PORTRAIT DES INFRASTRUCTURES EN EAU DES MUNICIPALITÉS DU QUÉBEC

PROJET RÉALISÉ GRÂCE À L'AIDE FINANCIÈRE DU

FONDS CHANTIERS CANADA-QUÉBEC,

VOLET RECHERCHE ET PLANIFICATION

Canada

Québec

Centre d'expertise
et de recherche
en infrastructures
urbaines

www.ceriu.qc.ca

PIEMQ : Méthodologie de modélisation du comportement des infrastructures

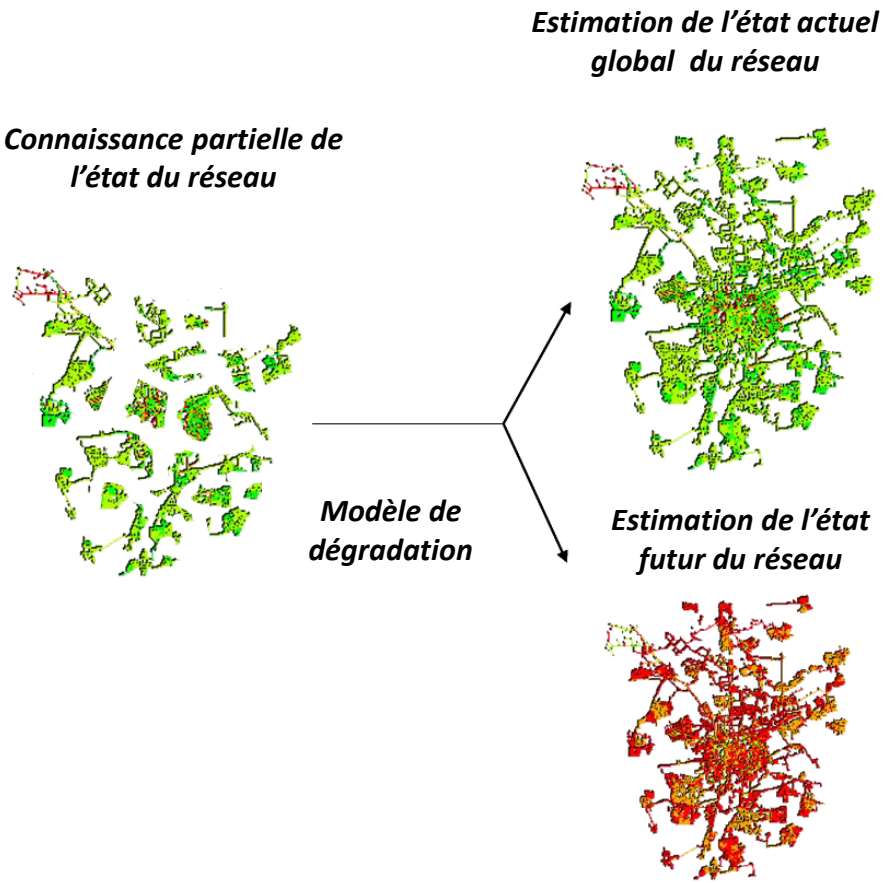
2016-11-22

Marc Didier Joseph, ing. jr

Introduction

Objectifs de la modélisation

1. Estimer les données manquantes pour les infrastructures non inspectées, ni évaluées (état actuel)
2. Prévoir la dégradation de l'état des infrastructures (utile pour la mise en place de plans d'investissement)



Présentation - Plan

Principe général de la démarche

Modélisation du réseau d'eau potable

Modélisation des réseaux d'eaux usées et pluviales

Modélisation des chaussées au-dessus des réseaux

Cas des immobilisations ponctuelles

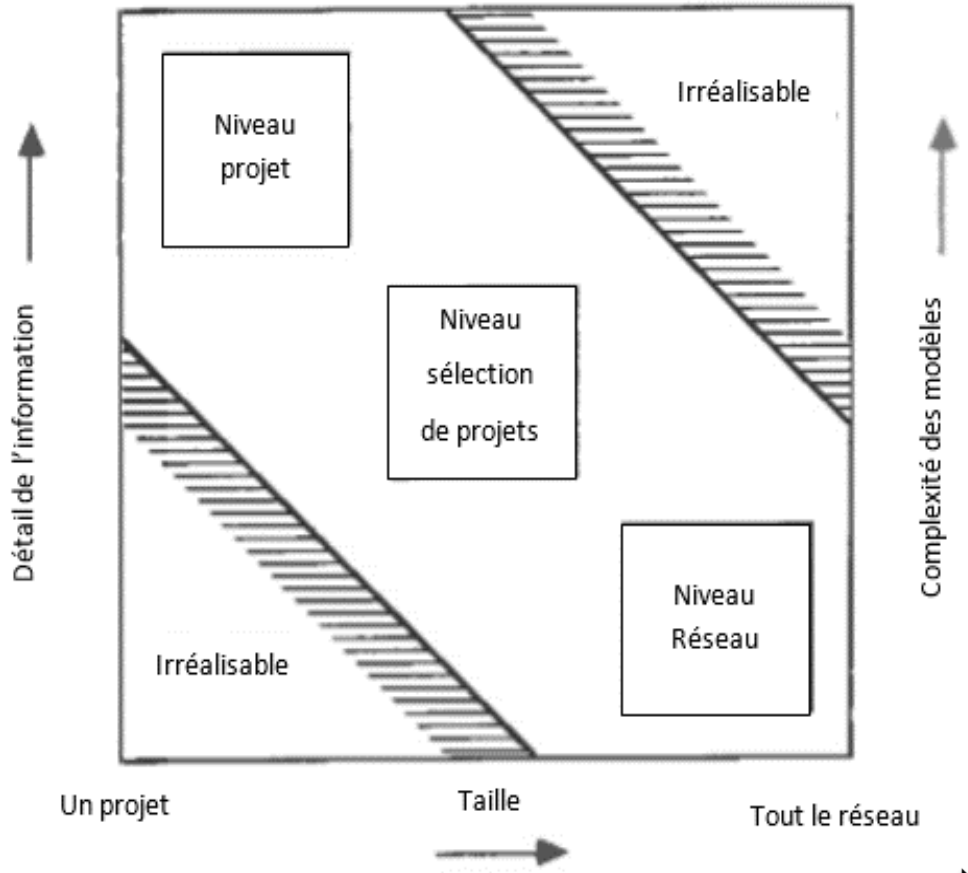
Limites des modèles retenus

Principe général de la démarche

Critères de choix du type de modélisation

- Le niveau d'analyse (réseau vs projet)
- La complexité du modèle
- La quantité et qualité des données

Haas et al, 1994

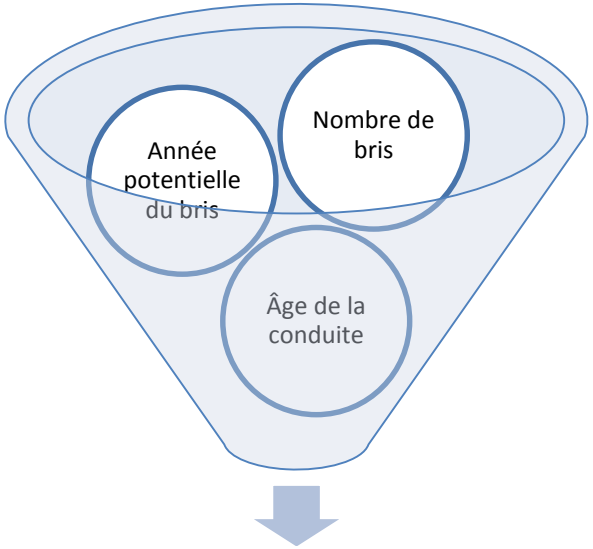


Réseau d'eau potable

Choix du modèle

- Modèles existants au niveau projet avec des paramètres difficilement disponibles au niveau réseau

- Peu d'études portant sur la modélisation d'un réseau d'eau potable de la taille de la province du Québec



Modèle de prévision

Réseau d'eau potable

Choix du modèle

Modèles agrégés

Modèles de régression

Modèles probabilistes

Réseau d'eau potable

Le modèle WEE (Weibull – Exponentielle – Exponentielle)

- Adapté du modèle de l'INRS
- Donne une fonction qui correspond à la probabilité qu'une défaillance (bris) survienne après un temps t donné

- Mise en forme avant la calibration :
  - Les bris survenus avant ou pendant l'année d'installation de la conduite ne sont pas considérées
  - Les conduites possédant une longueur inférieure à 10 m ne sont pas considérées
  - Les registres de bris incomplets ou vides ne sont pas considérés

Réseau d'eau potable

Choix des cohortes

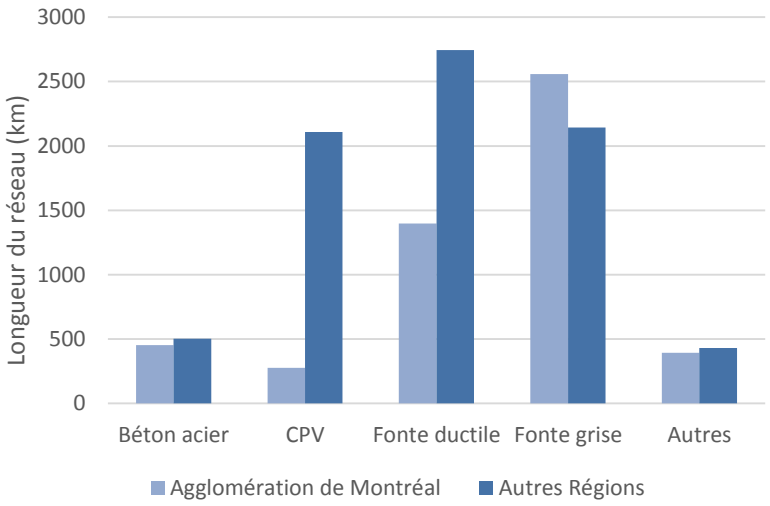
Les cohortes sélectionnées sont basées sur:

La localisation

- Municipalités de l'agglomération de Montréal
- Municipalités des autres régions

Les matériaux

- Béton acier
- CPV
- Fonte ductile
- Fonte grise
- Autres



Réseau d'eau potable

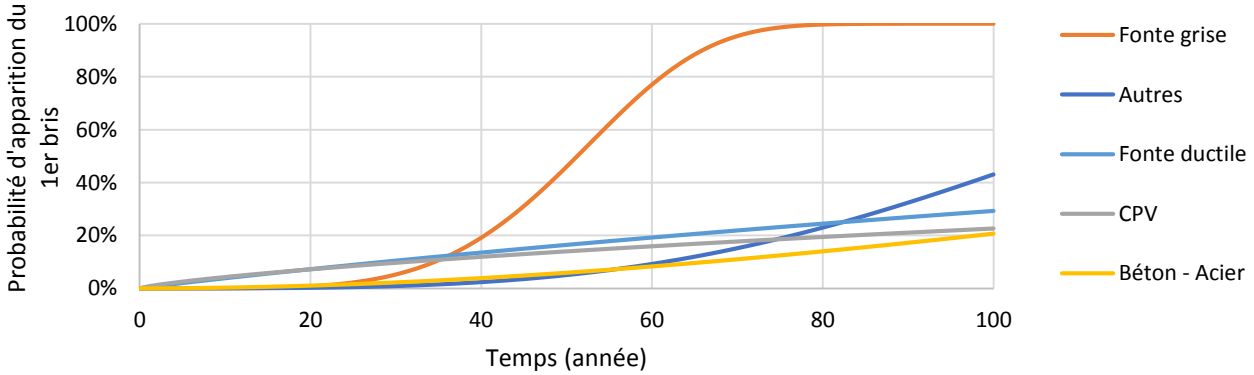
Calibration

- Classification des bris selon le rang et par ordre croissant d'âge
- Analyse fréquentielle utilisée
- Détermination des paramètres pour une distribution de Weibull (1er bris)
  - $S(t) = e^{-t/\lambda^k}$
  - Détermination de λ et k minimisant les moindres carrés
- Détermination des paramètres pour une distribution exponentielle (2e bris et plus)
  - $S(t) = e^{-\lambda t}$
  - Détermination de λ minimisant les moindres carrés

Réseau d'eau potable

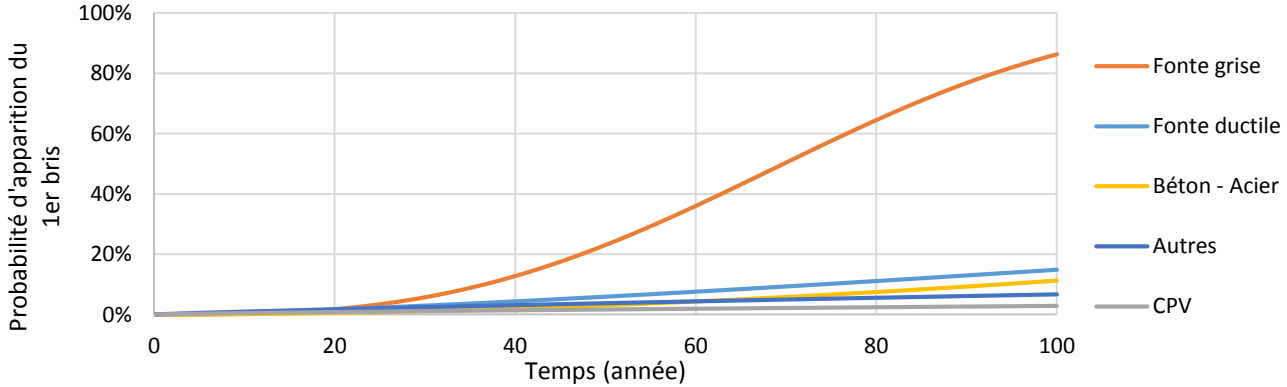
Courbes de survie

- Modélisation de la probabilité d'apparition du 1er bris en fonction du temps $F(t) = 1 - S(t)$



Agglomération de Montréal

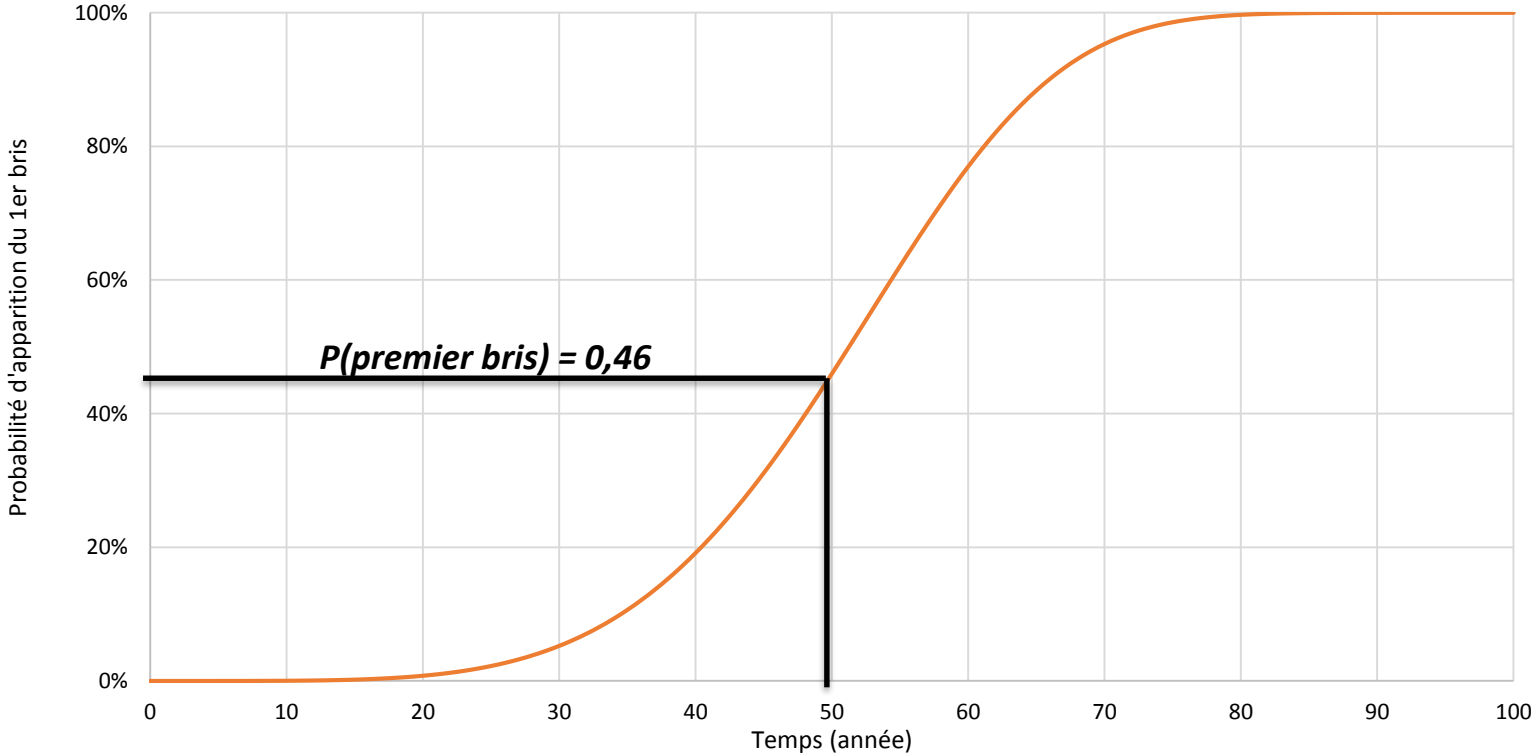
Autres régions



Réseau d'eau potable

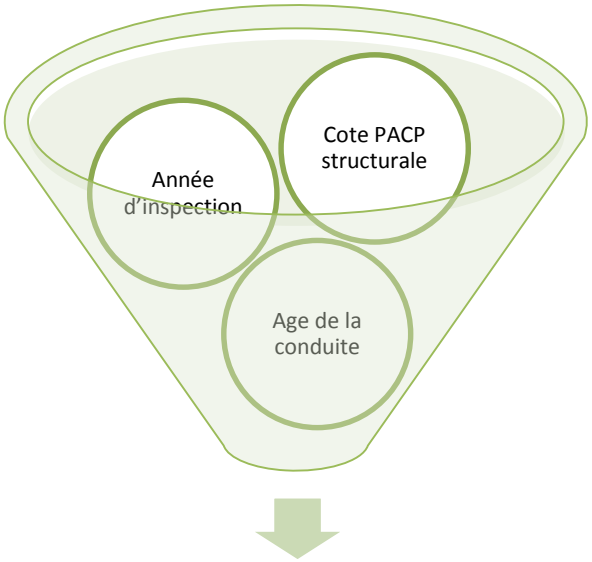
Fonctions de survie

Exemple d'une conduite d'eau potable en fonte grise de 50 ans située dans l'agglomération de Montréal sans aucun bris enregistré



Choix du modèle

- Choix du modèle en fonction des données disponibles
- Revue extensive de la littérature scientifique sur différentes modélisations de la dégradation des conduites d'égouts (Micevski, Tran, Kleiner, etc.)



Modèle de prévision

Choix du modèle

Niveau de complexité, temps de développement et taille des données

Modèles déterministes	Modèles probabilistes	Modèles d'intelligence artificielle

Le modèle Markov homogène

- Processus aléatoire sans mémoire
- Permet de calculer une matrice de transition qui fournit les probabilités de passages d'un état à un autre

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 1-q_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_{22} & 1-q_{22} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_{33} & 1-q_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_{44} & 1-q_{44} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

q_{ii} : Probabilité que la conduite reste dans la même condition

$1 - q_{ii}$: Probabilité que la conduite transite vers la prochaine pire condition

Choix des cohortes

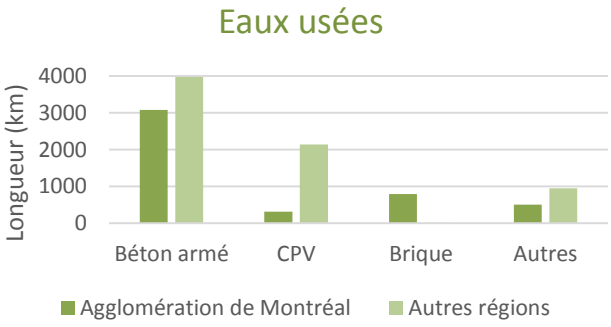
Les cohortes sélectionnées sont définies selon:

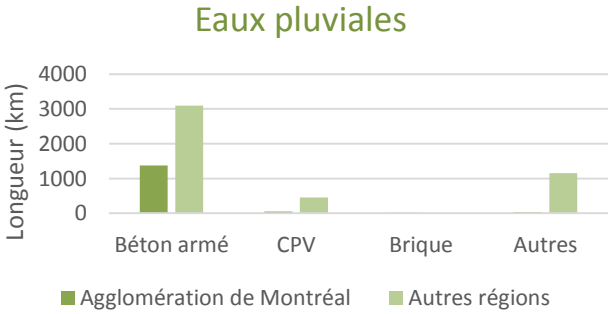
La localisation

- Municipalités de l'agglomération de Montréal
- Municipalités des autres régions

Les matériaux

- Béton amé
- CPV
- Brique





Réseaux d'eaux usées et pluviales

Calibration

- La méthode du Maximum de vraisemblance est utilisée pour la calibration des matrices de transition à l'aide de l'algorithme du Metropolis-Hasting

$$\log\left(L\left(Y\middle|P_{ij}\right)\right) = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{5} n_k^t * \log(s_k^t)$$

- Probabilités de transition estimées en utilisant la distribution *a posteriori* qui est en relation avec les conditions structurales observées (sur 60 ans) des conduites de l'échantillon

Réseaux d'eaux usées et pluviales

Calibration

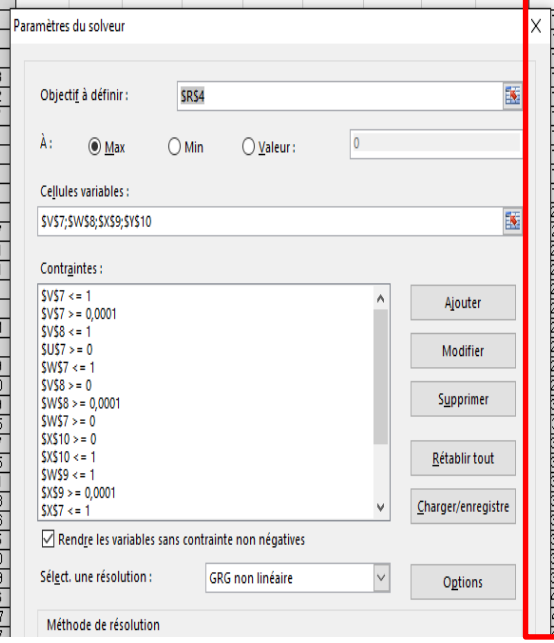
$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{5} n_k^t * \log(s_k^t)$$

s_k^t $\log(s_k^t)$ $n_k^t * \log(s_k^t)$ n_k^t

	pit						logi										
Age	p1t	p2t	p3t	p4t	p5t	Cote mo	log1	log2	log3	log4	log5						
																logLike	-1956,3
0	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,00						-0,01056	0				0,0
1	0,992	0,008	0,000	0,000	0,000	1,01	-0,00353	-2,09213				-0,12697	0	0			-0,1
2	0,984	0,016	0,000	0,000	0,000	1,02	-0,00705	-1,79716	-3,79917			-0,15872	0	0	0		-0,2
3	0,976	0,024	0,000	0,000	0,000	1,02	-0,01058	-1,62713	-3,33307	-5,12257		-0,05643	0	0	0	0	-0,1
4	0,968	0,031	0,001	0,000	0,000	1,03	-0,01411	-1,50824	-3,04304	-4,53822	-6,195	-0,12345	-1,41738	0	0	0	-1,5
5	0,960	0,038	0,001	0,000	0,000	1,04	-0,01764	-1,41738	-2,83215	-4,15791	-5,51014	-0,04232	0	0	0	0	0,0
6	0,952	0,045	0,002	0,000	0,000	1,05	-0,02116	-1,34424	-2,667	-3,87442	-5,04705	-0,29627	-3,84999	0	0	0	-4,1
7	0,945	0,052	0,003	0,000	0,000	1,06	-0,02469	-1,28333	-2,53177	-3,64885	-4,69304	-0,14108	0	0	0	0	-0,1
8	0,937	0,059	0,004	0,000	0,000	1,07	-0,02822	-1,23137	-2,4177	-3,46212	-4,4059	-0,47615	0	0	0	-8,328	-8,8
9	0,930	0,065	0,005	0,000	0,000	1,08	-0,03174	-1,18624	-2,3194	-3,30333	-4,16445	-0,35271	-2,29302	0	0	0	-2,6
10	0,922	0,071	0,006	0,001	0,000	1,09	-0,03527	-1,14651	-2,2333	-3,16566	-3,95635	-1,28033	-7,77792	0	0	0	-9,1
11	0,915	0,077	0,007	0,001	0,000	1,09	-0,0388	-1,11113	-2,15633	-3,0445	-3,77373	-0,46557	-3,23807	-2,0885	0	-3,61125	-9,4
12	0,907	0,083	0,008	0,001	0,000	1,10	-0,04232	-1,07936	-2,0885	-2,93663	-3,61125	-0,32096	-1,0506	-2,02666	-2,83968	-3,46503	-13,8
13	0,900	0,089	0,009	0,001	0,000	1,11	-0,04585	-1,0506	-2,02666	-2,83968	-3,46503	-0,98758	-2,04884	0	-5,50371	-6,66415	-15,2
14	0,893	0,095	0,011	0,002	0,000	1,12	-0,04938	-1,02442	-1,97041	-2,75186	-3,33242	-2,80402	-7,00316	-1,91892	0	0	-11,7
15	0,885	0,100	0,012	0,002	0,001	1,13	-0,05291	-1,00045	-1,91892	-2,67178	-3,21112	-0,6772	-0,97841	0	0	0	-1,7
16	0,878	0,105	0,013	0,003	0,001	1,14	-0,05643	-0,97841	-1,87155	-2,59836	-3,09952	-2,75817	-1,91615	-1,8278	0	0	-6,5
17	0,871	0,110	0,015	0,003	0,001	1,15	-0,05996	-0,95807	-1,8278	-2,53072	-2,99627	-3,80924	-2,8177	0	0	0	-6,6
18	0,864	0,115	0,016	0,003	0,001	1,16	-0,06349	-0,93923	-1,78721	-2,46815	-2,90032	-3,35072	-4,60864	0	0	0	-8,0
19	0,857	0,120	0,018	0,004	0,002	1,17	-0,06701	-0,92173	-1,74945	-2,41004	-2,81079	-4,21838	-6,03829	-4,86357	0	0	-15,1
20	0,850	0,124	0,019	0,004	0,002	1,18	-0,07054	-0,90542	-1,7142	-2,35592	-2,72694	-1,1851	-3,40033	0	0	0	-4,6
21	0,843	0,129	0,021	0,005	0,002	1,19	-0,07407	-0,8902	-1,68122	-2,30535	-2,64816	-2,73348	-4,19151	0	-2,13226	0	-9,1
22	0,836	0,133	0,022	0,006	0,003	1,21	-0,0776	-0,87596	-1,65028	-2,25799	-2,57394	-5,96075	-4,13605	-23,1528	-18,8553	0	-52,1
23	0,830	0,137	0,024	0,006	0,003	1,22	-0,08112	-0,86261	-1,62119	-2,21352	-2,50383	-3,9997	-2,45027	0	0	0	-6,4
24	0,823	0,141	0,025	0,007	0,004	1,23	-0,08465	-0,85008	-1,59379	-2,17169	-2,43745	-6,71555	-2,42069	-4,9985	-4,05295	-2,20316	-16,9
25	0,816	0,145	0,027	0,007	0,004	1,24	-0,08818	-0,8383	-1,56795	-2,13226	-2,37446	-6,34168	-12,4874	-8,63524	0	0	-27,5
26	0,810	0,149	0,029	0,008	0,005	1,25	-0,0917	-0,82721	-1,54352	-2,09503	-2,31458	-6,32051	-23,9502	-1,42134	0	0	-31,7
27	0,803	0,152	0,030	0,009	0,006	1,26	-0,09523	-0,81676	-1,52041	-2,05982	-2,25756	-20,4852	-55,0894	-7,02166	-1,88326	0	-84,5
28	0,797	0,156	0,032	0,009	0,006	1,27	-0,09876	-0,8069	-1,4985	-2,02648	-2,20316	-7,19523	-12,1291	-4,16434	-3,7172	-3,84416	-31,1
29	0,790	0,159	0,033	0,010	0,007	1,28	-0,10229	-0,79758	-1,47772	-1,99485	-2,15118	-16,4185	-35,3148	-6,86321	-3,67014	0	-62,3
30	0,784	0,163	0,035	0,011	0,008	1,30	-0,10581	-0,78878	-1,45738	-1,96483	-2,10146	-17,3955	-35,7618	-6,78937	0	-3,68413	-63,6
31	0,777	0,166	0,036	0,012	0,009	1,31	-0,10934	-0,78046	-1,43921	-1,93629	-2,05382	-19,0532	-25,1269	-14,7815	-8,95569	-3,60942	-71,5
32	0,771	0,169	0,038	0,012	0,010	1,32	-0,11287	-0,77259	-1,42134	-1,90913	-2,00813	-20,2383	-22,7332	-10,6423	-7,08245	-5,30516	-66,0
33	0,765	0,172	0,039	0,013	0,011	1,33	-0,11639	-0,76513	-1,40433	-1,88326	-1,96425	-27,0985	-50,2269	-6,58701	-5,25292	-1,73324	-90,9
34	0,759	0,175	0,041	0,014	0,012	1,35	-0,11992	-0,75807	-1,38811	-1,8586	-1,92207	-31,0382	-35,4174	0	0	-5,09765	-71,6
35	0,753	0,177	0,042	0,015	0,013	1,36	-0,12345	-0,75138	-1,37264	-1,83507	-1,88149	-31,8142	-45,9488	-15,5193	-3,42834	-4,99992	-101,7
36	0,746	0,180	0,044	0,015	0,014	1,37	-0,12697	-0,74504	-1,35787	-1,81261	-1,8424	-28,2942	-28,5339	-17,9477	-1,69691	-3,26919	-79,7
37	0,740	0,182	0,045	0,016	0,016	1,38	-0,1305	-0,73903	-1,34377	-1,79114	-1,80471						
38	0,734	0,185	0,047	0,017	0,017	1,40	-0,13403	-0,73333	-1,33029	-1,77061	-1,76835						
39	0,729	0,187	0,048	0,018	0,018	1,41	-0,13756	-0,72793	-1,3174	-1,75097	-1,73324						
40	0,723	0,189	0,050	0,019	0,020	1,42	-0,14108	-0,7228	-1,30507	-1,73217	-1,69932						
41	0,717	0,191	0,051	0,019	0,022	1,44	-0,14461	-0,71795	-1,29327	-1,71417	-1,66651						
42	0,711	0,193	0,053	0,020	0,023	1,45	-0,14814	-0,71335	-1,28198	-1,69691	-1,63476						

Matrice de transition

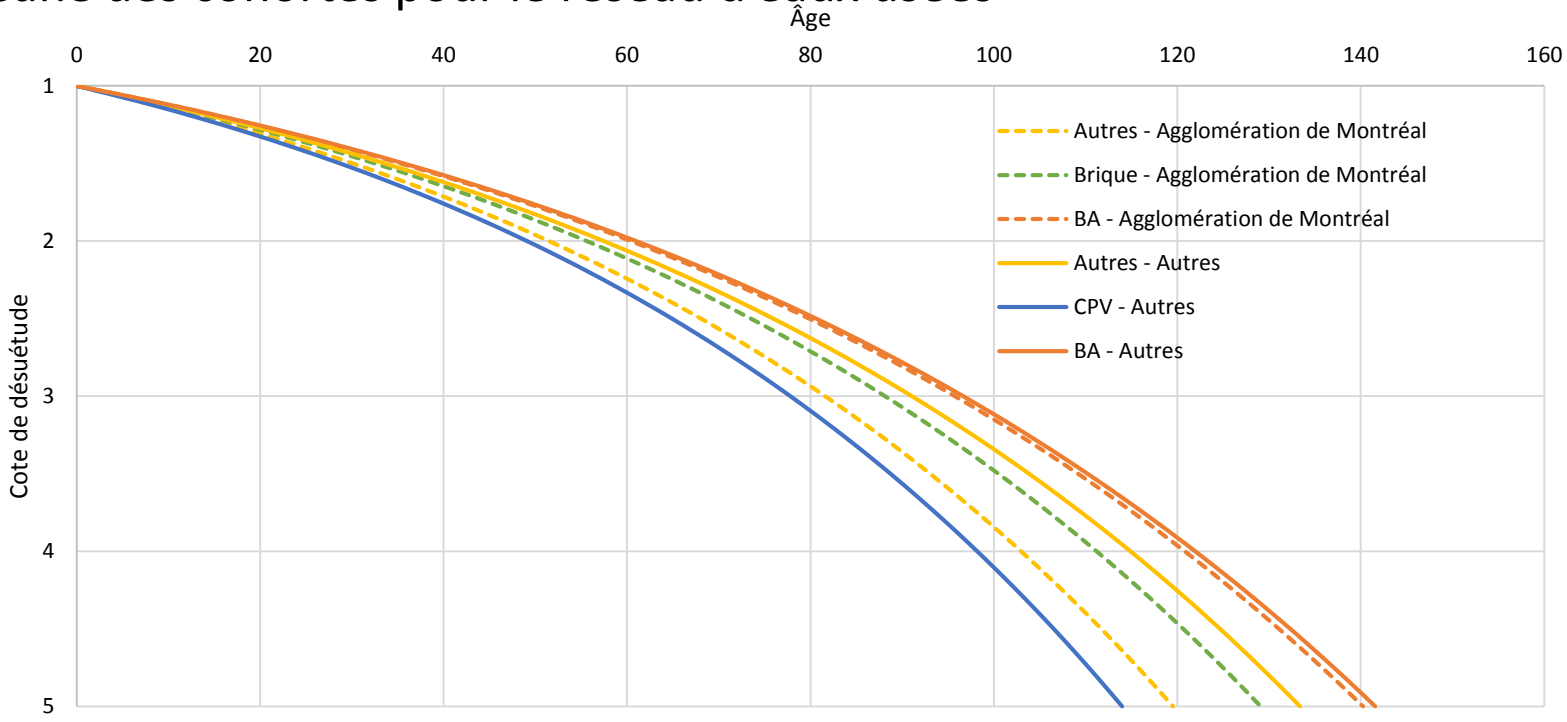
	1	2	3	4	5	Total
1	0,9919115	0,0080885	0	0	0	1
2	0	0,980368	0,019632	0	0	1
3	0	0	0,95251	0,04749	0	1
4	0	0	0	0,9153612	0,0846388	1
5	0	0	0	0	1	1



Modélisation (100%)					
	Données observées				
Age	1	2	3	4	5
0	0	0	0	0	0
1	3	0	0	0	0
2	18	0	0	0	0
3	15	0	0	0	0
4	4	0	0	0	0
5	7	1	0	0	0
6	2	0	0	0	0
7	12	3	0	0	0
8	5	0	0	0	0
9	15	0	0	0	2
10	10	2	0	0	0
11	33	7	0	0	0
12	11	3	1	0	1
13	7	1	1	0	3
14	20	2	0	2	2
15	53	7	1	0	0
16	12	1	0	0	0
17	46	2	1	0	0
18	60	3	0	0	0
19	50	5	0	0	0
20	52	2	0	0	0
21	55	7	2	0	0
22	71	5	3	1	0
23	52	7	3	0	0
24	14	4	0	0	0
25	31	5	0	1	0
26	65	5	15	9	0
27	42	3	0	0	0
28	68	3	1	2	1
29	56	8	1	4	3
30	76	10	0	0	0
31	58	16	6	0	0
32	56	31	1	0	0
33	176	72	5	1	0
34	60	16	3	2	2
35	133	47	5	2	0
36	137	48	5	0	2
37	146	34	11	5	2
38	151	31	8	4	3
39	197	69	5	3	1
40	220	49	0	0	3
41	220	64	12	2	3
42	181	40	14	1	3

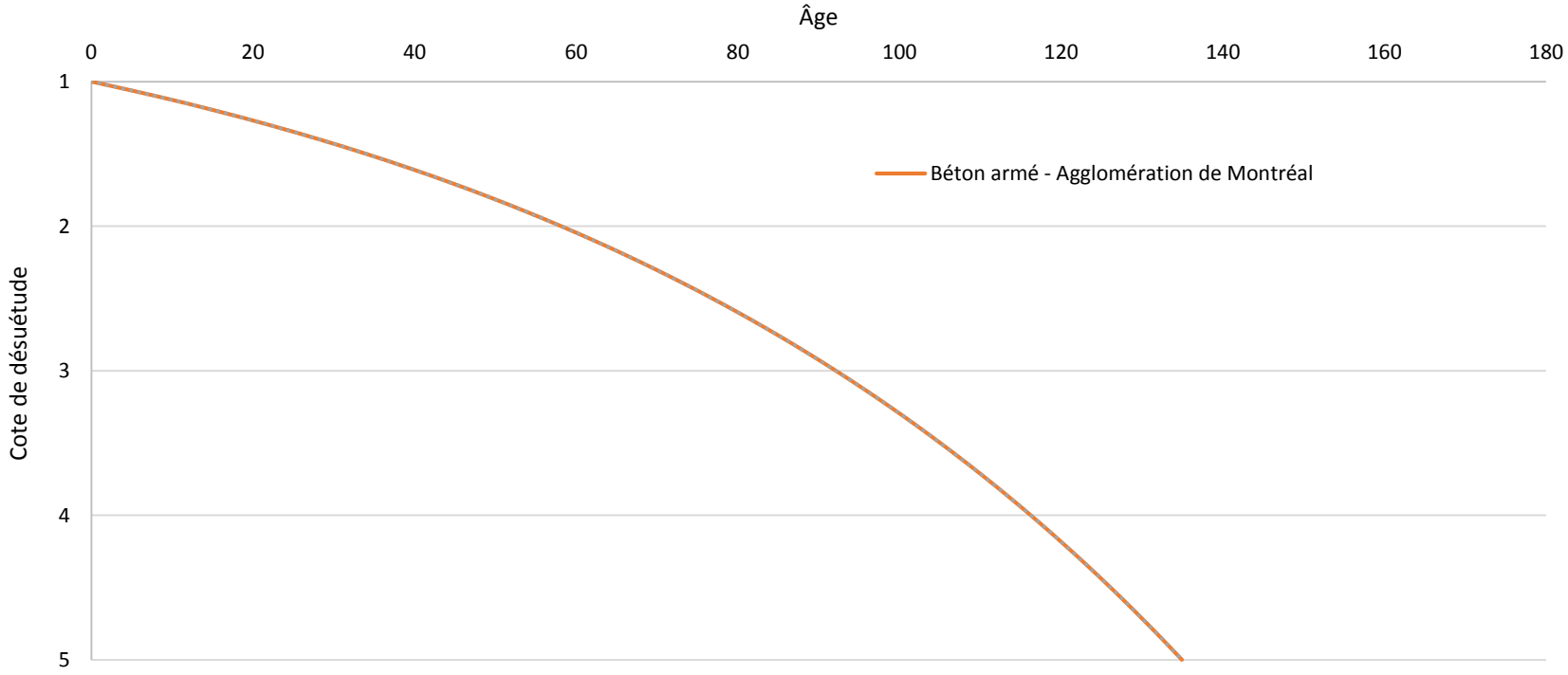
Courbes de dégradation

Les matrices de transition permettent d'obtenir les courbes de dégradation de chacune des cohortes pour le réseau d'eaux usées



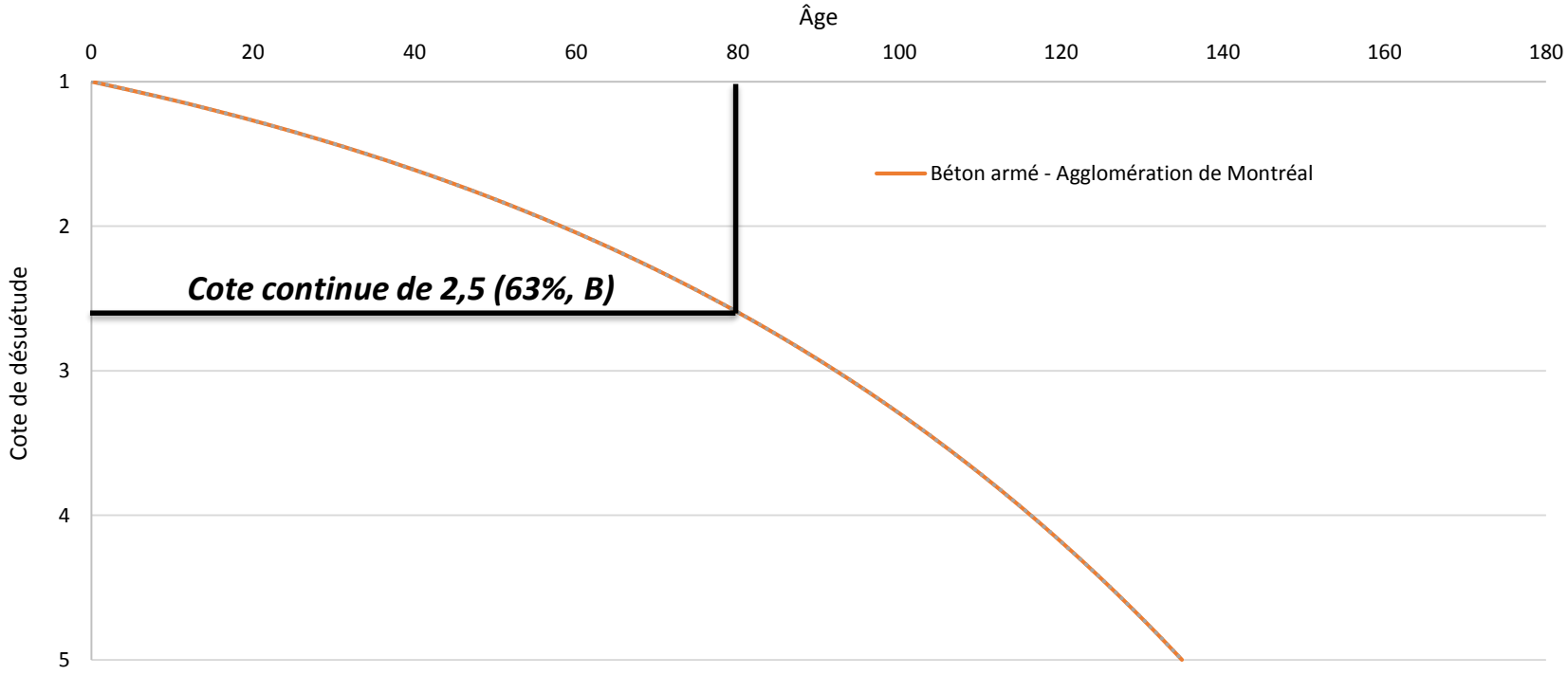
Courbes de dégradation

Les matrices de transition permettent d'obtenir les courbes de dégradation de chacune des cohortes pour le réseau d'eaux pluviales



Courbes de dégradation

Exemple d'une conduite d'eaux pluviales en béton armé de 80 ans située en dehors de l'agglomération de Montréal et non inspectée

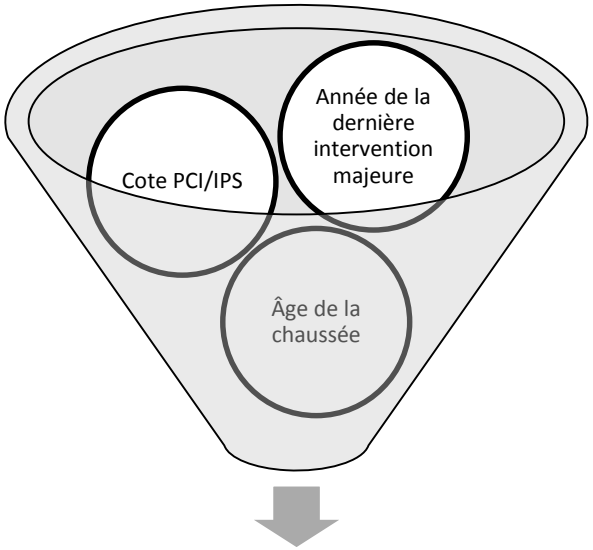


Chaussées au dessus-des réseaux

Choix du modèle

- Littérature scientifique abondante sur la modélisation des réseaux de chaussées (régression avec contraintes, Markov etc.)

- Choix d'un modèle de régression en fonction des données des plans d'intervention



Modèle de prévision

Chaussées au dessus-des réseaux

Choix des cohortes

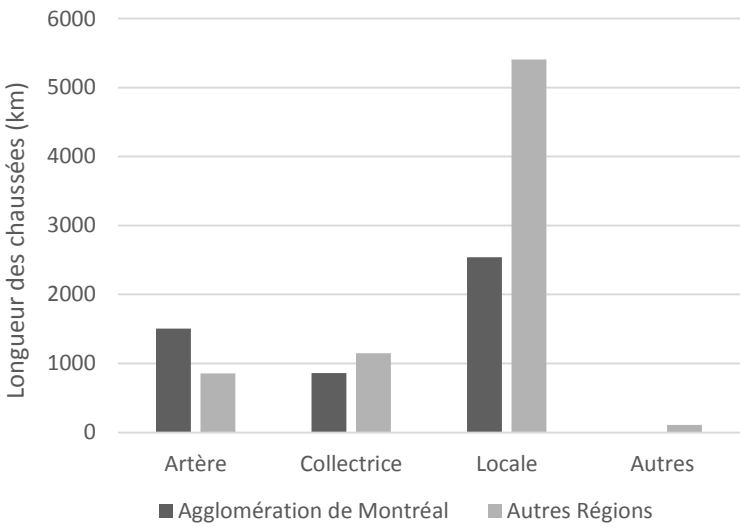
Les cohortes sélectionnées sont basées sur:

La localisation

- Municipalités de l'agglomération de Montréal
- Municipalités des autres régions

Le type de route

- Artère
- Collectrice
- Locale



Chaussées au dessus-des réseaux

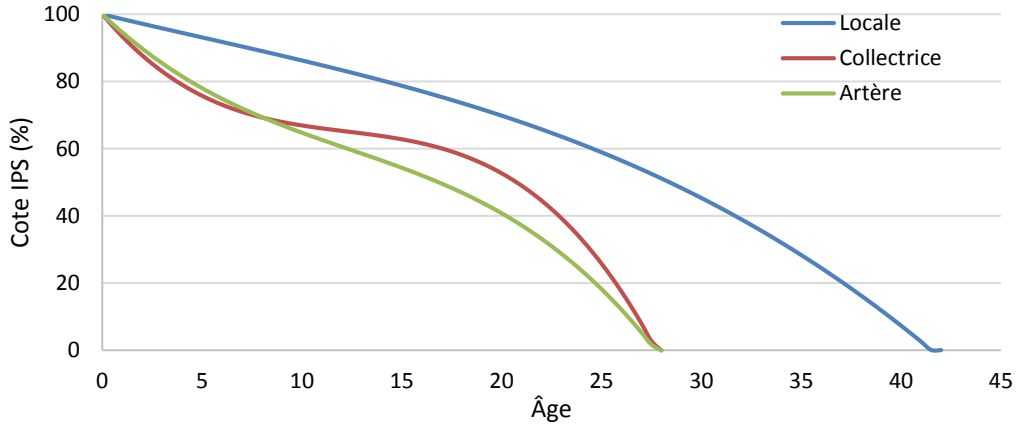
Calibration

- Détermination de l'âge des chaussées en fonction de l'année de la dernière intervention majeure
- Calibration faite en utilisant sa description centrale

- Pour la calibration selon la méthode de régression polynomiale, les contraintes suivantes ont été imposées :
  - La pente doit être toujours négative, étant donné que, sans aucune réfection de la chaussée, sa cote d'état ne peut que décroitre avec le temps
  - À l'âge zéro, (mise en service de la chaussée), la cote d'état doit être égale à 100

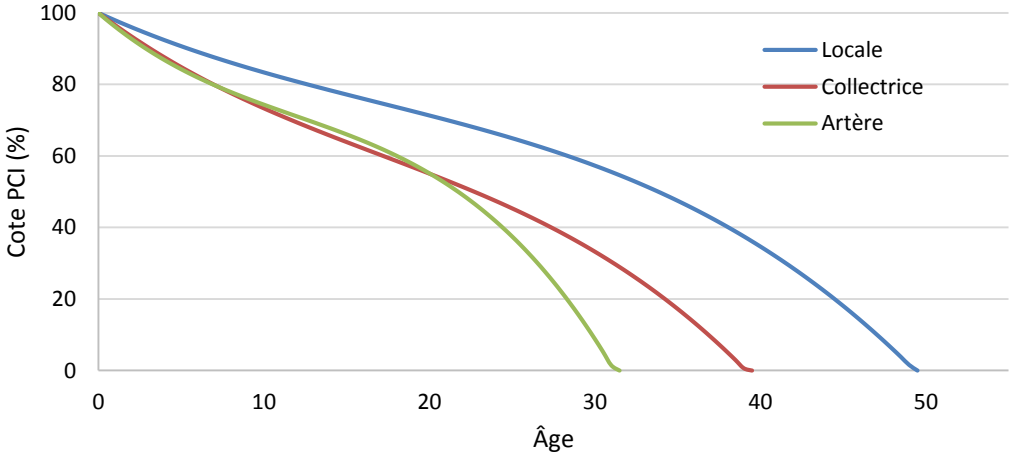
Chaussées au dessus-des réseaux

Modèles de dégradation



Agglomération de Montréal

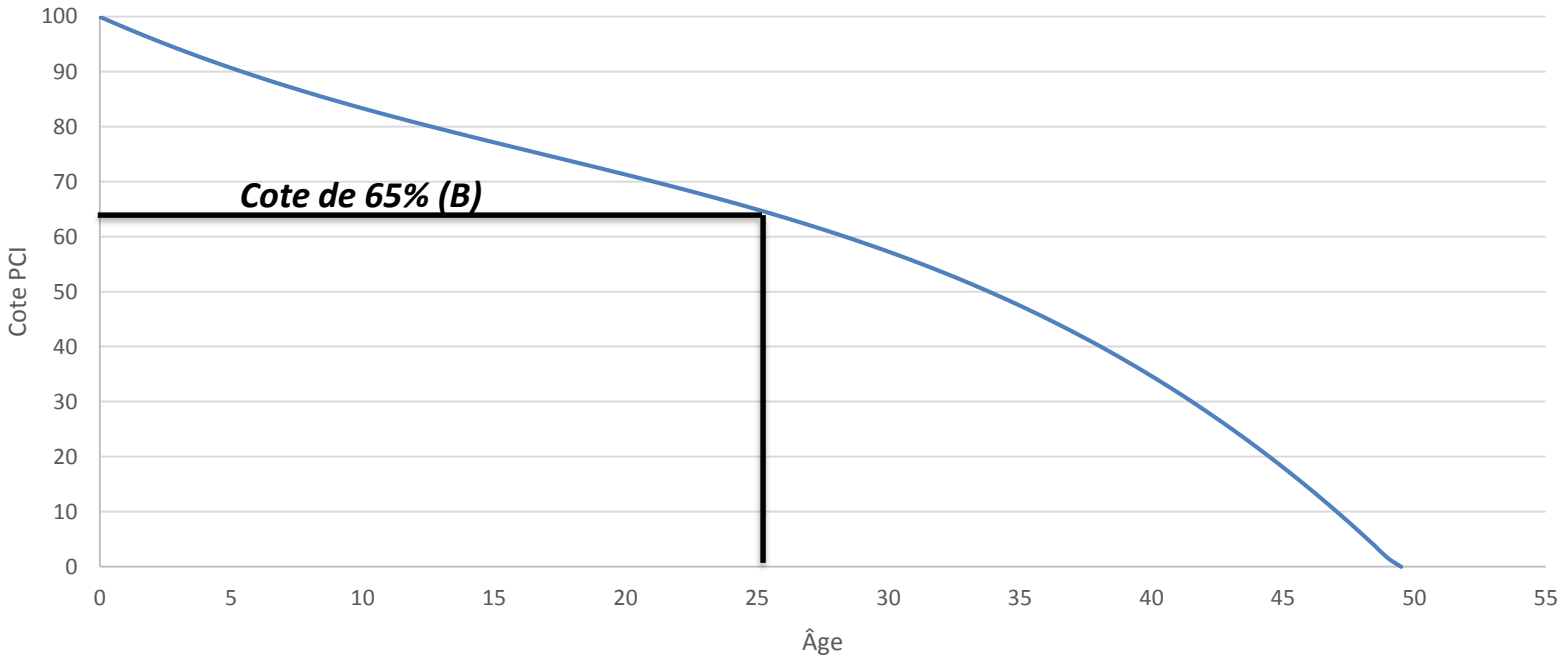
Autres régions



Chaussées au dessus-des réseaux

Courbes de dégradation

Exemple d'une chaussée locale de 25 ans située en dehors de l'agglomération de Montréal et non auscultée



Immobilisations ponctuelles

Choix des cohortes

Les cohortes sélectionnées sont définies selon:

		Durée de vie utile théorique	
Types d'immobilisations		**Civil**	**Mécanique**
Eau potable	Approvisionnement et production (bâtiment avec structure en béton)	100 ans	40 ans
	Approvisionnement et production (bâtiment sans structure en béton)	40 ans	40 ans
	Réservoir	40 ans	20 ans
	Poste de pompage et de régulation de pression	40 ans	20 ans
Eaux usées et pluviales	Installations de traitement (bâtiment, étang et digue)	100 ans	40 ans
	Installations de traitement (bâtiment de service ou sans structure en béton)	40 ans	40 ans
	Réservoir et bassin de rétention	60 ans	-
	Poste de pompage	40 ans	20 ans

Immobilisations ponctuelles

Méthodologie de calcul

- Détermination du pourcentage de vie restante :

$$\%\,DVR = \frac{Durée\ de\ vie\ restante\ (DVR)}{\hat{A}ge\ de\ l'immobilisation + DVR} = \frac{DVR}{Durée\ de\ vie\ utile\ (DVU)}$$

- Pour les éléments mécaniques (excluant les autres équipements majeurs, les réservoirs et bassins de rétention), âge apparent calculé en posant les hypothèses suivantes :
  - La durée de vie utile théorique est utilisée pour chaque immobilisation
  - Au moins une réhabilitation a été réalisée sur la partie mécanique en 20 ans de service

Limites des modèles

Réseau d'eau potable

- Paramètres de modélisation niveau réseau adapté au niveau segment
- Critères d'état au niveau segment vs Critères d'état au niveau réseau

Réseau d'eaux usées et pluviales

- Paramètres de modélisation niveau réseau adapté au niveau segment
- Réseau d'eaux pluviales des 100 villes basé sur la cohorte béton armé de l'agglomération de Montréal

Chaussées au-dessus des réseaux

- Paramètres de modélisation niveau réseau adapté au niveau segment
- Cote PCI sans année d'auscultation

Immobilisations ponctuelles

- Évaluation du risque de défaillance uniquement

Période de questions

PORTRAIT DES INFRASTRUCTURES EN EAU DES MUNICIPALITÉS DU QUÉBEC

PROJET RÉALISÉ GRÂCE À L'AIDE FINANCIÈRE DU

FONDS CHANTIERS CANADA-QUÉBEC,

VOLET RECHERCHE ET PLANIFICATION

Canada Québec