



Analyse spatio-temporelle des défaillances des réseaux d'eau potable, un nouveau levier pour la priorisation des conduites à renouveler.

Youssef TLILI et Amir NAFI



Contact

Amir NAFI
UMR GESTE
Cemagref-Engées
1 Quai Koch, BP 61039
67070 Strasbourg cedex

amir.nafi@engees.unistra.fr

Les systèmes de distribution d'eau potable au même titre que les autres réseaux techniques constituent un patrimoine important au sens comptable. La gestion de ces réseaux vise à pérenniser l'accès des populations à l'eau potable en qualité et quantité satisfaisantes traduisant un certain niveau de service. Les réseaux d'eau sont un assemblage de dispositifs techniques dont une grande partie est enterrée. Ceci rend leur diagnostic difficile et nécessite la mise en place d'une politique, désignée par « gestion patrimoniale ». La gestion patrimoniale se traduit par des actions à court, moyen et long terme. Elle vise à connaître l'état du patrimoine, et à mettre en place des outils pour le diagnostiquer dans un premier temps et à planifier les actions nécessaires pour le maintenir en état dans une seconde phase. Le travail que nous menons s'inscrit dans cette perspective de diagnostic en proposant un nouveau critère qui permette d'établir des priorités pour le renouvellement. L'intérêt est de pouvoir discriminer les conduites vulnérables par une analyse spatio-temporelle qui part d'un constat simple : le diagnostic ignore souvent les dimensions : topologie du réseau et tendance d'évolution des défaillances. Ainsi, le nouveau critère permet d'avoir une vision holistique du réseau en identifiant les zones à fortes défaillances, dites « hotspots » et leur évolution dans le temps. Ce nouveau critère permet donc d'avoir une représentation visuelle en utilisant la topologie du réseau, représentation qui fournit un diagnostic du réseau et peut également servir à évaluer l'efficacité de politiques de renouvellement *a priori*.

La gestion patrimoniale des réseaux : un challenge à long terme pour un accès durable à l'eau potable

La gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable est une approche qui permet de suivre l'état du patrimoine enterré et d'anticiper les travaux à réaliser pour son maintien en service tout au long de sa durée de vie. C'est une démarche managériale dont l'objectif est de pérenniser la desserte en eau des usagers en qualité et quantité requises, en assurant les meilleures conditions techniques et financières. Cette approche vise à améliorer la connaissance du réseau et ses équipements et à mettre en place des critères objectifs d'évaluation de son état de détérioration. En partant du constat qu'il est quasiment impossible de réhabiliter le réseau en une seule fois, il est nécessaire d'établir des priorités afin de discriminer le patrimoine le plus dégradé et donc de pouvoir mener les actions adéquates pour garantir la continuité du service. La dégradation suppose un état détérioré qui peut être physique ou fonctionnel. Elle dépend de nombreux paramètres qui sont d'ordre

environnemental, technique, managérial et économique. L'état du patrimoine est constaté à un instant t , c'est-à-dire aujourd'hui ; cet état est tributaire des politiques menées antérieurement par le gestionnaire du réseau. Les questions récurrentes que le gestionnaire se pose, concernant le renouvellement du réseau, sont les suivantes : Quelles conduites dois-je renouveler ? Quels sont les critères de renouvellement ? Quand dois-je les renouveler ? Combien cela va-t-il coûter ? En considérant 2 façons de se tromper : renouveler une conduite qui ne doit pas l'être ou ne pas choisir celle qui doit l'être. Dans la pratique, le renouvellement des conduites d'eau est conditionné par les ressources financières disponibles. Dans la majorité des cas, le budget est fixé par avance et les travaux devant être réalisés devront respecter la contrainte financière qui correspond au budget prévisionnel de renouvellement.

Face à tous ces enjeux, plusieurs modèles d'aide à la décision (Care-W [13], Kanew, Riva, Sirocco, Parns [14]) ont été développés. Plusieurs recherches ont été menées par

ailleurs sur la priorisation du renouvellement des conduites d'eau potable [4],[5],[6],[8],[10],[12]et[16]. Ces travaux ont permis d'établir une liste non-exhaustive de critères incommensurables, et ont encouragé les services d'eau à mieux connaître leur patrimoine en collectant de nouvelles données et en pérennisant leur mise à jour. Même si les critères proposés sont pertinents, la dimension spatiale et l'échelle « réseau » ne sont pas assez prises en compte. En effet, les critères proposés dans la bibliographie sont calculés à l'échelle de la conduite et permettent de discriminer les conduites entre elles. Certains critères sont difficilement quantifiables ou nécessiteraient trop de données d'entrée, souvent indisponibles. Dans la réalité, les critères de renouvellement dépendent soit des travaux de voirie ou d'autres réseaux techniques, soit de l'âge des conduites, qui est souvent considéré comme critère de vieillissement. Cependant l'état de dégradation de la conduite dépend à la fois de son état de dégradation physique et fonctionnelle. La fonction d'une conduite dépend de sa localisation dans le réseau, mais aussi de sa connexion avec d'autres conduites, et d'autres facteurs endogènes et exogènes. L'échelle d'analyse devrait donc être à la fois la conduite et le réseau dans sa globalité. De plus, l'analyse à l'échelle du réseau renvoie à une analyse spatiale qui n'est pas non plus prise en considération. Souvent la conduite est un enregistrement dans une base de données, identifiée par une clé, on ignore même sa position dans le réseau lors de sa sélection. Il en résulte une perte de connaissance qui pénalise la priorisation des conduites et forcément le choix des conduites à renouveler. Cette spatialisation se traduit empiriquement par l'apparition sur le réseau d'eau potable de regroupements de casses dans certaines zones, il semblerait que la première casse soit un évènement indépendant alors que les casses qui suivent soient des évènements dépendants de cette dernière et s'en localisent à proximité.

C'est pourquoi, nous explorons la construction de critères de priorisation des conduites basés sur le regroupement de conduites en « clusters » afin de discriminer les zones de forte densité de casses des régions avoisinantes caractérisées par une faible densité de casses ou par des casses bruits qui ne reflètent pas une concentration potentielle de défaillances. Ces critères seront utilisés pour classer les conduites candidates au renouvellement au sein d'un même regroupement.

Critères de priorisation des conduites : prise en compte de la dimension spatio-temporelle, état des lieux et proposition

Etant donné que l'état du réseau est mal connu et que les opportunités d'y accéder sont rares (réparation, travaux sur d'autres réseaux), la mise en place d'un programme de renouvellement doit passer obligatoirement par une approche proactive de prévision des défaillances et de définition des critères pertinents pour la sélection et le classement des conduites à renouveler. Les critères de priorisation peuvent être classés par familles comme suit :

- Critères hydrauliques : excès ou déficit de pression, satisfaction de la demande, capacité hydraulique de la conduite, rendement.
- Critères économiques : coût de remplacement, coût d'opportunité et économie d'échelle, coût lié aux impacts potentiels, coût par volume d'eau perdue, coût de réparation.
- Critères sociaux : non satisfaction des abonnés, nombre de plaintes.
- Critères structureaux : nombre de casses ou de fuites, taux de casses, indice linéaire de perte.

Au-delà de ces critères classiques, nous proposons de construire des critères additionnels qui caractérisent les zones de forte criticité dans le réseau, en représentant la répartition des casses et leur évolution dans le temps. Ceci implique une analyse spatiale des défaillances à travers la notion de regroupement ou « clustering » à partir d'un historique de défaillances.

La connaissance de la tendance d'évolution des défaillances dans le temps et de leur répartition dans l'espace au sein du réseau demeure indispensable avant toute tâche de priorisation. Il sera inadéquat dans certains cas de planifier des travaux de renouvellement sans connaître *a priori* la tendance, l'évolution et l'orientation des points de casses.

Le fait de discerner les concentrations de défaillances permet de se focaliser sur les conduites les plus vulnérables et donc évite un renouvellement anticipé de conduites ayant simplement subi des casses bruits. Ceci permet de mieux cibler les travaux de renouvellement et de réaliser des économies importantes.

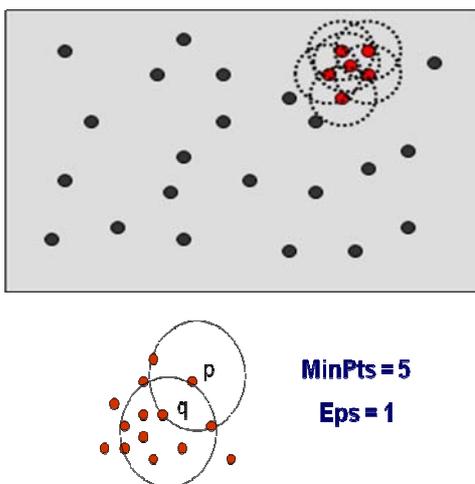
Qu'est ce que le « clustering » ?

Le regroupement ou « clustering » consiste à construire une collection d'objets similaires au sein d'un même groupe et dissimilaires quand ils appartiennent à des groupes différents. Le regroupement relève de la classification non supervisée, c'est-à-dire sans classes prédéfinies au préalable [14]. Ces méthodes sont très utilisées dans les études de risques et l'analyse de la criminalité sur un territoire. Une bonne méthode de regroupement permet de garantir une grande similarité « intra-groupe » et une faible similarité « inter-groupe ». C'est sur cette caractéristique que va se baser l'analyse de la répartition spatiale des casses.

Nous proposons de tester l'algorithme de regroupement hiérarchique « *Nearest Neighbor Hierarchical Spatial Clustering (Nnh)* » [15]. Cet algorithme utilise deux paramètres :

- Rayon maximum de voisinage qui sépare un point de casse de base à d'autres points de casses avoisinants *Eps*.
- Nombre minimum de casses de voisinage *MinPts*.

Pour définir un cluster, l'algorithme analyse un nuage de points qui correspondent à des casses. Il cherche à déterminer le centre de ce nuage, ensuite il cherche les voisins les plus proches de ce point central distants d'une longueur inférieure ou égale au rayon prédéfini. Ainsi, toutes les casses proches formeront un cluster, les autres feront partie d'un autre cluster (Voir Fig 1).



▲ **Figure 1.** Principe du « clustering »

Cette méthodologie se base en partie sur les travaux de recherche [1], [2], et [7] et [9].

Méthodologie

La méthodologie a été appliquée sur une partie d'un réseau, composée de 147 conduites en fonte dont le diamètre était compris entre 150 et 250 mm. Nous avons suivi les étapes suivantes :

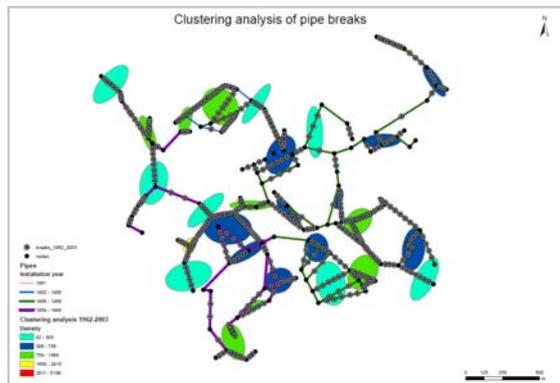
- **Étape 1 :** partager l'historique des casses (1962-2003) en plusieurs fenêtres d'observations (4 dans notre cas) : 1962-1973, 1974-1984, 1985-1995 et 1996-2003.
- **Étape 2 :** représenter les casses correspondant à ces périodes sur le réseau. (Voir Fig.2)
- **Étape 3 :** Calculer pour chaque horizon temporel, et afin de détecter la répartition spatiale des casses, l'indice du voisin le plus proche [3]. On compare la distance moyenne du voisin le plus proche avec une distance aléatoire générée.
- **Étape 4 :** Diviser en utilisant l'algorithme hiérarchique du voisin le plus proche (*Nnh*), en correspondance avec chaque horizon, le réseau en des regroupements de casses ce qui permet d'isoler les zones de forte défaillance des régions avoisinantes ayant des concentrations de casses faibles ou des casses bruits. Au niveau de chaque regroupement, une hiérarchisation a été mise au point de telle sorte qu'on ne raisonne plus sur les regroupements de conduites mais plutôt sur des rues, des boulevards, des routes qui définissent à leur tour des chantiers.
- **Étape 5 :** Définir des indicateurs de classement des regroupements, nous proposons de calculer à cet effet : le taux de casse par regroupement, la longueur des routes par regroupement...etc. Une fois le classement des clusters réalisé, les conduites qui y sont incluses seront automatiquement priorisées.
- **Étape 6 :** Cette dernière étape consiste à opérer un changement d'échelle en passant de groupes de conduites représentés par des patatoïdes (voir Fig.2) à une concaténation de plusieurs conduites qui représentent dans la réalité une portion de rue ou une rue entière, ce qui correspond aux chantiers des travaux de renouvellement.

Les critères utilisés pour la priorisation sont : l'appartenance de la rue à une ramification ou

à une maille, la consommation et le nombre d'abonnés par rue, le taux de casses (casses/km/an) par rue.

Conclusion

Ce travail prospectif vise à compléter la palette de critères de priorisation des conduites pour le renouvellement, en ajoutant deux



▲ **Figure 2.** Analyse spatiale de l'historique des casses d'un réseau d'eau.

dimensions supplémentaires : l'analyse de la répartition des défaillances dans le temps et dans l'espace en considérant comme échelle d'analyse le réseau dans sa globalité. Les critères obtenus suite à la méthodologie de « clustering » permettent d'identifier les points chauds « hotspots » traduisant une concentration des défaillances. La méthode permet d'établir une cartographie de ces points dans l'espace et de suivre leur évolution dans le temps. Elle peut servir à la fois pour diagnostiquer l'état du réseau et localiser les zones les plus dégradées, mais également pour visualiser la tendance de l'évolution des défaillances en réalisant des cartes prévisionnelles. La méthode permet également d'évaluer l'efficacité de stratégies de renouvellement, en comparant différentes cartographies ; la bonne politique sera celle qui arrivera à atténuer ou à faire disparaître les zones de « hotspots ». Cette méthode est en cours de test et les premiers résultats sont encourageants.

Bibliographie

- [1] De Oliveira D.P, Garrett J.H and Soibelman L (2010). A density-based spatial clustering approach for defining local indicators of drinking water distribution pipe breakage. *Journal of Advanced Engineering Informatics*.
- [2] De Oliveira D.P, Neill D.B Garrett J.H and Soibelman L (2011). Detection of Patterns in Water Distribution Pipe Breakage Using Spatial Scan Statistics for Point Events in a

Physical Network. *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 25, No. 1

[3] Diggle, P.J. (1983) *Statistical Analysis of Spatial Point Patterns*. Academic Press, London.

[4] Dridi L, Mailhot A, Parizeau M and Villeneuve J-P (2006). Planification optimale du renouvellement des conduites dans un réseau de distribution d'eau. *Conference INFRA: 12th Annual Urban Infrastructure Week, Québec Under Construction: Optimizing Infrastructure Resources, Québec City, Nov.22, 2006, pp.1-14.*

[5] Eisenbeis, P. (1994). *Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable*. Thèse en Génie de l'environnement, Université Louis Pasteur, Strasbourg, France, 156 p.

[6] Giustolisi O and Berardi L (2009). Prioritizing pipe replacement: From multiobjective genetic algorithms to operational decision support. *Journal of water resources planning and management*. ASCE. 135(6): 484- 492.

[7] Goulter I.C and Kazemi A. (1988). Spatial and temporal groupings of water main pipe breakage in Winnipeg. *Journal of Civil Engineering*, 15(1): 91-97.

[8] Halfawy M.R, Dridi, L and Baker S. (2008). Integrated decision support system for optimal renewal planning of sewer networks. *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 22, no. 6, pp 360-372.

[9] Hu Y and Hubble D.W (2007). Factors contributing to the failure of asbestos cement water mains. Published on the NRC Research Press Website at cjee.nrc.ca

[10] Le Gat, Y. (2009). Une extension du processus de Yule pour la modélisation stochastique des événements récurrents. Application aux défaillances de canalisations d'eau sous pression. Thèse de doctorat, AgroParis Tech, Paris. 121p.

[11] Le Gauffre P and Haidar H. (2008). Assessing the benefits of rehabilitation programmes defined with the CARE-W decision support system. *Water Asset Management International* 4.1: 15-18.

[12] NAFI, A. (2006). La programmation budgétaire du renouvellement des réseaux d'eau potable. Thèse de doctorat. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France. 236p.

[13] Nafi A and Wery C (2009). Modèles d'aide à la décision et modèles de prévision de défaillances : Etat de l'art et enseignements méthodologiques. *Rapport de recherche*. Strasbourg, France. 56 p.

[14] Neill. D.B. An empirical comparison of spatial scan statistics for outbreak detection. *International Journal of Health Geographic* 8: 20, 2009.

[15] Ned Levine and all, "Spatial statistics and GIS: Software tools to quantify spatial patterns". *Journal of the American Planning Association*. 1996, 62 (3): 381-392.

[16] Wery, C. (2000). *Politiques de renouvellement des réseaux d'eau potable*. Thèse en génie de l'environnement. Université Louis Pasteur, Strasbourg, France. 162p.