_{C2013}(2013) = \sum_{\theta=1851}^{2012} [LES_{C\theta}(2012) - LES_{C\theta}(2013)] \quad \text{Eq. 4}$$

$$TR(2013) = LES_{C2013}(2013) / \sum_{\theta=1851}^{2012} LES_{C\theta}(2012) \quad \text{Eq. 5}$$

θ varie maintenant de 1851 à 2013. On itère cette méthode année par année pour établir des prévisions jusqu'à l'échéance future souhaitée.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats suivants correspondent au SEDIF ayant environ 8 300 km de réseau (de transport et de distribution) en service fin 2012 (Figure 1 à gauche). Des informations sur environ 610 km hors service ont été archivées correctement depuis 1995 (Figure 1 à droite). La fenêtre fiable d'observation de cette information est donc de 18 ans [1995, 2012]. Les dates de mise hors service sont censurées après 2012 et tronquées avant 1995.

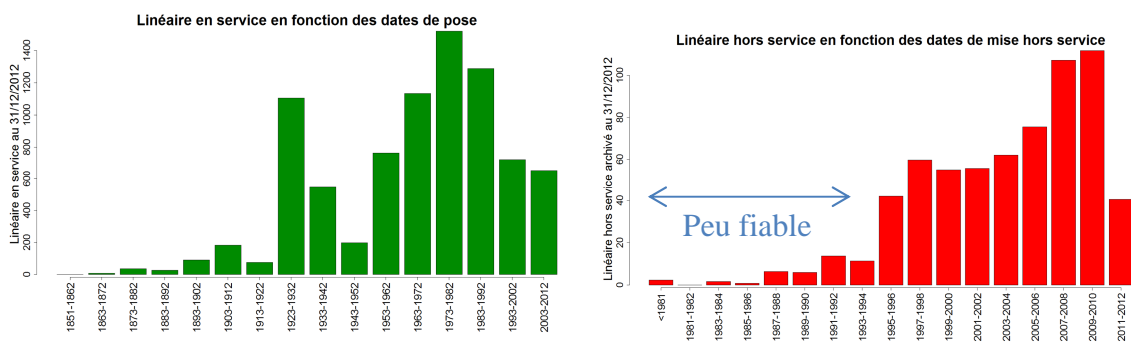


Figure 1. Gauche : Le linéaire (km) en service fin 2012 au SEDIF par décennie de la date de pose
Droite : Le linéaire (km) hors service archivé fin 2012 au SEDIF tous les 2 ans par date de mise hors service.

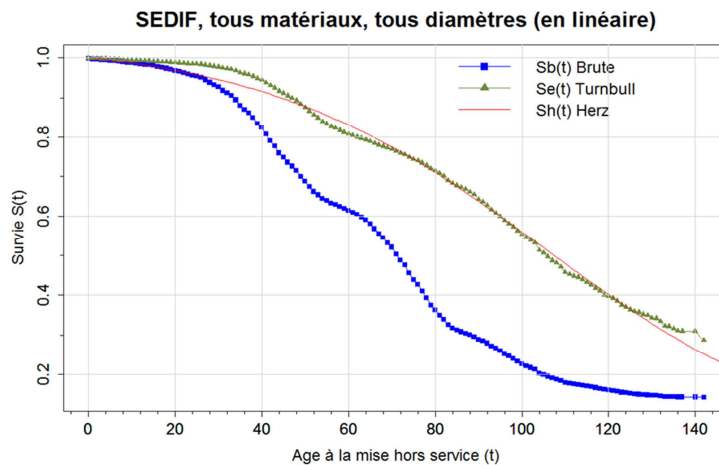


Figure 2. $S(t)$ = Probabilité pour un mètre linéaire de tronçon de ne pas avoir été mis hors service au-delà d'un âge t , tous matériaux confondus, réseau de transport et de distribution du SEDIF.

La courbe empirique (Turnbull) (cf. Figure 2) de survie des linéaires des canalisations est décalée de la courbe brute vers la droite. Ce phénomène s'explique par la censure. On constate que, pour l'ensemble des informations résultant du passé, un mètre de tronçon a une probabilité égale à 0,5 de survivre au moins **105 ans** (cf. Figure 2 et Tableau 1).

Nous avons ajusté sur la courbe de survie empirique du SEDIF une fonction analytique de « survie de Herz » (Herz, 2002) $[Sh(t)]$ par la méthode des moindres carrés (cf. Eq. 6).

$$Sh(t) = (\alpha + 1) / (\alpha + e^{\beta \times t}) = 26 / (25 + e^{0,031 \times t}) \quad \text{Eq. 6}$$

C'est cette fonction (cf. courbe rouge Figure 2) qui permet d'estimer les besoins en renouvellement futurs, si la stratégie « *same as in the past* » est appliquée (cf. Eq. 3 à 5).

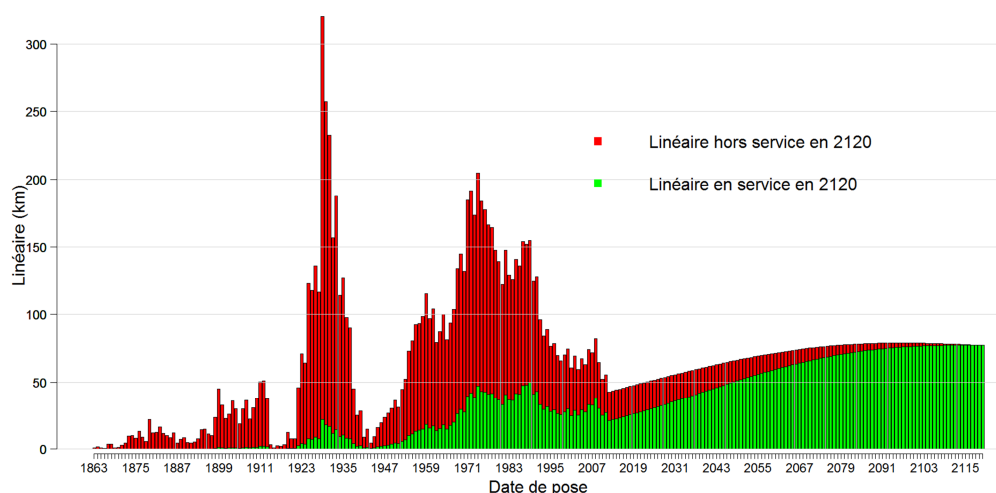


Figure 3. Reconstitution du linéaire passé et prévision des besoins (en linéaire) futurs jusqu'en 2120, photographie de la situation en 2120, réseau de transport et de distribution.

Le point de démarrage de nos simulations est le 1^{er} janvier 2013. Pour les simulations budgétaires, nous faisons l'hypothèse que le renouvellement d'un mètre de canalisation coûte 530 €². Suite à l'analyse de (Hardelin et Marical, 2011) sur les valeurs du taux d'actualisation (r), nous avons choisi d'effectuer trois simulations budgétaires : une avec taux d'actualisation nul, une autre avec le taux fixé par le « commissariat général du Plan » (Lebègue, 2005) soit 4% de 2013 à 2043 puis décroissant après 2043 (asymptote à 2%) et la dernière avec un taux fixe de 1%.

Avec ce scénario « *same as in the past* », le taux de renouvellement annuel futur du SEDIF reste dans une fourchette étroite assez stable entre 0,5% et 1% (cf. Figure 4 à gauche). Les résultats sont légèrement supérieurs aux taux de renouvellement appliqués par le SEDIF dans le passé proche, qui était en moyenne entre 2005 et 2012 de 0,44% avec un pic en 2009 à 0,8%. Ces taux sont proches des objectifs du SEDIF qui souhaite effectuer 1% de renouvellement annuel à partir de 2015. Pour les conséquences budgétaires, un taux

² Ce coût correspond à : 500€ (comprenant maîtrise d'œuvre et études connexes pour un diamètre 100 mm en fonte) + 6% (prise en compte de la diversité des diamètres au SEDIF).

d'actualisation même faible a un très fort impact financier sur du « long terme ». Par conséquent, le scénario avec taux d'actualisation nul, nous semble, ici, le plus adapté. Ce scénario indique un pic budgétaire en 2096 à 41,8 millions d'euros en investissement pour renouveler les canalisations du réseau principal (hors branchement) (cf. Figure 4 à droite courbe noire). Ce montant est à comparer aux investissements du SEDIF (sous maîtrise d'ouvrage publique uniquement) dans ce domaine en 2012 qui s'élevaient à 19,6 millions d'euros (SEDIF, 2012).

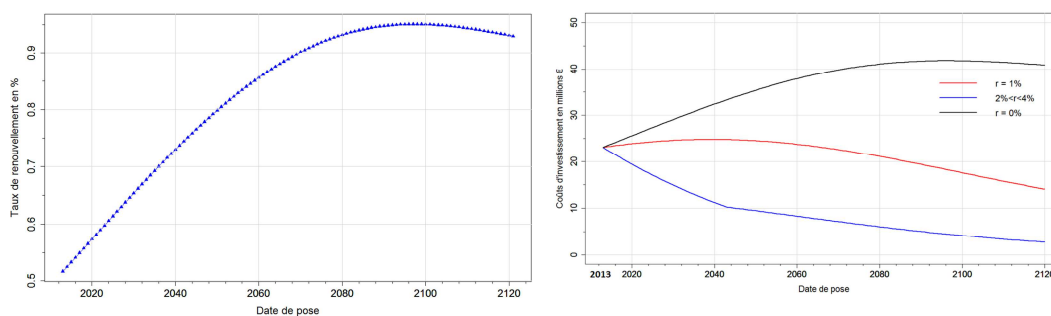


Figure 4. A gauche : Prédiction des taux de renouvellement futurs de 2013 jusqu'en 2120 au SEDIF. A droite : Prédiction des budgets nécessaires pour le renouvellement entre 2013 et 2120 avec 3 taux d'actualisation différents, réseau de transport et de distribution

La courbe empirique corrigé $Se(t)$ de survie du réseau du SEDIF doit être mise en perspective avec celles obtenues sur deux autres services d'eau (Grand Lyon et eauservice Lausanne) (cf. Tableau 1). Les résultats illustrent clairement que la survie passée des canalisations dépend fortement des pratiques de gestion. Par exemple eauservice Lausanne a un fort taux de renouvellement (1,3% en moyenne) de ses canalisations ce qui a induit un âge moyen à la mise hors service deux fois plus faible que celui du SEDIF.

Tableau 1. Quartile de la survie empirique passé $Se(t)$ des linéaires de canalisations (transport et distribution) du SEDIF, du Grand Lyon et d'eauservice Lausanne, tous diamètres et tous matériaux confondus.

S(t)	Age à la mise hors service (ans)		
	SEDIF	Gd Lyon	Lausanne
0,75	74	50	43
0,5	105	66	53
0,25	145	88	65

Il est clair que les pratiques de gestion « court terme » pèse énormément sur la courbe de survie passé. Or en général les gestionnaires dans les grands services d'eau ont des processus décisionnels très différents sur le réseau de transport (diamètre > à 300 mm) et le réseau de distribution (diamètre ≤ à 300 mm hors branchement)³. Il serait donc pertinent de construire des courbes de survie en stratifiant par diamètre afin de visualiser si elles sont significativement différentes. De même il faudrait stratifier par famille de matériau ou par localisation. C'est une étape ultérieure que nous réaliserons.

³ Ces définitions du réseau de transport et du réseau de distribution sont celles du SEDIF.
pp. 73 à 82 sur 211

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Après un grand travail de consolidation des données et d'analyse des pratiques, la mise en œuvre d'une méthode d'estimation de « long terme » reposant sur l'exploitation de courbes de survie résultant des données observées a permis d'obtenir de premiers résultats prometteurs. Nous devons maintenant simuler les effets de cette stratégie sur l'évolution future d'autres indicateurs de performance, permettant aux gestionnaires de juger si cette stratégie est cohérente avec leurs objectifs. Par exemple nous pourrions calculer des indicateurs de coûts de maintenance prévus, des indicateurs du nombre de défaillances prévues etc. De plus nous pouvons stratifier l'ensemble des tronçons selon des variables pertinentes regroupés en classe comme le type de matériau, le diamètre ou la longueur. Cette méthode nous permet d'obtenir des courbes de survie par strate, puis d'effectuer des calculs sur les indicateurs (linéaire, coûts, etc.) de manière plus fine.

Il est à mettre en avant que cette démarche est très reproductible, nous pouvons l'appliquer sans problème sur des réseaux plus modeste. Nous l'avons notamment appliqué sur le réseau d'eau de la ville de Lausanne en suisse (900 km).

Une autre piste sera de nous écarter de la stratégie « **same as in the past** » en recherchant des stratégies optimales. Ce travail devra se faire en deux étapes. Dans un premier temps, à partir d'une analyse fine des processus opérationnels de décision « court terme », nous étudierons comment les diverses causes de mise hors service des tronçons contribuent à la construction des courbes de survie observées. Les courbes de survie brutes seront donc doublement corrigées, d'abord pour tenir compte des censures et troncatures, ensuite pour en extraire les effets des décisions prises lors de la programmation des travaux. Nous pourrions alors, dans un second temps reconstruire de nouvelles courbes de survie opérationnelles, qui intégreront de manière explicite les éléments essentiels qui président au processus de décision (par exemple le pourcentage des travaux pilotés par le vieillissement vs le pourcentage piloté par le renouvellement de la voirie). Nous pourrions alors estimer comment des stratégies différentes (par exemple profiter plus largement des opportunités de travaux) modifient les performances de « long terme ».

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier le SEDIF, le Grand Lyon, eauservice Lausanne, le FOWA (Forschungsfonds Wasser) et l'agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse pour l'aide technique et financière qu'ils nous apportent dans ce programme de recherche.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTEE, ONEMA, AITF et MEDDE. (2013). *Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable. Elaboration du descriptif détaillé des ouvrages de transport et de distribution d'eau, coordonné par S. Charrière*. 52 p.

AWWA. (2010). *Buried no longer: confronting america's water infrastructure challenge*. American Water Works Association (AWWA), 16 p.

Bouleau G., Guerin-Schneider L. (2011). *Des tuyaux et des hommes*. Paris (France) : Editions Quae, 200 p. ISBN : 978-2-7592-1674-1.

Cador J. (2002). *Le renouvellement du patrimoine en canalisations d'eau potable en France. Rapport technique*. Université de Caen, 18p.

- Eisenbeis P., Laffrechine K., Le Gauffre P., Le Gat Y., Røstum J., Tuhovčák L., Valkovič P. (2003). *CARE-W : WP2 Description and validation of technical tools, tests and validation of technical tools, rapport de recherche n° 2.2*. Cemagref, INSA, NTNU, Brno University, 58 p.
- Fuchs-Hanusch D., Gangl G., Kornberger B., Kölbl J., Hofrichter J., Kainz, H. (2008). PiReM, Pipe rehabilitation management developing a decision support system for rehabilitation planning of water mains. *Water Practice and Technology*, vol. 3, 9 p.
- Hardelin J., Marical, F. (2011). *Taux d'actualisation et politiques environnementales : un point sur le débat*. Commissariat général au développement durable (CGDD), 2011, 18 p.
- Herz R. (2002). Developing rehab strategies for drinking water networks. *Proceedings of the 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components-DBMC*, Dresden, Germany, 2002, 11 p.
- Kropp I. (2013). *Kanew software, version 4, manual*. 3SConsult GmbH Inc., Dresden, Germany, 76 p.
- Large A. (2013). *Optimisation du renouvellement des canalisations*. Rapport de première année de thèse : revue bibliographique et cadre méthodologique. IRSTEA et Université de Bordeaux, 2013, 109 p.
- Large A., Le Gat Y., Elachachi S. M., Renaud E., Breysse D. (2014). Decision support tools: Review of risk models in drinking water network asset management. *Proceedings of the 2nd International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management - ICVRAM, and the 6th International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis- ISUMA*, Liverpool, 13-16 July, édition en cours.
- Le Gat Y. (2013). Extending the Yule Process to model recurrent pipe failures in water supply networks. *Urban Water Journal*, published online, 15 p.
- Le Gat Y., Kropp I., Poulton M. (2013). Is the service life of water distribution pipelines linked to their failure rate? *Water Science & Technology: Water Supply*, vol.13.2, 386-393.
- Le Gauffre P., Laffrechine K., Baur R., Di Federico V., Eisenbeis P., Koning A., Kowalski M., Saegrov S., Torterotot J. P., Tuhovcak L. et Wery, C. (2002). *CARE-W : WP3 Decision Support for Annual Rehabilitation Programmes, D6 Criteria for the prioritisation of rehabilitation projects, rapport de recherche n° 3.1*. EU project under the 5th Framework Program, contract n°EVK1-CT-2000-00053., INSA-URGC, 72 p.
- Lebègue D. (2005). *Révision du taux d'actualisation des investissements publics*. Rapport du groupe d'experts présidé par Daniel Lebègue. Commissariat général du Plan, 112 p.
- Liu Z., Kleiner Y., Rajani B., Wang L., Condit W. (2012). *Condition assessment technologies for water transmission and distribution systems*. United States Environmental Protection Agency (EPA) Edition, 108 p. EPA/600/R-12/017
- Malm A., Ljunggren O., Bergstedt O., Pettersson T. J. R., Morrison G. M. (2012). Replacement predictions for drinking water networks through historical data. *Water research*, vol. 46, 2149-2158.
- Naldeo. (2013). *Patrimoine expert, outil de simulation du vieillissement du patrimoine canalisations AEP, Manuel de l'utilisateur, Version 3.4*. Naldeo Inc. 25 p.
- Poinard D. (2006). *Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable*. Thèse de doctorat en Génie Civil. Lyon : Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, 243 p.
- SEDIF. (2012). Programme d'investissement 2013. Syndicat des eaux d'île de France, 174 p.
- Turnbull B. W. (1976). The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data. *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 3, 290-295.