

MIDI — — INNOVANT

Hind El Housni

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

18 mai 2017

Problématique

➤ Vieillis

- Ef

- R

- In

➤ C

➤ Conséquences

- Sécurité civile
- Développement économique
- Qualité des écosystèmes



Bris d'une conduite dans Côte-des-Neiges, 17 avril 2011 (photo : QMI)



Inondation à Montréal 2013 (photo : La PRESSE)



Refoulement d'une bouche d'égout, Dijon en France (FONTAINE Participation Solidarité)

Revue de littérature

➤ La performance des conduites d'égout est jugée selon :

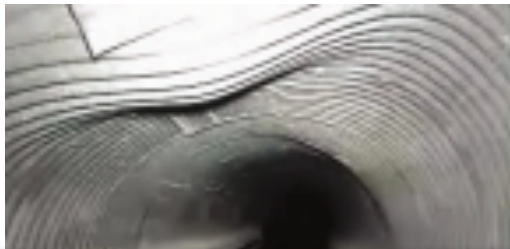
- Performance structurale
- Performance fonctionnelle ou hydraulique
- Performance environnementale

Revue de littérature

- La performance des conduites d'égout est jugée selon :
- Performance structurale
 - Performance fonctionnelle ou hydraulique
 - Performance environnementale

Revue de littérature

➤ Détérioration structurale :



➤ Systèmes de pointage des défauts

- Pipeline Assessment & Certification Program (PACP, 2002)
 - Attribue une cote d'état structural à chaque conduite

Revue de littérature

➤ Détérioration de la performance hydraulique :

- Inondations
- Refoulements



Inondation à Montréal 2013
(photo : La PRESSE)



http://p.twimg.com/AuF807hCEAAfW5_.jpg

Revue de littérature

➤ Gestion des réseaux de drainage urbain

- ✓ Dans le passé :
 - Approche réactive (réparation ou réhabilitation effectuée en cas de dégradation)
- ✓ Actuellement :
 - Gestion proactive (approche préventive)



Outils de prédiction ou de modélisation de la performance future de ces infrastructures

Revue de littérature

➤ Outils de gestion des réseaux de drainage urbain

➤ Outils les plus complets

1. Collecte et analyse des données
2. Modélisation de la performance
3. Génération des scénarios et des alternatives de gestion
4. Analyse décisionnelle
5. Gestion de l'information et des rapports

Revue de littérature

➤ Outils de gestion des réseaux de drainage urbain

➤ Outils les plus complets

1. Collecte et analyse des données

2. Modélisation de la performance

3. Génération des scénarios et des alternatives de gestion

4. Analyse décisionnelle

5. Gestion de l'information et des rapports

Revue de littérature

✓ Modélisation de la performance structurale

❖ Modèles statistiques :

- Modèles Markoviens
- Modèles de régression
- Modèles de survie

Revue de littérature

✓ Modélisation de la performance structurale

❖ Modèles statistiques :

- Modèles Markoviens
- Modèles de régression
- **Modèles de survie**

Revue de littérature

- **Modèle de survie :**

- Donne la proportion de conduites dans un état structural donné (âge)
- Temps de séjour dans chaque état représentés par des fonctions de distribution (Exponentielle, Weibull, Hertz, etc.)

Revue de littérature

- **Modèle de survie :**

- Donne la proportion de conduites dans un état structural donné (âge)
- Temps de séjour dans chaque état représentés par des fonctions de distribution (Exponentielle, Weibull, Hertz, etc.)
- **Exprime le processus de détérioration en fonction facteurs internes (Caractéristiques physiques et fonctionnelles) ou externes**

Revue de littérature

✓ Modélisation de la performance hydraulique

- Modèles statistiques :
- Modèles hydrauliques et/ou hydrologiques:
 - **SWMM** (Rossman, 2008)



Exprime le processus de détérioration en fonction de facteurs internes ou externes (**Conditions climatiques**, etc.)

Revue de littérature

➤ Prévisions climatiques

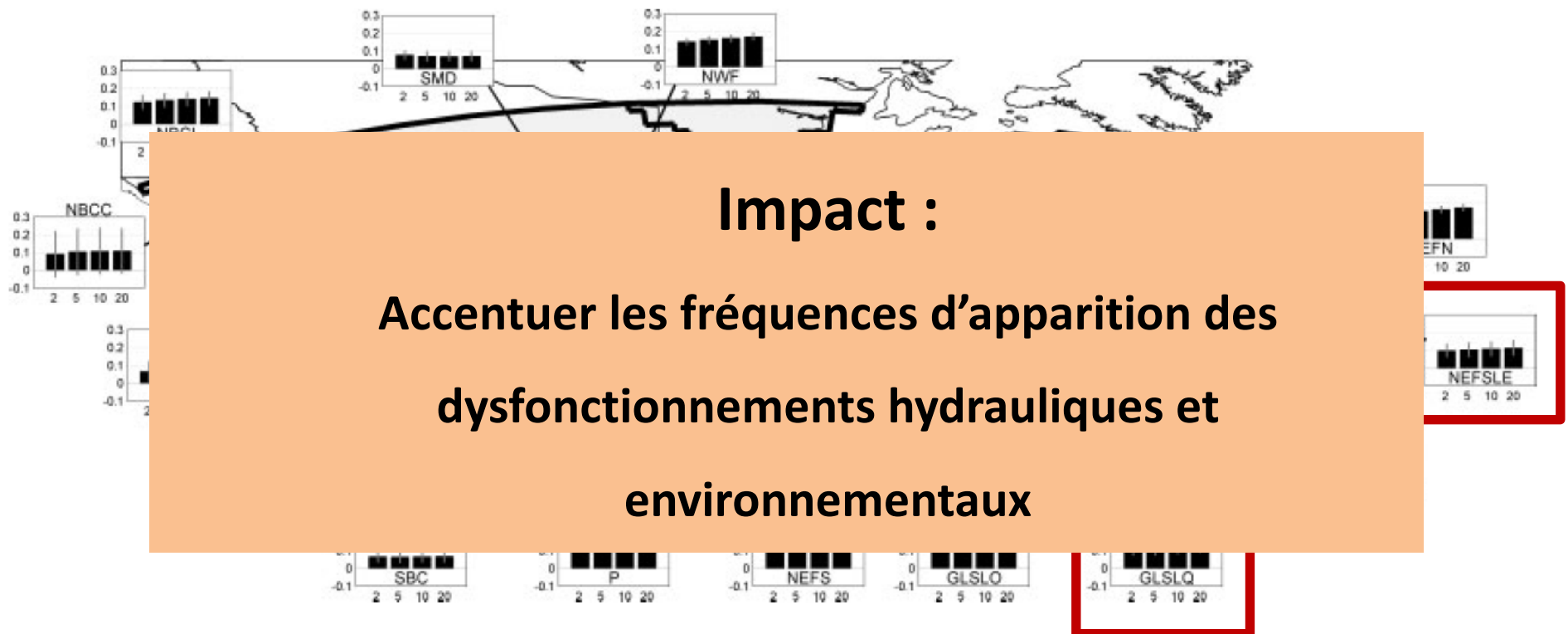


Figure 2 : Variations relatives des hauteurs de pluie (24 h) selon une projection multimodèles pour le scénario SRES A2 entre 1968-2000 et 2041-2070 (source : adaptée de Mailhot *et al.*, 2012)

Revue de littérature

➤ Aucun outil de gestion des réseaux de drainage urbain :

- ✓ ne considère l'évolution du climat dans l'évaluation de la performance hydraulique combinée à l'évaluation de la performance structurale
- ✓ n'évalue l'impact de l'évolution du régime pluviométrique sur la performance hydraulique individuelle des conduites d'égout

Apport du projet de thèse

Hypothèse et objectifs

Hypothèse de base :

- La prise en compte simultanée des processus de détérioration de l'état structural et de la performance hydraulique des RDU, dans un climat en évolution, permet d'améliorer le choix des interventions de renouvellement, de réduire les coûts associés à ces interventions et d'améliorer la performance globale des réseaux

Exemple :



Déficiences hydrauliques

Nouvelle intervention requise :
remplacement par
conduite plus large

Changements Climatiques

2016

Déficiences structurelles

2026



Intervention requise :
remplacement de la
conduite

Hypothèse de base :

- La prise en compte simultanée des processus de détérioration de l'état structural et de la performance hydraulique des RDU, dans un climat en évolution, permet d'améliorer le choix des interventions de renouvellement, de réduire les coûts associés à ces interventions et d'améliorer la performance globale des réseaux

Objectif principal :

- Vérifier l'hypothèse

Méthodologie

Méthodologie

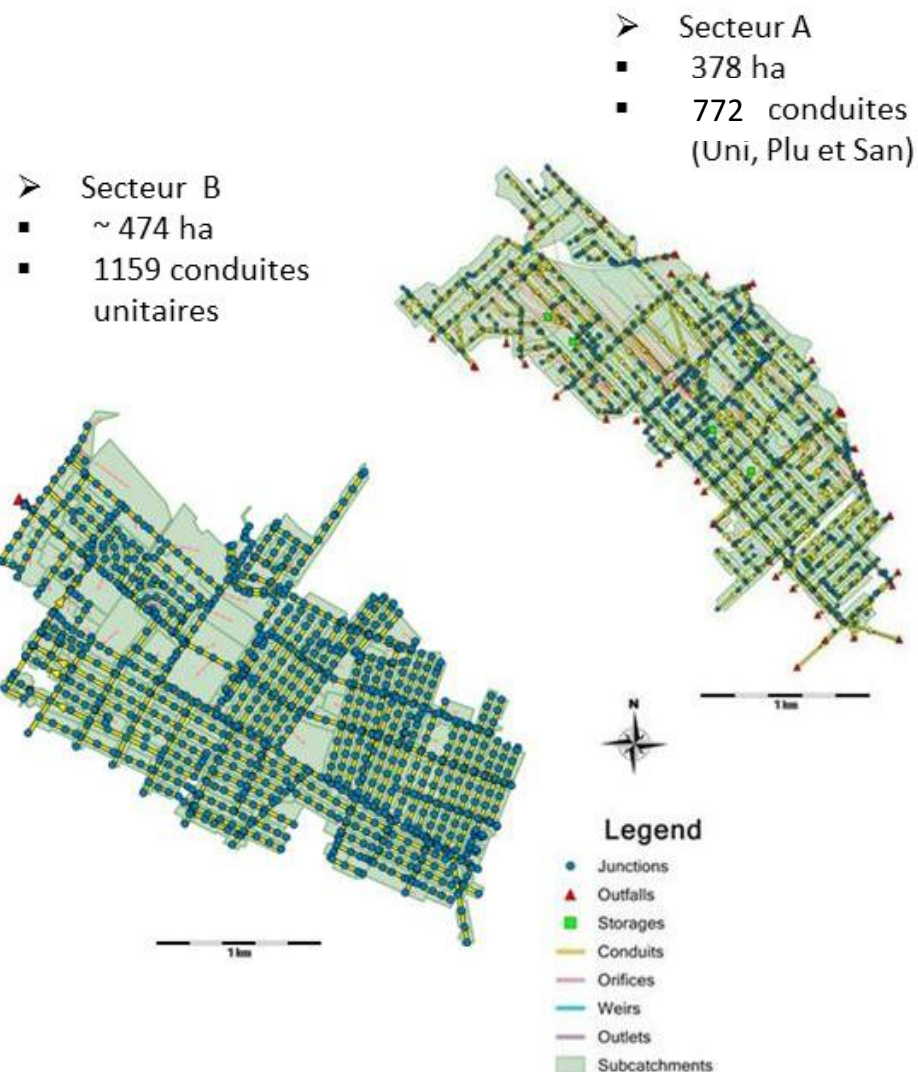
Données, sites d'étude
et outils

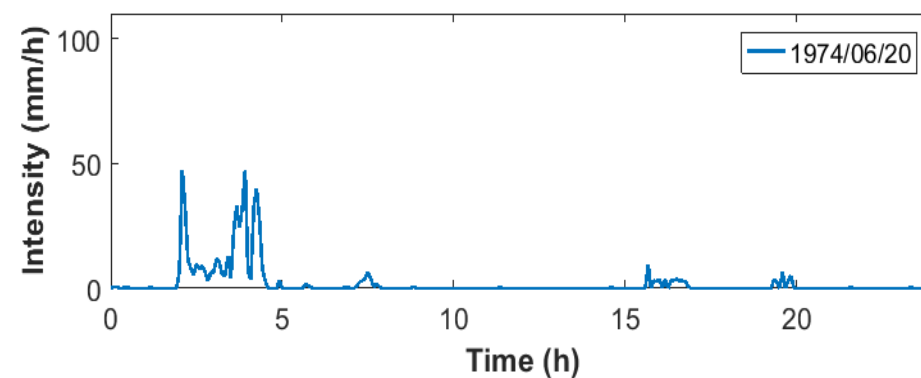
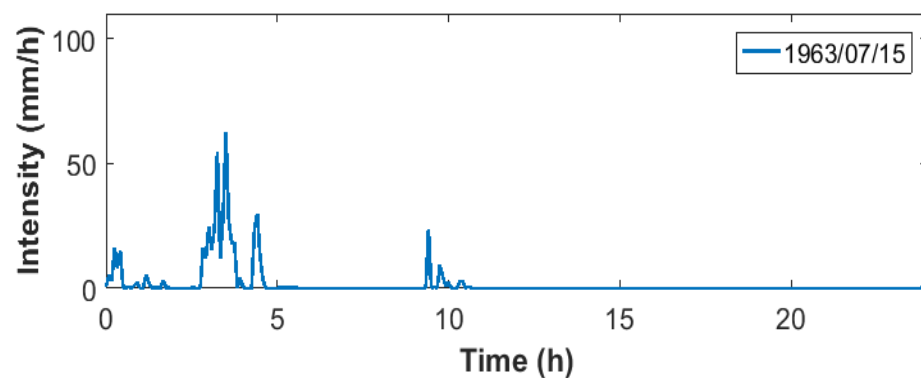
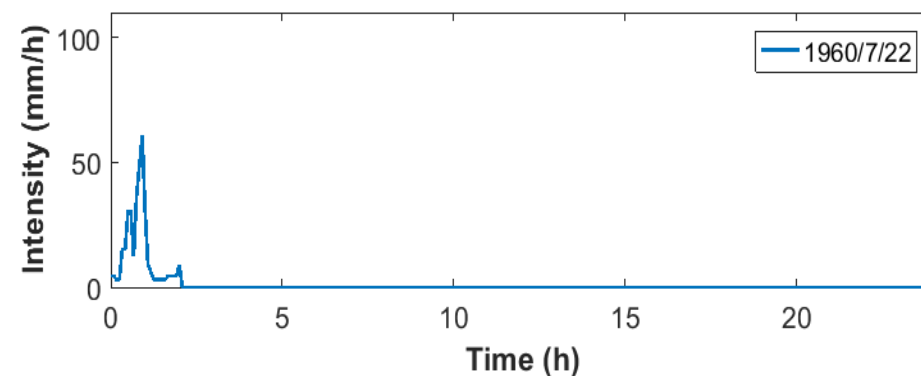
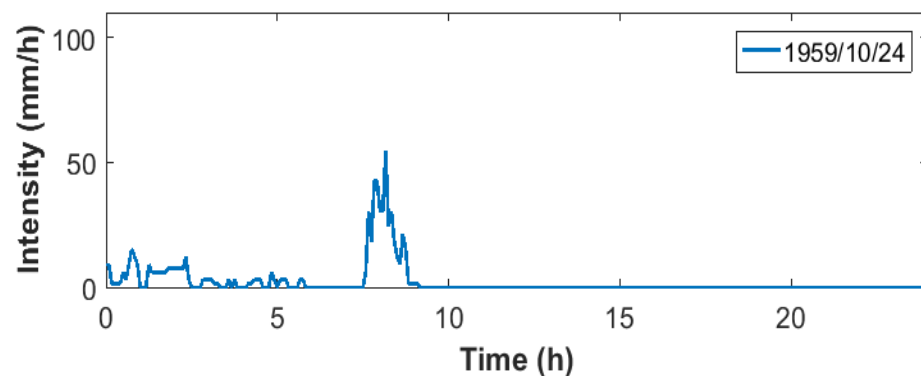
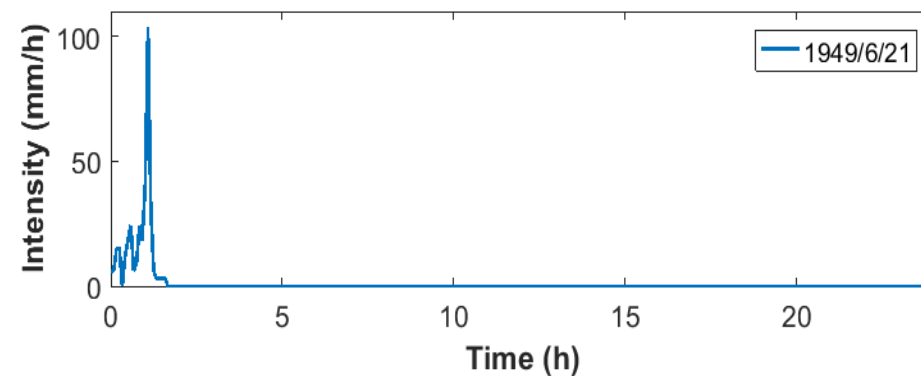
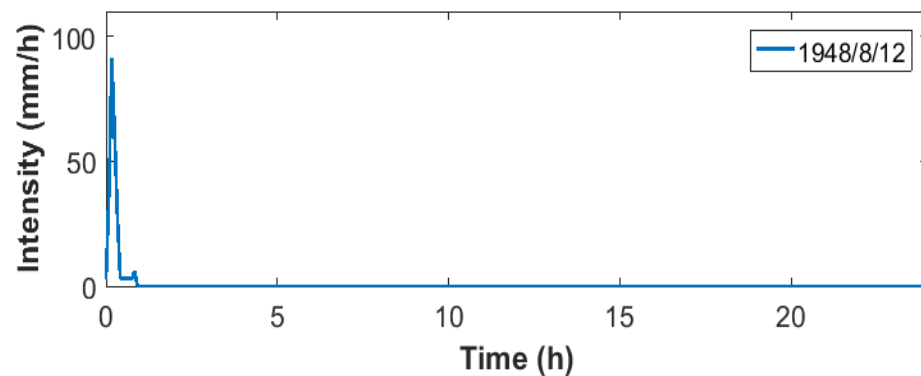
Données et sites d'étude

➤ Détérioration de la performance hydraulique

✓ Secteurs d'étude

- Secteur A
- Secteur B





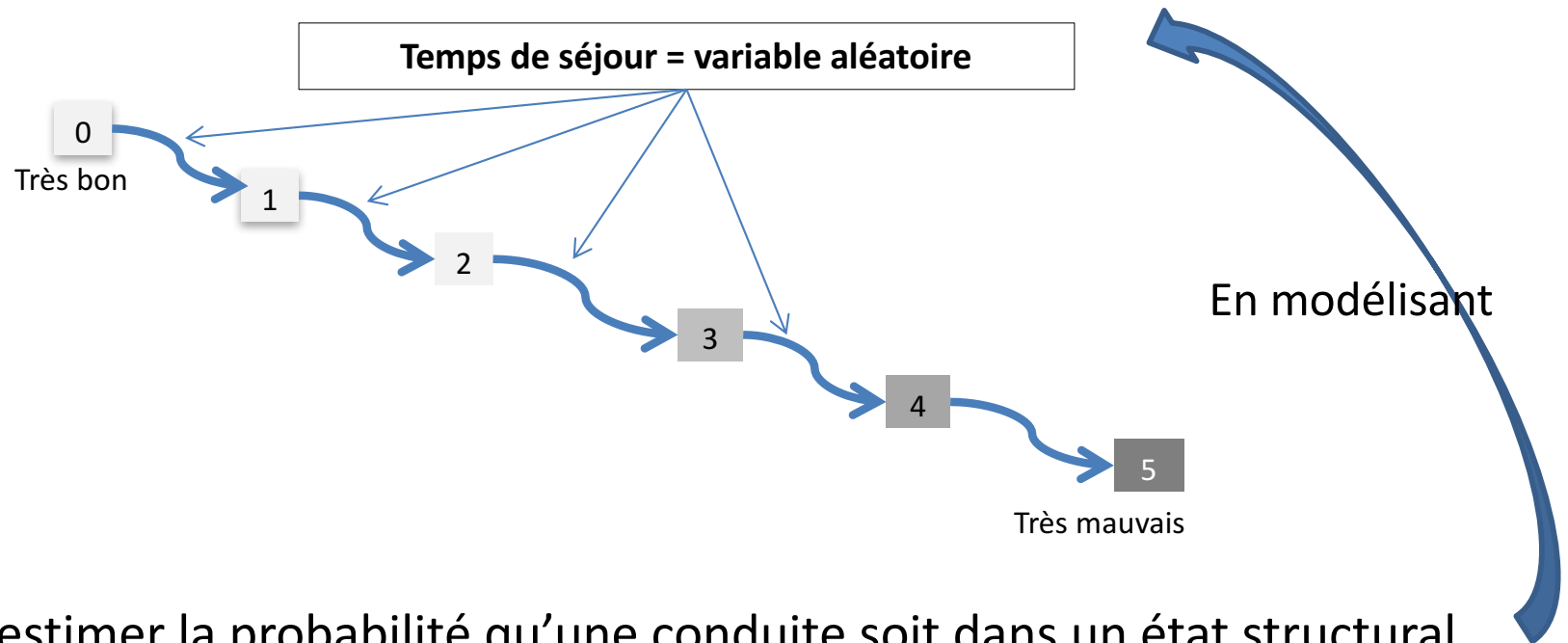
Outils de modélisation : Détérioration structurale

✓ Modèle de Cox

- **Régression multivariée équivalente à une régression linéaire :**
explique une variable dépendante par une fonction de plusieurs variables indépendantes (Timsit et al., 2005)

Outils de modélisation

- ✓ **Modèle de Cox** : adapté sur le modèle de survie de Duchesne *et al.* (2013)



- Permet d'estimer la probabilité qu'une conduite soit dans un état structural donné (0, 1, 2-3 ou 4-5) à un temps donné en fonction de plusieurs variables

Méthodologie

Étapes de réalisation

Méthodologie

➤ Performance structurale

✓ Détermination des facteurs d'impact

❖ Facteurs évalués :

- Caractéristiques physiques : âge; diamètre; longueur; matériau; pente
- Caractéristique fonctionnelle : type de réseau

Méthodologie

➤ Performance structurale

✓ Détermination des facteurs d'impact

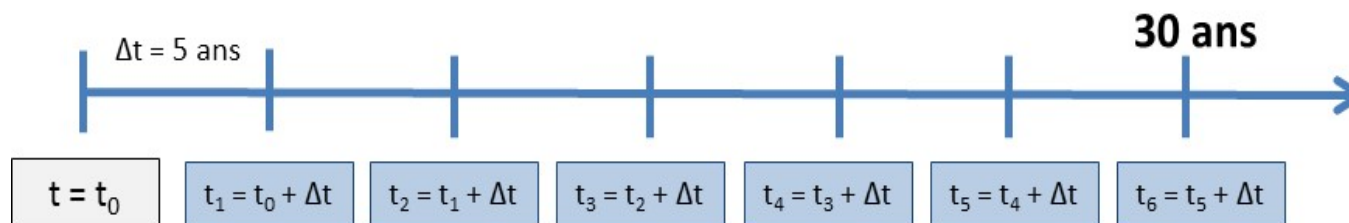
1. Comparaison des fonctions de survie pour des groupes de conduites classées par facteurs : **modèle de Cox sans covariables**
2. Comparaison des distributions des facteurs par classe d'état structural : **test Kruskal-Wallis**
3. Évaluation du niveau de signification statistique de chaque facteur dans le modèle de Cox : **modèle de Cox avec covariables et test du ratio de vraisemblance**

Méthodologie

➤ Performance hydraulique

- ✓ Proposition d'une méthodologie d'estimation du niveau fonctionnel (hydraulique) individuel des conduites d'égout dans un contexte de CC

- Évaluation sur 6 horizons:

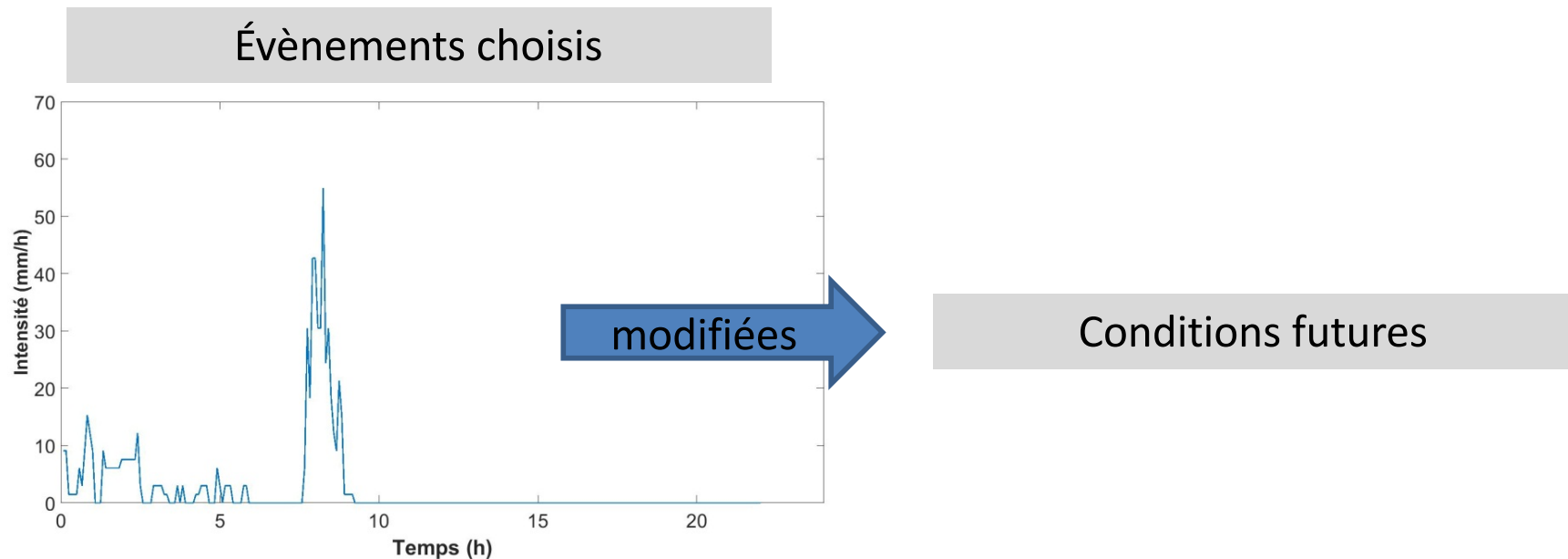


- 5 ans : période à court terme pour réaliser les interventions prioritaires (MAMROT, 2013)
- 30 ans : période à long terme pour garder un niveau de précision acceptable en terme de prévision de la détérioration structurale

Méthodologie

➤ Performance hydraulique : étapes de réalisation

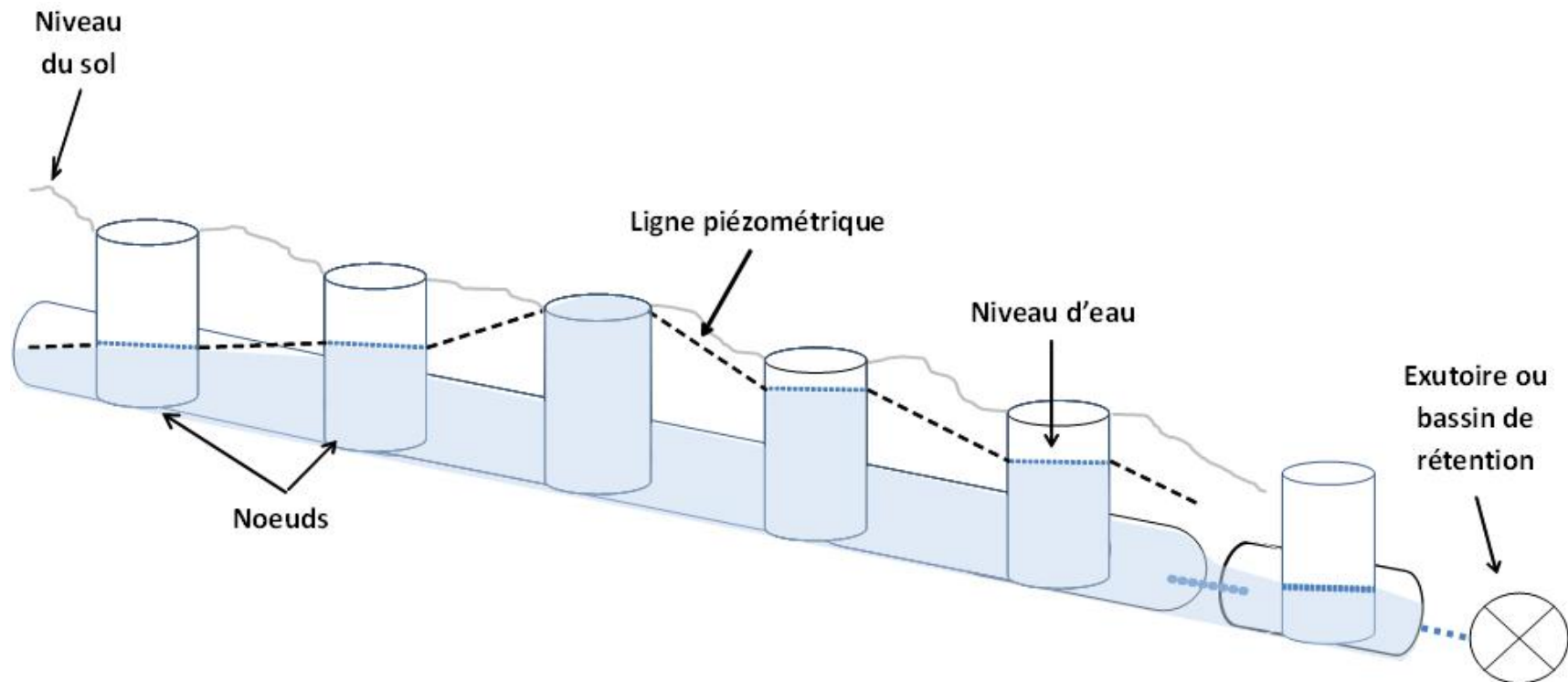
1. Préparation des données de pluie par horizon



Méthodologie

➤ Performance hydraulique : étapes de réalisation

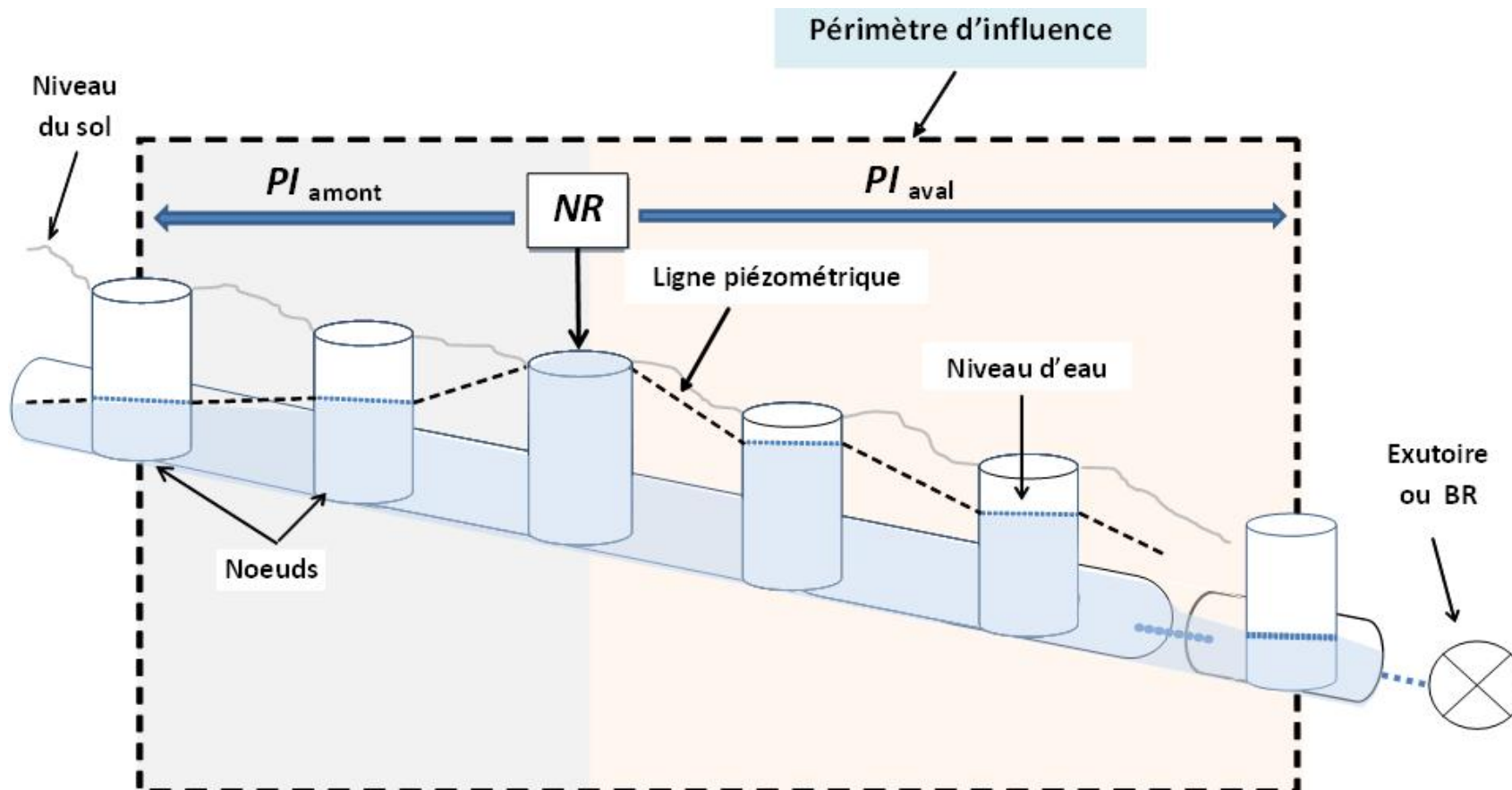
2. Localiser les dysfonctionnements hydrauliques (DsfH)



Méthodologie

➤ Performance hydraulique : étapes de réalisation

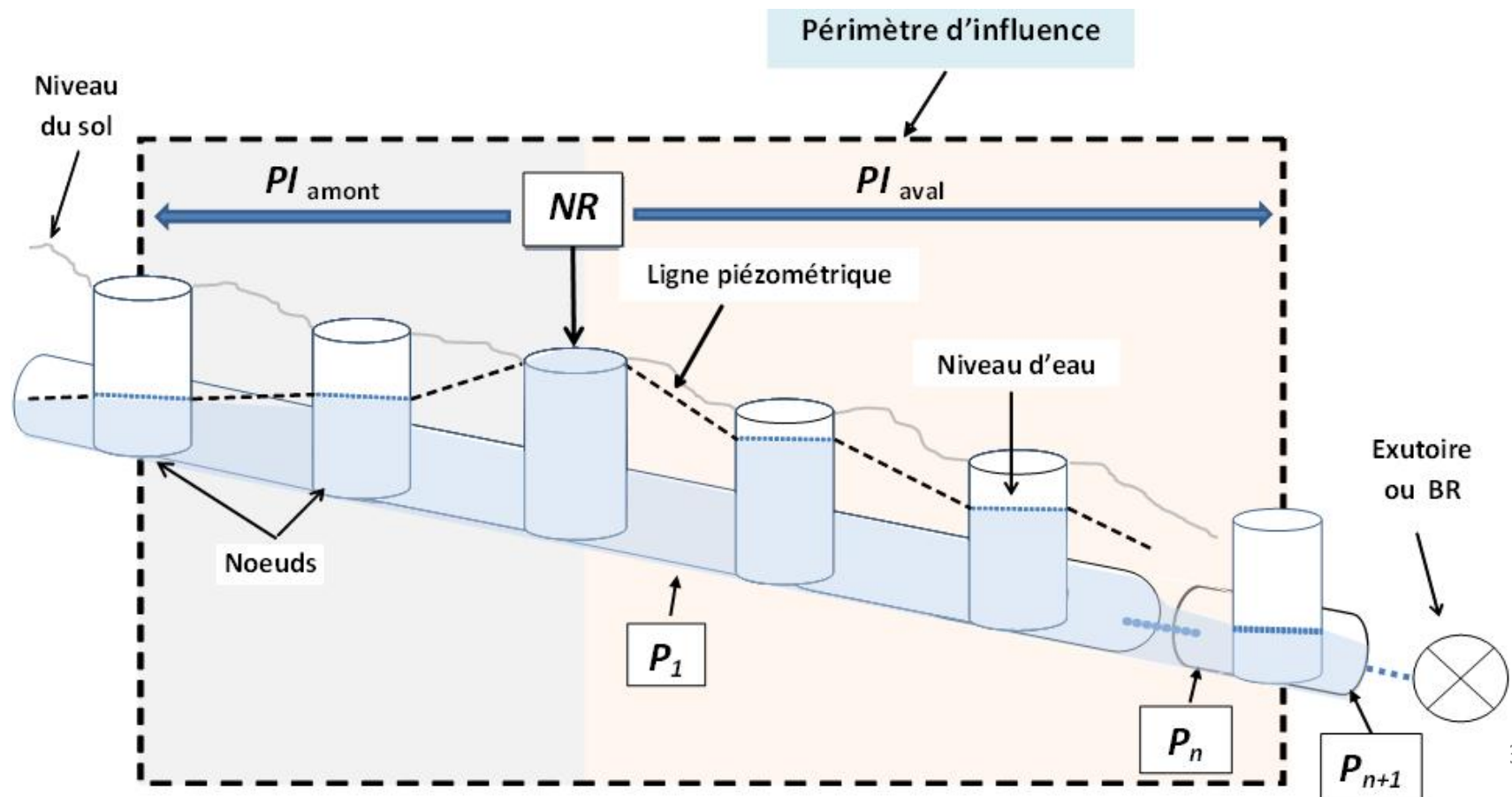
3. Isoler les DsfH



Méthodologie

➤ Performance hydraulique : étapes de réalisation

4. Identifier la ou les conduites responsables de chaque DsfH



Méthodologie

➤ Planification du renouvellement des conduites

✓ Planification du renouvellement des réseaux de drainage urbain intégrant à la fois les facteurs structuraux et hydrauliques dans un contexte de CC

1. La performance structurale (sur 30 ans) :

- Modèle de Cox avec covariables

2. La performance hydraulique dans un climat en évolution (sur 30 ans) :

- Modélisée à l'aide de SWMM

Méthodologie

➤ Planification du renouvellement des conduites

- 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:** Choix de la meilleure option de renouvellement

Résultats

Résultats

➤ Performance structurale : identification des facteurs d'impact

1. Modèle de Cox sans covariables

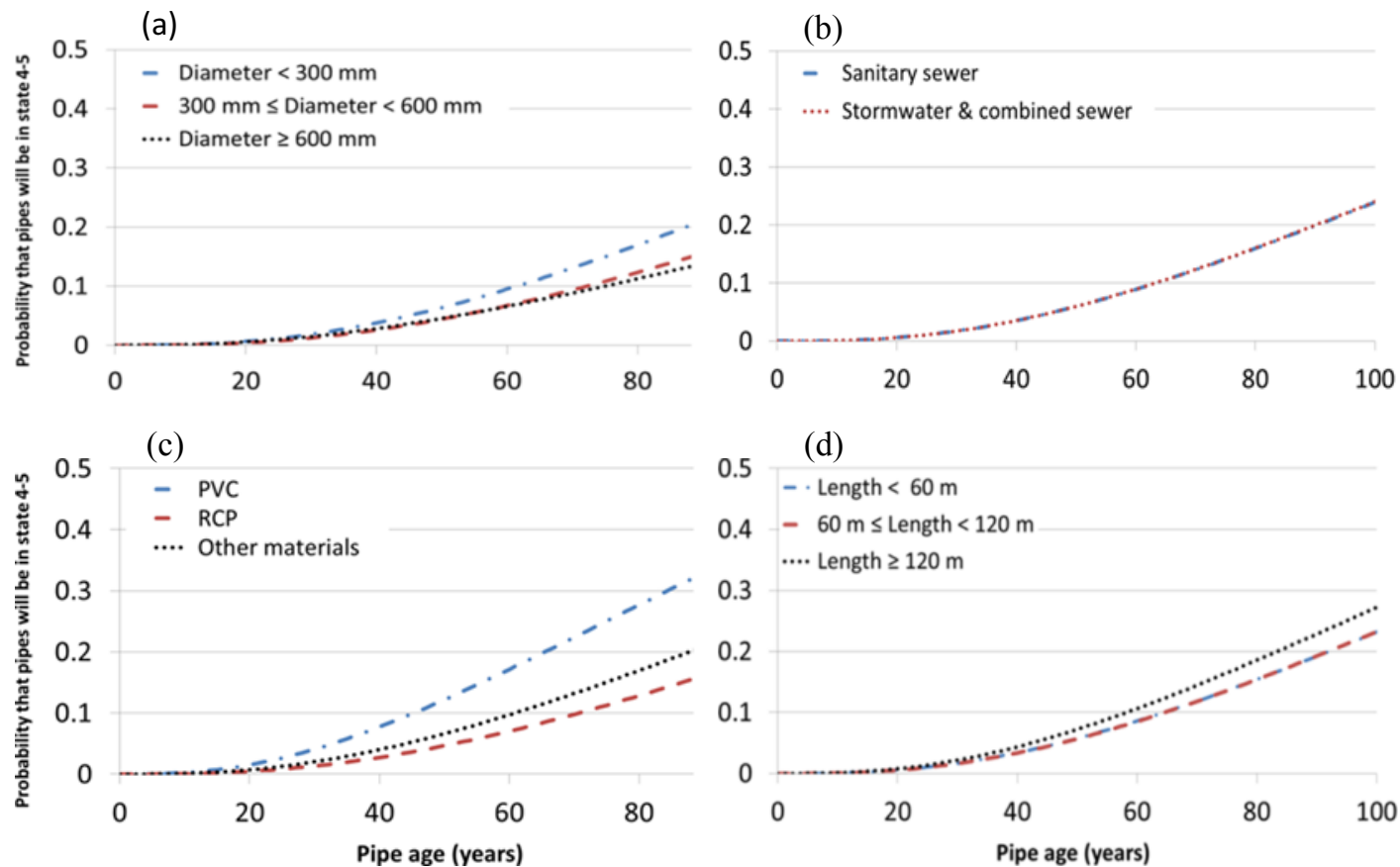


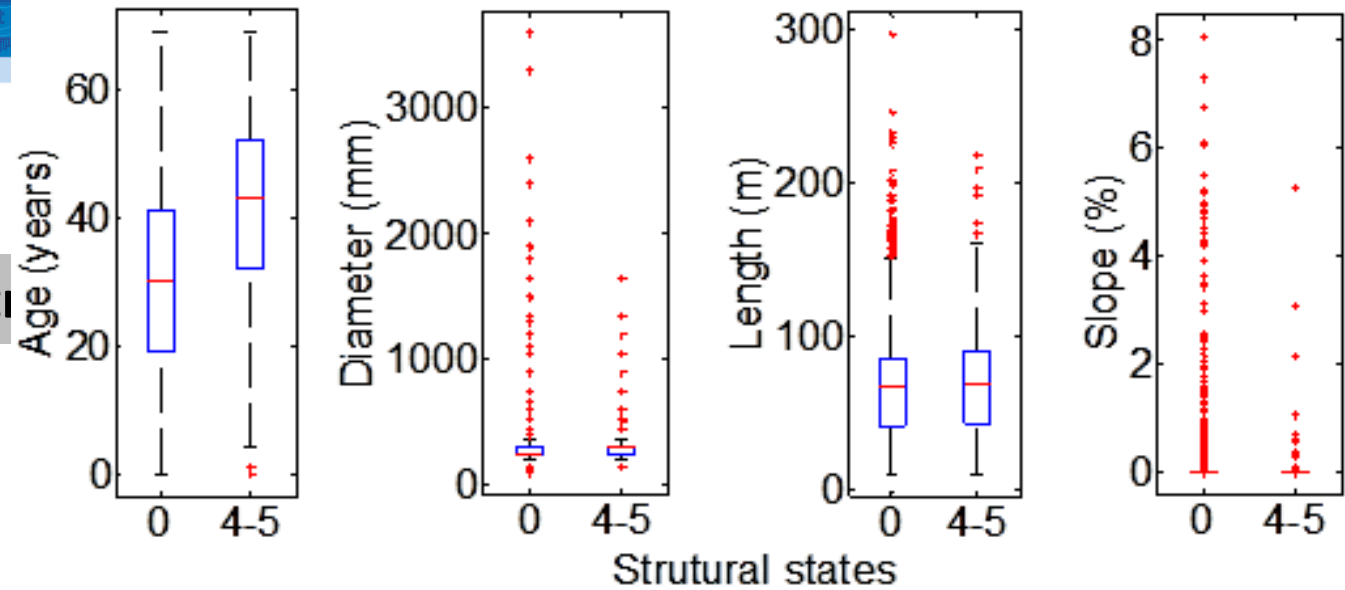
Figure 4. Probabilité que les conduites du réseau A soient dans l'état 4-5, classés par (a) diamètre, (b) type de réseau, (c) matériau et (d) longueur.

Résultats

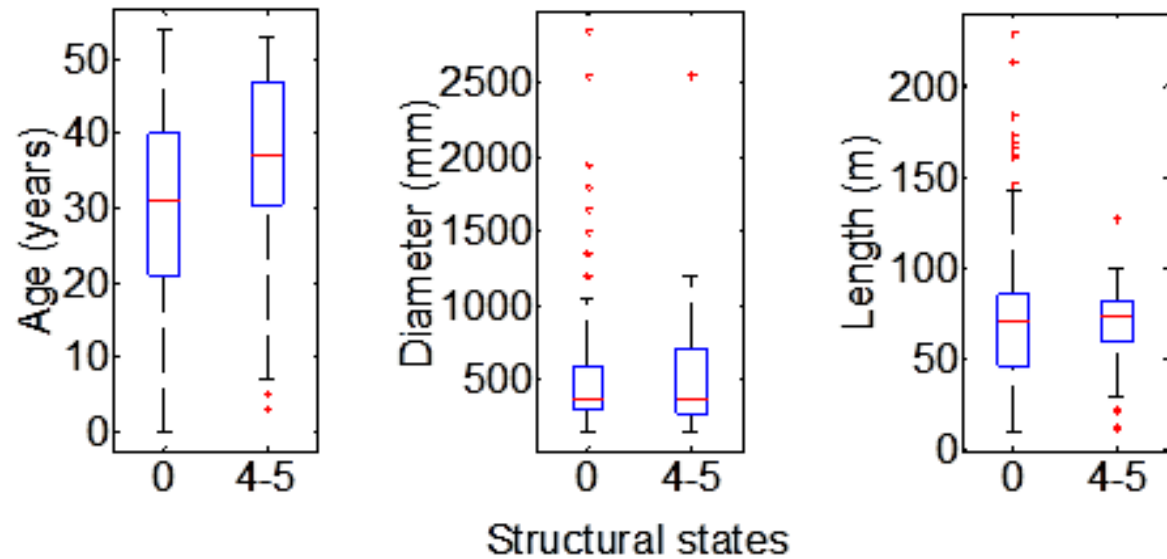
➤ Performance str

2. Kruskal-Wallis

Network A



Network B



Résultats

➤ Performance structurale : identification des facteurs d'impact

3. Modèle de Cox avec covariables

- ✓ Signification statistique de chaque facteur
 - L'âge des conduites seul peut expliquer, de façon significative, l'état structural des conduites des réseaux A et B
 - L'ajout d'autres facteurs n'améliore pas la prédiction de l'état structural de ces conduites au fil du temps

Résultats

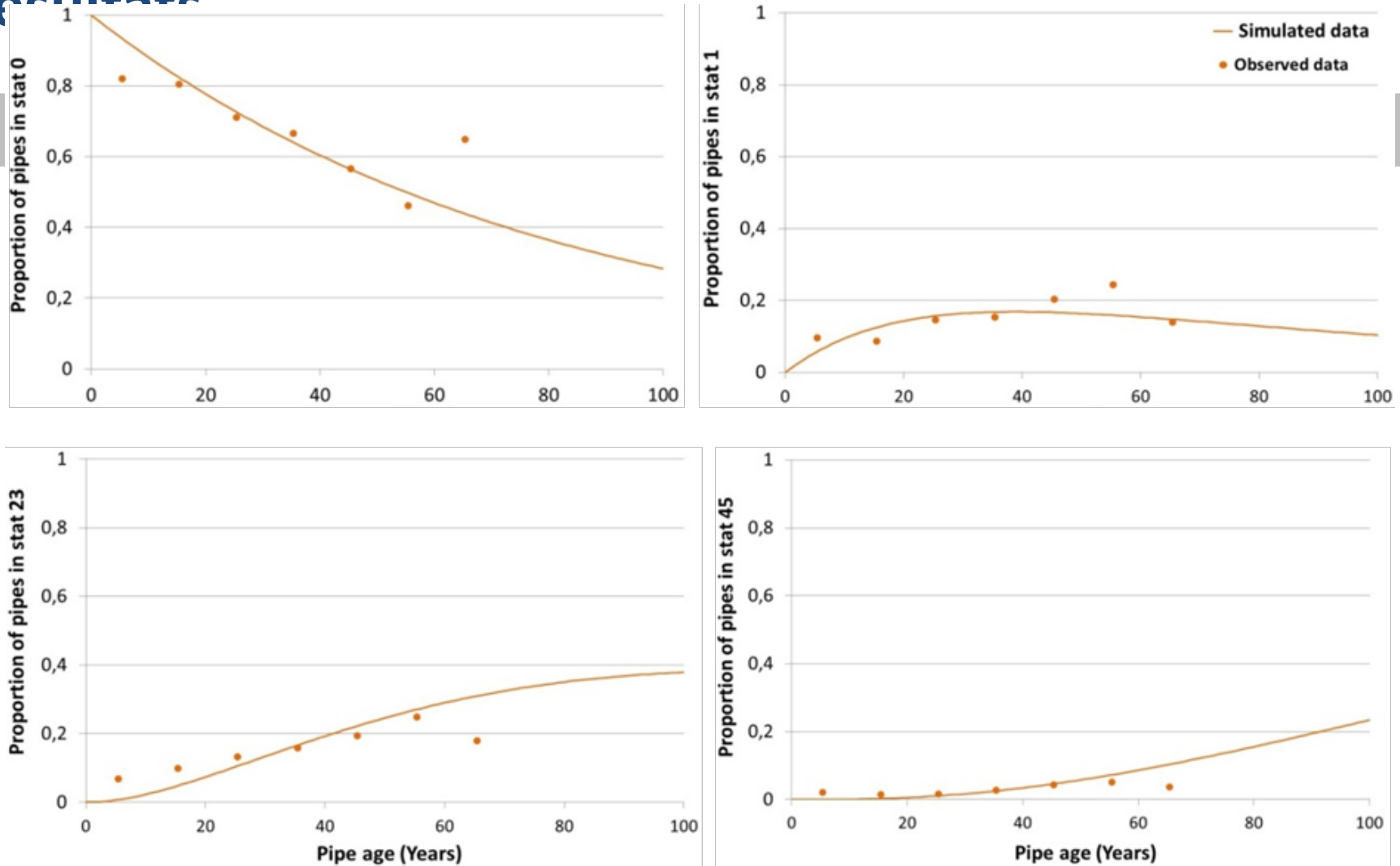


Figure 5. Comparaison entre les proportions de tuyaux dans les états 0, 1, 2-3 et 4-5 (très bons, bons, justes et mauvais états structurels) pour le réseau A

Résultats

➤ Performance structurale : identification des facteurs d'impact

3. Modèle de Cox avec covariables

- ✓ Signification statistique de chaque facteur
 - L'âge des conduites seul peut expliquer, de façon significative, l'état structural des conduites des réseaux A et B
 - L'ajout d'autres facteurs n'améliore pas la prédiction de l'état structural de ces conduites au fil du temps
- ❖ Ces résultats sont propres aux réseaux étudiés et auraient pu être différents pour des réseaux d'égout avec une grande variabilité de matériau et une plus large différence d'âge

Résultats

➤ Performance hydraulique

✓ Performance hydraulique

- Pour le secteur A

Événement	Durée	Imax	Volume total	Cdt critiques à H1 (%)	Cdt critiques à H6 (%)
1	0.92	91.50	20.05	6.35	8.55
2	1.67	103.70	28.94	8.42	11.01
3	9.17	54.90	52.99	5.57	8.94
4	2.08	61.00	29.42	4.02	6.74
5	24.00	62.72	42.00	8.16	13.47
6	23.42	47.57	48.65	3.11	5.57

Résultats

➤ Performance hydraulique

✓ Performance hydraulique

- Pour le secteur A

Conclusion

Conclusion

➤ Pour les réseaux étudiés:

- ✓ L'âge des conduites est le seul facteur ayant un impact significatif sur la modélisation de la détérioration structurale
- ✓ L'augmentation de l'intensité des précipitations due aux CC entraîne sur le réseau A une augmentation du nombre de conduites critiques, d'un point de vue hydraulique, variant de 30 à 80 %
- ❖ Les analyses à venir viseront à montrer dans quelle mesure la prise en compte simultanée des processus structural et hydraulique dans un contexte de CC entraîne une réduction des coûts et une amélioration de la performance globale des systèmes d'égouts

Merci