

Méthodologie de planification du renouvellement des conduites d'égout : intégration des aspects structuraux et hydrauliques dans un contexte de changement climatique

Contexte

Le vieillissement des infrastructures de drainage urbain accroît les besoins financiers essentiels à leur remise à niveau et nécessite un ajustement des outils de gestion disponibles. La mauvaise performance des réseaux d'égout peut entraîner une multitude de problèmes, tels que les effondrements de chaussée, les refoulements d'égout [1], les inondations et l'augmentation des volumes d'eau usée rejetés aux milieux récepteurs [2].



Ces problèmes représentent un risque pour la sécurité des citoyens, le développement économique et la qualité des écosystèmes. La plupart de ces problèmes risquent de s'accroître en raison de l'évolution des conditions climatiques [3].

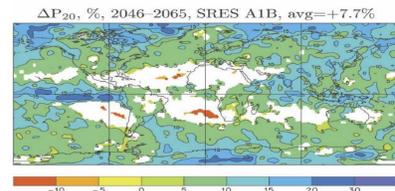


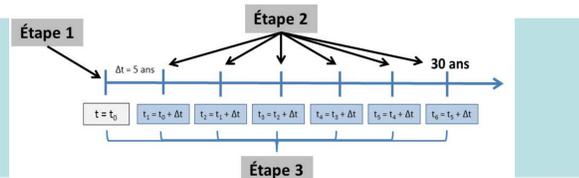
Figure 1. Médiane des variations des précipitations annuelles extrêmes (24 h) futures comparativement à la période actuelle (1981-2000); projection multimodèles; scénario A1B du SRES [tirée de 4]

Une gestion du renouvellement des réseaux basée sur une approche préventive et s'adaptant au mieux aux changements climatiques (CC) projetés pourrait limiter les problèmes cités précédemment et permettre de maintenir un niveau de performance acceptable. Dans cette optique, nous proposons une planification du renouvellement des conduites d'égout considérant simultanément la modélisation de la détérioration des performances structurale et hydraulique, dans un contexte de CC.

Méthodologie

➤ Trois étapes sont nécessaires pour établir la planification du renouvellement des conduites d'égout :

- ✓ **Étape 1** : Évaluation de la performance structurale et hydraulique (PSH) actuelle
- ✓ **Étape 2** : Évaluation de la PSH future dans un contexte de CC
- ✓ **Étape 3** : Évaluation et choix de la meilleure option de renouvellement



Performance structurale

➤ **Modèle de Cox**: Basé sur l'analyse de survie, il modélise le temps qu'une conduite passe dans chacune des classes d'état structural (CES) en tant que variable aléatoire.

- Fonction de survie: $S_j(t, X) = \Pr(T > t) = \int_t^{\infty} f_j(t, X) dt$
- Fonction de densité de probabilité (fdp): $f_j(t, X) = k_j e^{\beta_j X} e^{-k_j e^{\beta_j X} t}$

avec: $S_j(t, X)$ = probabilité qu'une conduite reste un temps T supérieur à t dans une CES j ; t = temps de séjour dans la CES j ; X = vecteur de variables explicatives; k_j et β_j = paramètres du modèle correspondant à la CES j .

➤ **Temps de séjour à modéliser**: Considérant quatre CES: 0, 1, 2-3 et 4-5, trois temps de séjour (t_s) doivent être modélisés (Fig. 2).

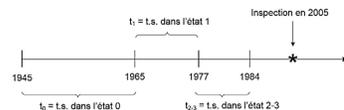


Figure 2. Illustration des temps de séjour modélisés; Conduite dans l'état 4-5 lors de l'inspection [5]

➤ **Fonctions de survie des temps de séjours cumulés (fsc)**: Lors de l'inspection, le moment auquel la conduite passe d'une CES à une autre est inconnu, c'est pourquoi des fsc sont développées.

$$S_{01}(T, X) = \int_0^T f_{01}(t, X) dt$$

$$S_{012}(T, X) = 1 - \int_0^T f_{012}(t, X) dt$$

$$\begin{cases} f_{01}(t, X) = f_0 * f_1(t, X) \\ f_{012}(t, X) = f_0 * f_2(t, X) \end{cases}$$

avec: $f_{01}(t, X)$ et $f_{012}(t, X)$ = fdp des temps de séjour cumulés dans les états 0 et 1 et dans les états 0, 1 et 2-3 respectivement; $S_{01}(t, X)$ et $S_{012}(t, X)$ = probabilités au temps t qu'une conduite soit dans l'état 1 ou moins, ou dans l'état 2-3 ou moins, respectivement.

➤ **Covariables X**: Seulement les covariables identifiées significatives avec le test du rapport de vraisemblance (RV) (âge, diamètre, matériau, pente, type de réseau, etc.)

➤ Les probabilités qu'une conduite d'âge t et de caractéristiques X soit dans une des quatre CES sont :

$$P_0(t, X) = S_0(t, X) \quad P_2(t, X) = S_{012}(t, X) - S_{01}(t, X)$$

$$P_1(t, X) = S_{01}(t, X) - S_0(t, X) \quad P_3(t, X) = 1 - S_{012}(t, X)$$

Performance hydraulique

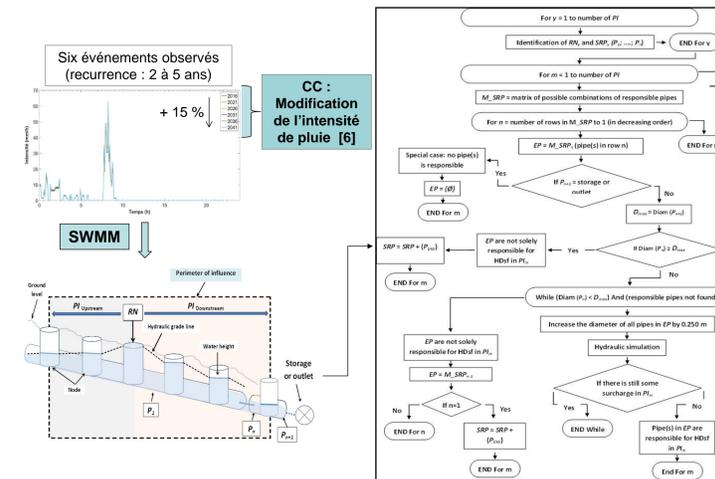


Figure 3. Méthodologie d'identification des conduites responsables des dysfonctionnements hydrauliques (DsfH)

Planification du renouvellement

➤ **Choix des options de renouvellement**: Comparaison de la performance future, du coût et de la faisabilité de toutes les options.

- ✓ Remplacement des conduites déficientes avec ou sans augmentation de leur capacité hydraulique
- ✓ Adoption de pratiques de gestion optimale
- ✓ Combinaison de plusieurs options

Résultats

Performance structurale

➤ **Identification des facteurs influents**

Appliqué à un réseau d'égout canadien, A (Fig. 4), le modèle de Cox a montré que l'âge est le principal facteur d'impact. L'ajout des facteurs : diamètre, longueur, matériau, pente et type de réseau n'améliore pas la prévision de la détérioration structurale des conduites étudiées (Fig. 5 et Tableau 1).

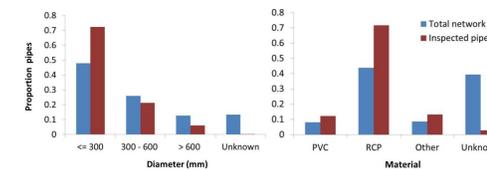


Figure 4. Caractéristiques des conduites du réseau A utilisées pour le calage (conduites inspectées : conduites de 70 ans ou moins au moment de l'inspection) et pour la simulation (réseau total : conduites installées à partir de 1900).

✓ **Modèle de Cox sans covariable**

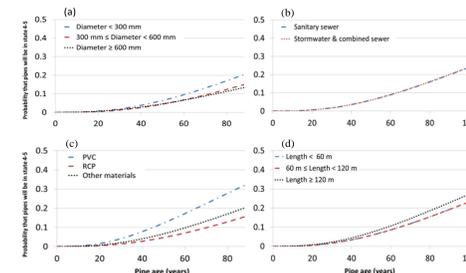


Figure 5. Probabilité que les conduites du réseau A soient dans l'état 4-5, classées par (a) diamètre, (b) type de réseau, (c) matériau et (d) longueur.

✓ **Modèle de Cox avec covariables et test RV**

Tableau 1. Résultats du test RV pour le modèle de Cox global – Réseau A ($\chi^2_{0,05}=3.84$)

Paramètres estimés	Réseau A																	
	Coefficients pour le modèle global																	
	Diamètre		Longueur		Type de réseau Z_1				Pente		Matériau Z_2		Matériau Z_3					
β_0	0.00	0.14	0.00	0.07	0.00	0.03	0.47	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.41	0.27	0.00	0.01	0.51	0.88
β_1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{10}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{11}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{12}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{13}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{14}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{15}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{16}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{17}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{18}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{19}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{20}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{21}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{22}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{23}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{24}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{25}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{26}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{27}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{28}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{29}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{30}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{31}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{32}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{33}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{34}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{35}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{36}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{37}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{38}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{39}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{40}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{41}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{42}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{43}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{44}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
β_{45}	0.00</																	