



HAL
open science

Optimisation du renouvellement des canalisations d'eau potable: méthodes à " long terme " et à " court terme "

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

► To cite this version:

A. Large, Yves Le Gat, S. M. Elachachi, Eddy Renaud, D. Breysse. Optimisation du renouvellement des canalisations d'eau potable: méthodes à " long terme " et à " court terme ". 32èmes Rencontres de l'Association Universitaires de Génie Civil (AUGC), Jun 2014, Orléans, France. 11 p. hal-01061873

HAL Id: hal-01061873

<https://hal.science/hal-01061873>

Submitted on 8 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.

Optimisation du renouvellement des canalisations d'eau potable : méthodes à « long terme » et à « court terme »

**LARGE Aurore^{1,2}, LE GAT Yves¹, ELACHACHI Sidi
Mohammed², RENAUD Eddy¹ et BREYSSE Denys²**

¹ *Equipe Netwater, IRSTEA - 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas -
aurore.large@irstea.fr*

² *Université de Bordeaux, Département Génie Civil Environnemental (GCE),
I2M, CNRS UMR 5295 - 351 cours de la Libération, 33405 Talence -
sm.elachachi@i2m.u-bordeaux1.fr*

RÉSUMÉ. 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 » sont décevantes. Cet article propose de mettre en place une approche « long terme » pour obtenir une vision globale du patrimoine de canalisations et rationaliser sa gestion.

ABSTRACT. In developed countries, drinking water is distributed to user's home. This comfort implies a long linear of pipes with a high value. To optimize resources and performance, it is then important to try to renew segment of pipes at the best possible time. In this context this article presents "short term" (1-3 years) and "long term" (> 70 years) models currently used. Short-term processes are quite robust, however long-term methods are very rough. This paper proposes a long-term approach whose objective is to provide an overview of the network and improve its future management.

MOTS-CLÉS : réseau, eau potable, renouvellement, long terme, court terme, survie

KEYWORDS: network, drinking water, renewal, long term, short term, survival

1. Contexte et méthode générale

1.1. 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) [BOU 11] et [CHA 13].

Le renouvellement annuel d'une fraction du linéaire des canalisations est nécessaire à cause 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, urbanisation, législation) peut nécessiter la pose de nouvelles canalisations ou rendre obsolètes certains tronçons.

Dans une optique d'optimisation des ressources et des performances, il est alors important de mieux formaliser les exigences et les contraintes, et de mieux apprécier la détérioration des performances pour renouveler les tronçons au meilleur moment possible (ni trop tôt, ni trop tard).

1.2. Problématique

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 les visions de CT et de le LT sont-elles connectées entre elles au sein d'un même service d'eau ?
- quelle est notre marge d'amélioration de ces méthodes ? Si la marge d'amélioration de ces méthodes est importante, comment les améliorer ?

1.3. Méthodes et approches

Pour répondre à ces questions nous avons tout d'abord synthétisé la bibliographie se rapportant à ce sujet [LAR 13, LAR 14]. Puis afin de documenter de manière précise les modèles, les méthodes et les pratiques, nous avons interviewé en face à face 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) avec respectivement 8 300 km, 3 900 km et 900 km de réseau d'eau potable.

Selon nous, une stratégie de gestion globale pertinente consiste à partir d'une vision « **long terme** » (LT) (> 70 ans, durée typique de maintien en service des tronçons) permettant de déterminer le linéaire de canalisations devant être renouvelées chaque année, puis d'en déduire le besoin annuel en investissement à « **moyen terme** » (MT) (≈ 10 ans, échelle budgétaire). Il faudrait ensuite appliquer des méthodes de « **court terme** » (CT) (1 à 3 ans, durée du programme de travaux)

permettant d'obtenir pour l'année à venir une liste de tronçons hiérarchisés par niveau de besoin en renouvellement. Enfin des tronçons seraient sélectionnés dans le haut de cette liste de façon à allouer de manière optimale le budget annuel du « master plan ». Ce changement progressif d'échelle (et d'horizon de gestion) doit s'accompagner d'une prise en compte d'objectifs et de moyens qui changent, du domaine stratégique/politique sur le « **long terme** », vers le domaine de la gestion opérationnelle à « **court terme** », tout en assurant une cohérence entre les échelles.

2. Résultats et discussion

2.1. Les méthodes à court terme (1 à 3 ans)

2.1.1. Etat de l'art

Notre enquête a 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 logiciels et établissent une liste de tronçons hiérarchisés selon le niveau d'opportunité en renouvellement. Ce processus peut se diviser en 5 étapes (il est récapitulé à la Figure 1) :

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 le logiciel « Casses » ou « CARE-W-Poisson », via un modèle statistico-probabiliste [LEG 13a], à partir de l'historique des défaillances, des données environnementales et des caractéristiques des tronçons [EIS 03]. Pour les défaillances impactant la **qualité** d'eau (eaux rouges, noires, etc.) l'estimation peut être réalisée par des modèles comme Q-WARP [LIU 12].
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**) 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 [LEG 02].
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). A la sortie, le gestionnaire a plusieurs groupes de tronçons classés par besoins en renouvellement croissant. Il peut établir une carte SIG colorée (du plus urgent au moins urgent) [POI 06].

5. Le gestionnaire prend en compte les opportunités et les contraintes externes à son service. Elles répondent à des besoins de **coordination** avec d'autres services (travaux de voiries, de gaz, d'électricité, d'urbanisme, etc.), ou sont induites par des éléments extérieurs, comme le développement de l'urbanisation (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.

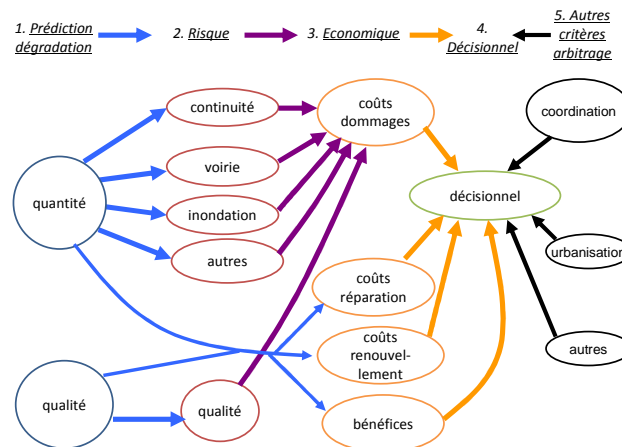


Figure 1. Les étapes de la décision de la mise hors service de tronçons d'un réseau d'eau potable sur du court terme.

Notons que ces étapes et les critères pris en compte peuvent varier sensiblement d'un service à l'autre. Les risques et les poids associés ne sont pas forcément les mêmes d'un service d'eau à l'autre. Par exemple la communauté urbaine du Grand Lyon gère un territoire avec des cavités souterraines (balmes) qui, avec l'apport d'eau, peuvent provoquer des effondrements de terrains et de maisons. Par conséquent le risque effondrement a un poids important sur le Grand Lyon alors qu'il est nul pour le service des eaux de Lausanne. Autre exemple, tous introduisent dans leur décision le budget disponible mais le service des eaux de Lausanne est le seul à prendre en compte un indicateur de coût dans sa décision (le coût de la réparation).

2.1.2. Conclusions

Pour enchaîner ces différentes étapes, une grande variété de modèles et de logiciels sensiblement différents [LAR 13, LAR 14] existent. Ces modèles ne sont certes pas parfaits mais les meilleurs d'entre eux sont capables de réaliser des prédictions qui sont assez voisine de ce qui est observé sur le terrain. La marge de progression dans le domaine des modèles statistiques à « **court terme** » est limitée. Ce ne sera pas notre objectif, mais nous porterons nos efforts sur la formalisation du processus de décision, dans une logique d'évaluation et d'arbitrage multi-critères.

2.2. Les méthodes à long terme (> 70 ans)

2.2.1. Etat de l'art

Notre enquête a illustré que la vision sur le **LT** au sein des services d'eau est généralement soit inexistante soit trop simple et déconnectée du processus de décision **CT**. Lors de la recherche bibliographique des modèles ont été recensés (Cador [CAD 02], Nessie [AWW 10], Patrimoine Expert [NAL 13]). Ils se résument souvent à faire une simple addition, de la date de pose plus une **durée de vie** « à **dire d'expert** » pour avoir la date de mise hors service présumée. Cette démarche ne convainc pas les praticiens. Elle est cependant appliquée par l'un des services partenaires pour estimer les linéaires à renouveler. A partir de durées de vie fixées « à dire d'expert » pour 5 matériaux, il estime les besoins futurs en renouvellement année par année. Cette méthode fait l'hypothèse que les canalisations doivent être changées 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 [HER 02, KRO 13] et PiREM [FUC 08]. En effet, 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 strate¹. Néanmoins ces modèles allemand et autrichien ne sont, à notre connaissance, utilisés par aucun service d'eau en France. La faiblesse majeure du modèle est que les courbes de survie des tronçons (fonction de l'âge à la mise hors service) ne sont pas calés sur les données du service d'eau mais, elles aussi, établies a priori, à « dire d'expert ». Que valent ces courbes de survie par rapport aux données du service, à son processus de décision CT passé, et à ses objectifs futurs ?

2.2.2. Méthodologie pour améliorer les modèles LT

Afin de pallier les faiblesses des méthodes LT et leur manque de cohérence avec les méthodes CT, en nous appuyant sur les données réelles des trois partenaires (SEDIF, Grand Lyon et eauservice Lausanne), nous allons conjointement modéliser les stratégies et identifier les courbes de survie (fonction de l'âge à la mise hors service). Nous analyserons l'impact de cette stratégie sur les réalisations et les résultats du gestionnaire. Nous comparerons ensuite les résultats aux objectifs que s'est fixé ce dernier (par exemple maintenir ou atteindre un niveau de performance cible sur un ensemble particulier de critères).

Prenons l'exemple d'une stratégie particulière, le **statu quo**. Cette stratégie considère que, par le passé, les âges à la mise hors service ont été bien choisis et

¹ State : groupes de tronçons de même matériau et/ou de même famille de diamètre. Un tronçon en service doit appartenir à une seule strate. La somme des tronçons de toutes les strates donnent tous les tronçons du réseau.

consiste à les appliquer à l'avenir. Nous simulerons cette stratégie et estimerons à la fois les moyens pour la mettre en œuvre (coût d'investissement...) et l'évolution des performances (nombre de casses, indicateurs de qualité...).

2.2.3. Mise en œuvre concrète de la démarche

Concrètement il faut d'abord estimer les **courbes de survie « brutes »** $Sb(t)$ des tronçons hors service (état des lieux au 31/12/2012) sur la fenêtre d'observation (ici 2001-2012). Les tronçons sont indexés i . Chaque tronçon a une longueur L_i et un âge à la mise hors 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 encore en service en fin de période d'observation). Il convient donc d'estimer par la méthode de Turnbull [TUR 76, LEG 13b], la courbe de survie « **empirique** » $Se(t)$ (dé-biaisée) de ces tronçons.

Comme l'explique [MAL 12] 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 risques de dommages, etc.), qu'il est impossible de reconstituer finement. Si le gestionnaire applique à l'avenir la stratégie de statu quo (i.e. rien ne change ni dans les objectifs, ni dans les mécanismes impliqués, ni dans les pratiques de gestion), on peut 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 (cohorte²) posés la même année (θ). Au début du processus itératif, l'année de pose (θ) varie de 1872 à 2012 (cf. Figure 2 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.

$$LES_{C2013}(2013) = \sum_{\theta=1872}^{2012} [LES_{C\theta}(2012) - LES_{C\theta}(2013)] \quad \text{Eq. 4}$$

$$TR(2013) = LES_{C2013}(2013) / \sum_{\theta=1872}^{2012} LES_{C\theta}(2012) \quad \text{Eq. 5}$$

θ varie maintenant de 1872 à 2013. On itère cette méthode année par année pour établir des prévisions jusqu'à l'échéance future souhaitée.

2.2.4. Premiers résultats et discussion

Les résultats suivants correspondent à Lausanne ayant environ 900 km de réseau en service fin 2012 (Figure 2 à gauche). Des informations sur environ 150 km hors service ont été archivées correctement depuis 2001 (Figure 2 à droite). La fenêtre d'observation de cette information est donc de 12 ans [2001, 2012]. Les dates de mise hors service (DHS) sont censurées après 2012 et tronquées avant 2001.

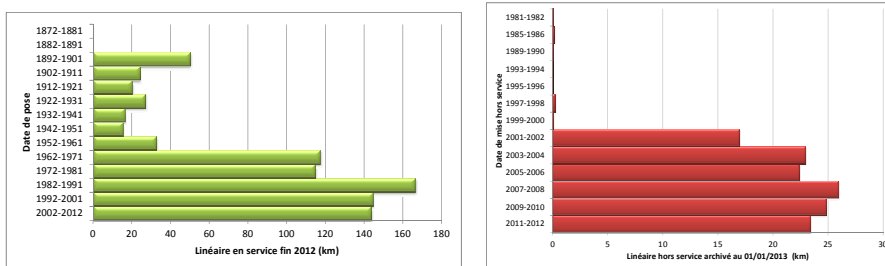


Figure 2. Gauche : Le linéaire en service fin 2012 à Lausanne par décennie de la date de pose. Droite : Le linéaire hors service archivé fin 2012 à Lausanne tous les 2 ans de la date de mise hors service.

² Cohorte : groupe de tronçons posé la même année.

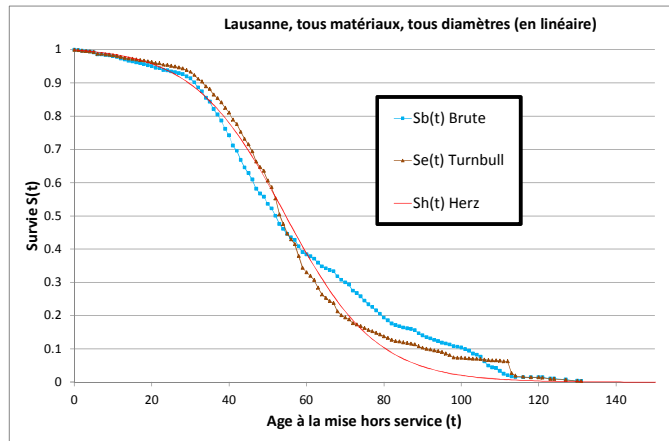


Figure 3. Probabilité pour un mètre linéaire de tronçon de ne pas être mis hors service à un âge supérieur à t (survie) à Lausanne, tous matériaux confondus

La courbe empirique (Turnbull) (cf. Figure 3) de survie des tronçons est décalée de la courbe brute vers la droite avant 60 ans. Ce phénomène s'explique par la censure des DHS. De même le décalage dans l'autre sens après 60 ans s'explique par la troncature des DHS. On constate que, pour l'ensemble des informations résultant du passé, un mètre de tronçon a une probabilité égale à 0.5 d'être mis hors service à un âge supérieur à 53 ans.

Nous avons ajusté sur la survie empirique une fonction analytique de « **survie de Herz** » [HER 02] par la méthode des moindres carrés.

$$Sh(t) = \frac{(a+1)}{(a + e^{b \times t})} = \frac{102}{(101 + e^{0.008 \times t})} \quad \text{Eq. 6}$$

C'est cette fonction qui permet d'estimer les besoins en renouvellement futurs, si la stratégie statu quo est appliquée (cf. Eq. 3 à 5).

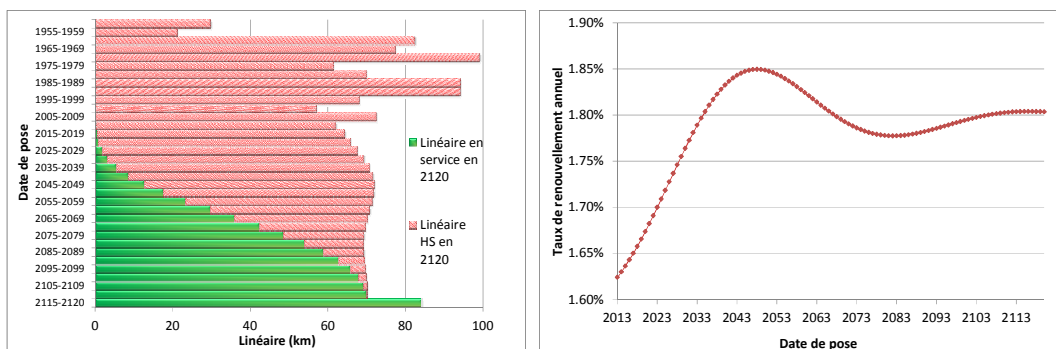


Figure 4 Reconstitution du linéaire passé et prévision des besoins (linéaire, taux de renouvellement) futur jusqu'en 2120 par pas de temps de 5 ans

On constate qu'avec cette méthode le taux de renouvellement annuel reste dans une fourchette étroite assez stable entre 1,6% et 1,85%. Les résultats sont cohérents avec les taux de renouvellement appliqués par eauservice Lausanne dans le passé : 1,9% en 2008, 1,6% en 2011 et 1,1% en 2012.

3. Conclusion et perspectives

Après un gros 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 d'investissement ou de coûts de maintenance prévus, des indicateurs du nombre de défaillances prévues etc.

Une autre piste sera de nous placer non pas dans une stratégie de simulation d'une solution (stratégie de gestion) mais de rechercher des stratégies optimales, en nous écartant entre autres de la stratégie de statu quo. Ce travail devra se faire en deux étapes. Dans un premier temps, à partir d'une analyse fine des processus opérationnels de décision (cf. Figure 1), nous étudierons comment les diverses causes de mise hors service des tronçons contribuent à la construction des courbes de survie observées. Nous pourrions créer des courbes de survie par strate³ de même matériau et/ou diamètre afin de déterminer si cela apporte un gain notable à l'analyse. Puis nous verrons comment des stratégies différentes (par exemple profiter plus largement des opportunités de travaux) modifient les performances de « **long terme** ». Le dernier défi sera de fournir des pistes de stratégies optimales selon les objectifs poursuivis (et explicités) pour le « **long terme** ».

Remerciement

Nous tenons à remercier eauservice Lausanne, le Grand Lyon et le SEDIF, pour l'aide technique et financière qu'ils nous apportent dans ce programme de recherche.

Bibliographie

- [AWW 10] AWWA, Buried no longer: confronting america's water infrastructure challenge. American Water Works Association (AWWA), 2010, 16 p.
- [BOU 11] BOULEAU, G., GUERIN-SCHNEIDER, L, *Des tuyaux et des hommes*, Paris, Editions Quae, 2011, 200 p.

³ Strate : (cf. note de bas de page numéro 1)

- [CAD 02] CADOR, J., Le renouvellement du patrimoine en canalisations d'eau potable en France. Rapport technique, Université de Caen, 2002, 18p.
- [CHA 13] CHARRIERE, S, Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable. Elaboration du descriptif détaillé des ouvrages de transport et de distribution d'eau, ONEMA, ASTEE, AITF, Ministère chargé de l'écologie, 2013, 52 p.
- [EIS 03] EISENBEIS, P., LAFFRÉCHINE, K., LE GAUFFRE, P., LE GAT, Y., RØSTUM, J., TUHOVČÁK, L., VALKOVIČ, P., 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, 2003, 58 p.
- [FUC 08] FUCHS-HANUSCH, D., GANGL, G., KORNBERGER, B., KÖLBL, J., HOFRICHTER, J., KAINZ, H. « PiReM, Pipe rehabilitation management developing a decision support system for rehabilitation planning of water mains », *Water Practice and Technology*, 2008, vol. 3, 9 p.
- [HER 02] HERZ, R, « Developing rehab strategies for drinking water networks, Dresden University of Technology », *Actes de la 9 International Conference on Durability of Building Materials and Components DBMC*, Germany, 2002, 11 p.
- [KRO 13] KROPP, I., Kanew software, version 4, manual, 2013, 76 p.
- [LAR 13] LARGE, A., Optimisation du renouvellement des canalisations. Rapport de première année de thèse : revue bibliographique et cadre méthodologique, IRSTEA et Université de Bordeaux, 2013, 109 p.
- [LAR 14] LARGE, A., LE GAT, Y., ELACHACHI, S. M., RENAUD, E., BREYSSE, D., « Decision support tools: Review of risk models in drinking water network asset management », *Actes de la 2nd International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management (ICVRAM), et de la 6e International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis (ISUMA)*, Liverpool, 13-16 Juillet, 2014, édition en cours.
- [LEG 13a] LE GAT, Y., « Extending the Yule Process to model recurrent pipe failures in water supply networks », *Urban Water Journal*, published online, 2013, 15 p.
- [LEG 13b] LE GAT, Y., KROPP, I., POULTON, M, « Is the service life of water distribution pipelines linked to their failure rate? », *Water Science & Technology: Water Supply*, vol.13.2, 2013, p. 386-393.
- [LEG 02] LE GAUFFRE, P., LAFFRECHINE, K., ROLF, B. CARE-W : WP3 Decision Support for Annual Rehabilitation Programmes, Criteria for the prioritisation of rehabilitation projects, rapport de recherche n° 3.1, INSA, 2002.
- [LIU 12] LIU, Z., KLEINER, Y., RAJANI, B., WANG, L., CONDIT, W, *Condition assessment technologies for water transmission and distribution systems*. United States Environmental Protection Agency (EPA) Edition, 2012, 108 p.

- [MAL 12] MALM, A.; LJUNGGREN, O.; BERGSTEDT, O.; PETTERSSON, T. J. R., MORRISON, G. M. « Replacement predictions for drinking water networks through historical data », *Water research*, vol. 46, 2012, p. 2149-2158
- [NAL 13] NALDEO, Patrimoine expert, Outil de simulation du vieillissement du patrimoine canalisations AEP, Manuel de l'utilisateur, Version 3.4, 2013, 25 p.
- [POI 06] POINARD, D. Modèles pour la conception de stratégies et de programmes de réhabilitation des réseaux urbains d'eau potable, Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon, 2006, 243 p.
- [TUR 76] TURNBULL, B. W. « The empirical distribution function with arbitrarily grouped, censored and truncated data ». *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 3, 1976, p. 290-295