

**- AIDE À LA DÉCISION -**

# **ÉTAT DES ACTIFS ET OPTIMISATION DES INTERVENTIONS**

## **SUR LE RÉSEAU D'EAU POTABLE**

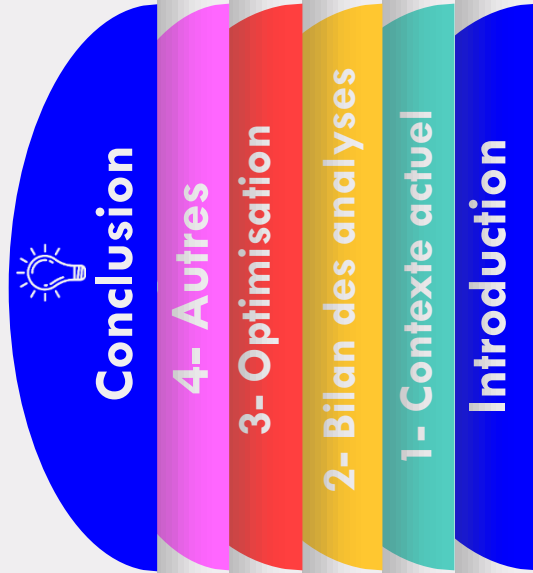
### **Analyse de la rétroaction des municipalités**

**02 Décembre 2019**

Hermann Tchougourou, Ing. M. Ing. PhD. Candidat  
Ville de Montréal

Saad Bennis, Ing. PhD. Professeur à l'ÉTS  
École de Technologie Supérieur de Montréal

# Plan de la présentation



- Introduction
  - 1- Contexte actuel d'élaboration des PI
  - 2 - Bilan des études et analyses réalisées
  - 3 - Méthodologie d'optimisation proposée
  - 4- Autres études en cours
- Conclusion

# Introduction



Les infrastructures et les réseaux d'eau potable en particulier



Besoin, Analyse, Conception, Construction

Utilisation, Opération et Entretien

Abandon, Réhabilitation majeure, Reconstruction

**Connaissance** de l'état des actifs, **Suivi** de l'état & **Interventions** efficaces au bon moment



Introduction

# Contexte actuel d'élaboration des PI



GUIDE D'ÉLABORATION D'UN PLAN  
D'INTERVENTION POUR LE RENOUVELLEMENT  
DES CONDUITES D'EAU POTABLE, D'ÉGOUTS  
ET DES CHAUSSÉES

Guide destiné au milieu municipal québécois  
NOVEMBRE 2013



Affaires municipales,  
Régions et Occupation  
du territoire  
Québec

## Guide MAMH 2013 (Québec)

- 1- Nb de Bris,
- 2- Taux de Bris
- 3- Durée de vie
- 4- Qualité eau
- 5- Perte épaisseur
- 6- gel
- 7- etc...

### 11 Indicateurs d'état AQ

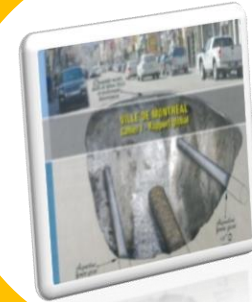
(Pire cote)

- Excellent, Bon, Moyen
- Mauvais
- Très mauvais



### Interventions préliminaires

- => Aucune
- => souhaitable
- => immédiate



### Interventions intégrées avec égout et voirie

- => Aucune
- => souhaitable / immédiate
- => immédiate



Contexte

# Contexte actuel d'élaboration des PI - Rétroaction



- **Plus de 90 % des municipalités se limitent à EP1, EP2 et EP3**
- **L'indicateur d'état le plus fiable : Le taux de bris EP2**
  - Vitesse de dégradation actuelle (facteur temps)
  - Fréquence des bris et interruptions de service
  - Coûts annuels d'entretien
  - Coûts sociaux et impacts sur les usagers
  - Fiabilité et niveau du service actuel
- **L'indicateur d'état le moins fiable : La durée de vie écoulee EP3**
  - $DV_{réelle} = f(\text{agressivité sol, pression, densité urbaine, etc.})$
- **L'indicateur d'état : Le nb de bris historique EP1**
  - Fragilité anticipée par l'accumulation des réparations



Contexte

# Contexte actuel d'élaboration des PI - Rétroaction



## ■ La durée de vie écoulée EP3

- $DV_{réelle} = f(\text{sol, pression, densité urbaine, Qualité réparations, etc.})$ 
  - Convergence avec des défaillances observables (ex: bris)
  - PI MTL 2016: 204 km de conduites mauvaises selon EP3, 97 % Excellent ou Bon selon pire EP1- EP2

## ■ Le nb de bris historique EP1

- Fragilité anticipée par l'accumulation des réparations
  - Convergence avec EP2  $\Rightarrow$  les conduites les plus fragiles = brisent le plus
  - PI MTL 2016 : 283 km critiques (mauvais ou très mauvais) selon EP1
    - 40 % sont critiques pour EP2 (113 km)
    - 50 % = bonnes ou excellentes selon EP2 (132 km) dont 30% n'ont pas brisé depuis 20 ans



Contexte

# Relation entre nb. de bris historiques et dégradation future



## Objectifs

- Quel est l'impact du nombre de **bris historiques** sur l'**état actuel** de la conduite et sur sa **dégradation future** ?



## Finalité

- Évaluer la Pertinence de EP1



Analyse 1

# Variation des bris subséquents avec les bris historiques



Proportion du réseau concernée	Bris historique initial sur la conduite (nb)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total	%
58,28%	0	146	139	183	171	155	141	156	90	123	132	1436	16%
17,79%	1	266	251	294	225	237	308	294	258	275	336	2744	31%
9,80%	2	177	122	200	156	158	199	191	168	175	172	1718	19%
5,13%	3	137	91	120	114	92	129	110	109	105	122	1129	13%
3,33%	4	57	64	65	70	52	75	59	76	55	64	637	7%
2,16%	5	61	38	41	43	66	56	60	29	30	34	458	5%
1,21%	6	26	24	30	21	27	35	33	22	20	22	260	3%
0,77%	7	9	23	10	30	23	21	14	16	5	19	170	2%
0,59%	8	12	8	19	11	16	19	20	8	14	6	133	1%
0,29%	9	6	17	9	13	10	7	3	3	5	1	74	1%
0,23%	10	1	9	3	11	5	7	5	11		9	61	1%
0,09%	11	4	1	5		1	4	9	1	1		26	0,3%
0,08%	12		1	1	2	2	11	6	1			24	0,3%
0,02%	13						1	3	1			5	0,1%
0,03%	14	1	2	1		3	2		1			10	0,1%
0,07%	15	2	1	7		1	2	5	2	1		21	0,2%
100%	<b>Total</b>	<b>905</b>	<b>791</b>	<b>988</b>	<b>867</b>	<b>848</b>	<b>1017</b>	<b>968</b>	<b>796</b>	<b>809</b>	<b>917</b>	<b>8906</b>	<b>100%</b>



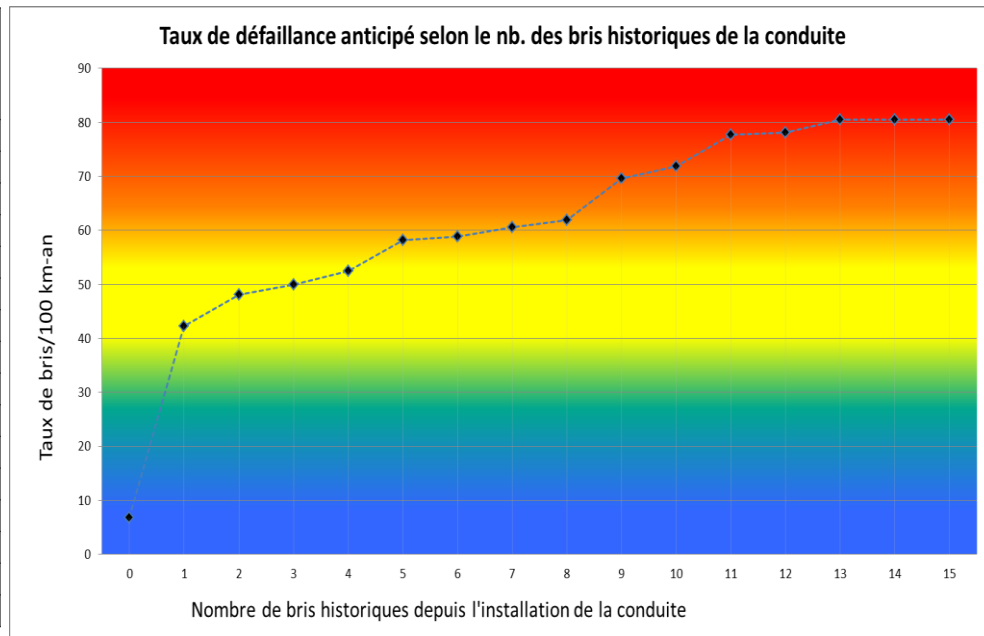
Analyse 1



# Taux de bris réel et Indice de défaillance relatif selon le nb. de bris historiques



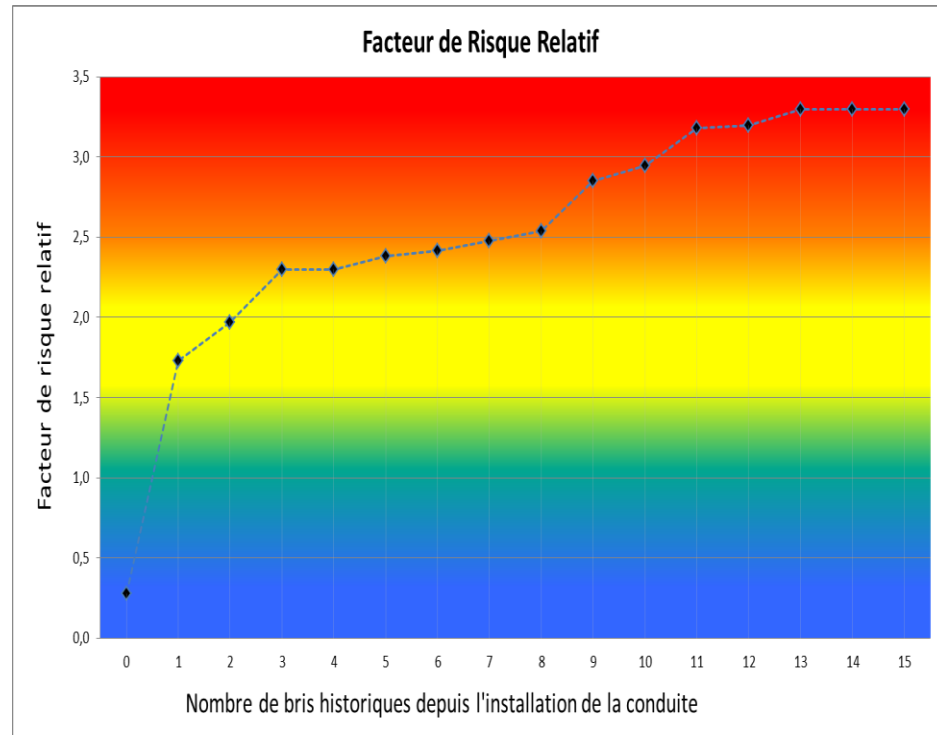
Bris historique initial sur la conduite (nb)	Nb de Km	Nb de bris/an	Taux de bris /100 km-an	Indice de défaillance relatif
0	2127 km	144 bris	7	1
1	649 km	274 bris	42	6
2	358 km	172 bris	48	7
3	187 km	113 bris	50	7
4	121 km	64 bris	52	8
5	79 km	46 bris	58	9
6	44 km	26 bris	59	9
7	28 km	17 bris	61	9
8	21 km	13 bris	62	9
9	11 km	7 bris	70	10
10	8 km	6 bris	72	11
11	3,8 km	3 bris	78	12
12	2,5 km	2 bris	78	12
13	1,2 km	1 bris	81	12
14	1,2 km	1 bris	81	12
15 et +	2,5 km	2 bris	81	12
	3650	891	24	



# Facteur de risque relatif des conduites en fonction du nb. de bris historiques



Bris historique initial sur la conduite (nb)	Proportion du réseau concernée (x)	Proportion de bris enregistré (y)	Facteur de risque relatif (y/x)	Appréciation
0	58,3%	16%	0,3	risque faible
1	17,8%	31%	1,7	risque élevé
2	9,8%	19%	2,0	
3	5,1%	13%	2,5	
4	3,3%	7%	2,2	
5	2,2%	5%	2,4	
6	1,2%	3%	2,4	
7	0,8%	2%	2,5	
8	0,6%	1%	2,5	Risque très élevé
9	0,3%	1%	2,9	
10	0,2%	1%	2,9	
11	0,1%	0,3%	3,2	
12	0,1%	0,3%	3,2	
13	0,03%	0,1%	3,3	
14	0,03%	0,1%	3,3	
15 et +	0,1%	0,2%	3,3	risque uniforme
<b>Total</b>	100%	100%	1,0	



# Impact spatial et temporel du dernier bris sur les bris subséquents



## Objectifs

- ❑ Quel est l'impact spatial et temporel des bris précédents sur la dégradation future d'une conduite ?



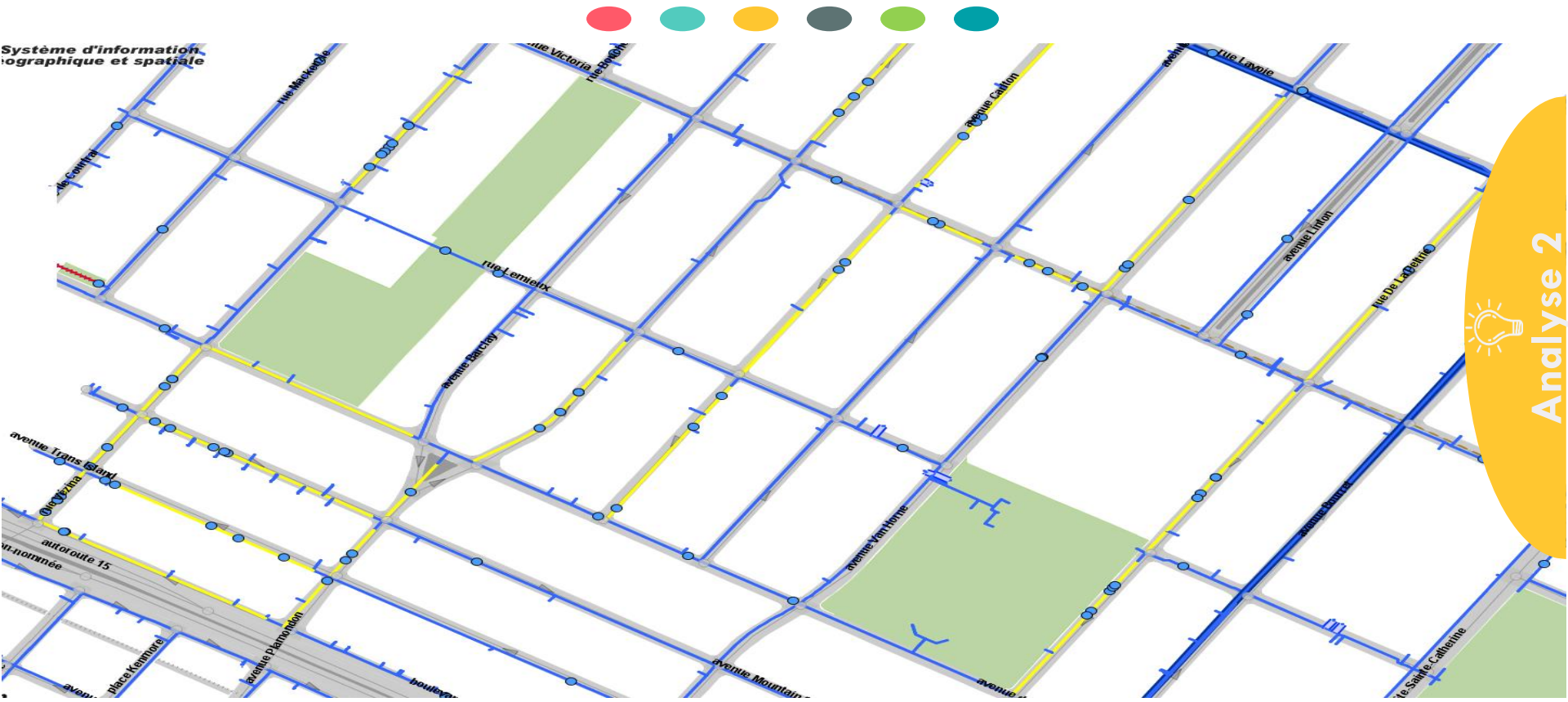
## Finalité

- ❑ Mieux cerner le comportement fragile des conduites face à l'impact spatial et temporel des bris historiques pour améliorer les indicateurs d'état de l'AQ



Analyse 2

# Impact spatial et temporel du dernier bris ...



Analyse 2

# Impact spatial et temporel du dernier bris ...



Prob (x,t)	0-10m	10-20m	20-30m	30-40m	40-50m	50-60m	60-70m	70-80m	80-90m	90-100m	90-100m	100m+	Total
0-5ans	18%	15%	8%	4%	4%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%	60%
5-10ans	9%	4%	5%	1%	2%	1%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	22%
10-15ans	4%	2%	4%	1%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	13%
15-20ans	0%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%
20-25ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
25-30ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
30-35ans	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	1%
35-40ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
40-45ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
45-50ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
50-55ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
55-60ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
60-65ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
65-70ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
70-75ans	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
75ans+	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>31%</b>	<b>23%</b>	<b>18%</b>	<b>7%</b>	<b>7%</b>	<b>5%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>2%</b>	<b>100%</b>



# Impact spatial et temporel du dernier bris sur le bris subséquent



- Plus de 80 % des bris subséquents ont lieu dans les 10 années suivants un bris précédent
  - Pour 2 conduites ayant le même nombre de bris historiques, la plus critique est celle dont le dernier bris est le plus récent
    - Priorité aux conduites ayant brisé dans les derniers 10 ans
- 1/3 des bris subséquents ont lieu à moins de 10 m d'un bris précédent et plus de 50 % surviennent à moins de 20 m
  - Conduite plus fragile au voisinage d'une ancienne réparation
    - Questionnement sur la qualité, la performance et l'impact des travaux de réparations



# Relation entre vétusté et défaillance réelle



## Objectifs

- ❑ Est-ce que toutes les conduites **vétustes** sont automatiquement **défaillantes** ?
- ❑ Brisent-elles tous à une fréquence intolérable ?



## Finalité

- ❑ Pertinence de EP3
- ❑ Relation Vétusté-Défaillance
- ❑ Est-ce qu'une conduite avec un EP3 mauvais nécessite toujours une intervention ?

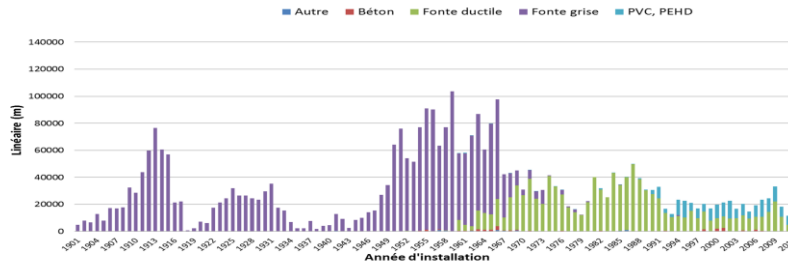


Analyse 3

# Relation entre vétusté et défaillance réelle



Méthode de survie des cohortes (Âge, matériau, état) utilisée pour simuler la durée de vie des différents matériaux



1  
Année  
d'installation

2  
Calcul  
d'âge

3  
Cohorte  
d'âges

4  
% de mauvais  
et très mauvais  
selon EP1 ou  
EP2

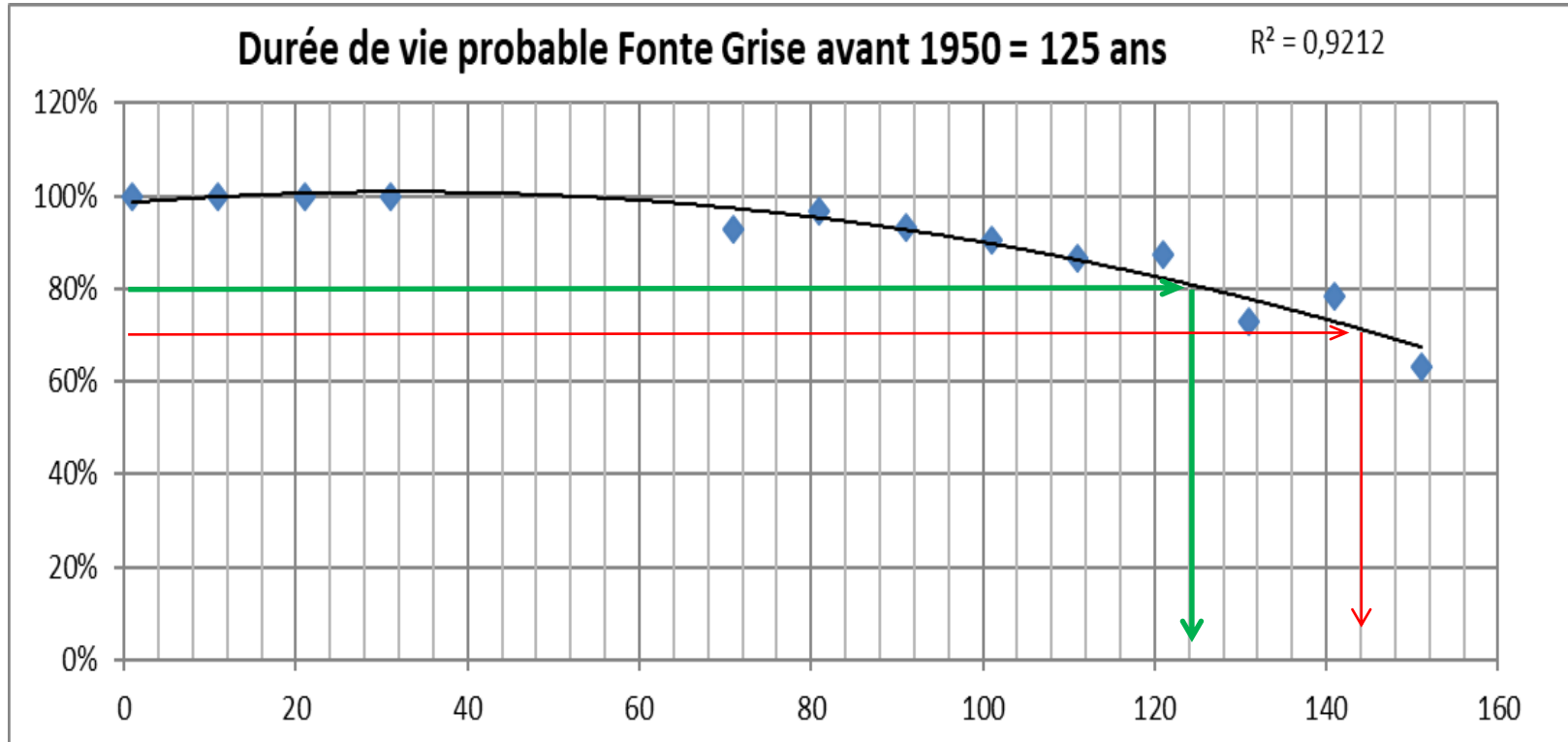
5  
% de conduites  
défaillantes  
selon les bris =  
 $p(D)$

6  
Probabilité de  
survie =  $1-p(D)$

7  
Courbe de  
survie des  
cohortes

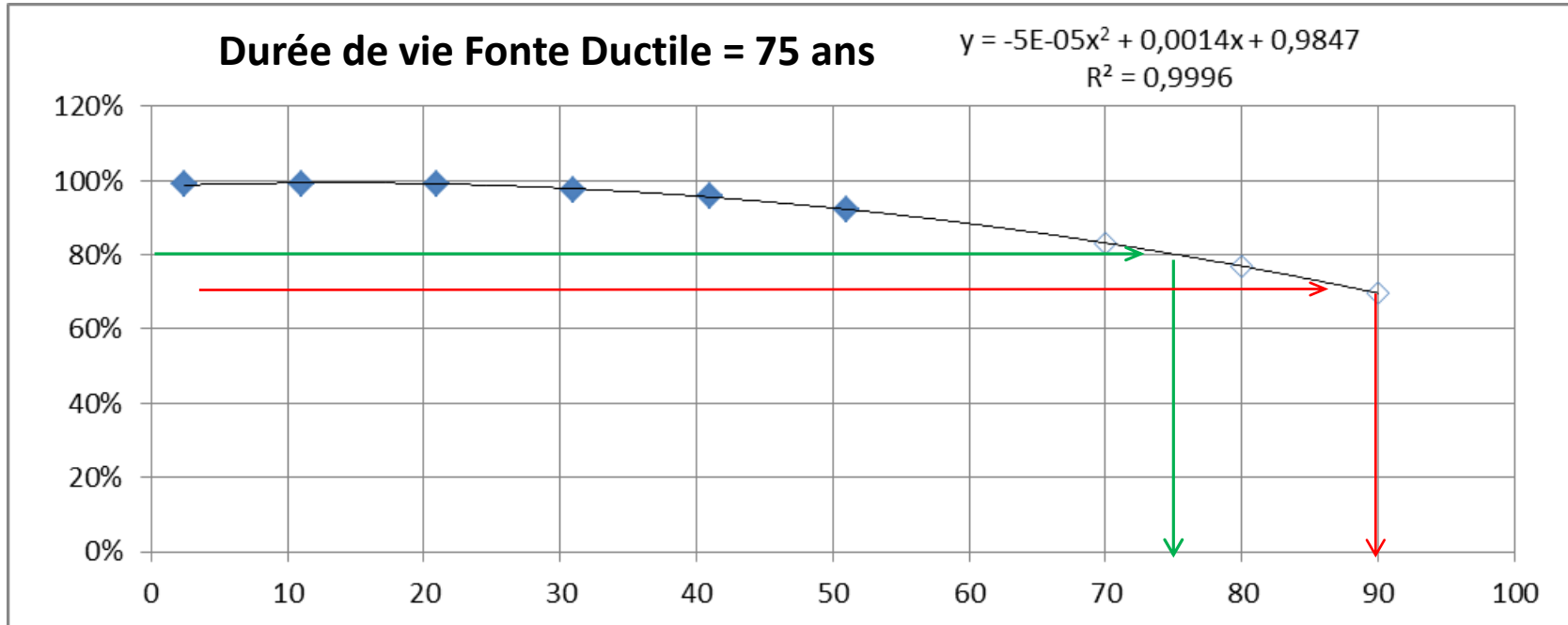


# Relation entre vétusté et défaillance réelle



Analyse 3

# Relation entre vétusté et défaillance réelle



Analyse 3

# Relation entre vétusté et défaillance réelle



- 80 % des conduites parviennent à la fin de leur  $DV_{\text{théorique}}$  (~125 ans) en maintenant un niveau de performance satisfaisant en terme de bris
- 70 % des conduites parviennent à  $DV_{\text{théorique}} + 20$  ans (soit 145 ans) en maintenant un niveau de performance satisfaisant
- Prévission : 20% à 30% des conduites avec  $\text{Age} \geq DV_{\text{théorique}}$  seront réellement défaillantes (Cas de Montréal pour les 20 prochaines années)
- C'est l'âge de la cohorte la plus vieille qui détermine le % de défaillance anticipée des conduites vétustes ( $\text{âge} \geq DV_{\text{théorique}}$ )



# Relation entre vétusté et défaillance réelle



- Conduite vétuste n'est pas automatiquement conduite défaillante ou en mauvais état
  - Test, VDM fin 2018 : 28 % des EP3 mauvais étaient problématiques en termes de bris (*Réseau sec, FG dominante*)
  - Test, Autres municipalités fin 2018 : 37 % des EP3 mauvais étaient problématiques en termes de bris (*Réseau, FD dominante*)
- Corrélation plus forte avec la Fonte ductile (*40 % de Vétuste-Défaillant sur 100 % de V*)
- Corrélation moyenne avec la Fonte grise (*10 % de Vétuste-Défaillant sur 100 % de V*)
- Corrélation moindre avec le B.A. et le B.P. (*3 % de Vétuste-Défaillant sur 100 % de V*)



# Optimisation proposée



- Renforcer la pertinence de la décision concernant l'état des conduites
- Établir un **coefficient de vulnérabilité** issu d'analyse multicritère
  - Méthodes d'agrégation de critères multiples  
(AHP, AFC, ACP, Sommes pondérées, Partitions centrales, ELECTRE, etc.)
  - Méthode de surclassement
  - Méthodes avancées basées sur l'Intelligence Artificielle  
(Apprentissage profond, théorie des ensembles flous, réseaux de neurones)



# Optimisation proposée



- Établir un coefficient de vulnérabilité  $EP\_vul = a*EP1 + b*EP2 + c*EP3$

EP1	EP2	EP3	EP_max	EP_vul
	mauvais		mauvais	critique
	très mauvais		très mauvais	critique
mauvais	au moins 1bris sur dernier 10 ans		mauvais	critique
mauvais		mauvais	mauvais	critique
très mauvais	au moins 1bris sur dernier 10 ans		très mauvais	critique
très mauvais		mauvais	très mauvais	critique
	au moins 1bris sur dernier 10 ans	mauvais	mauvais	critique

EP\_max = mauvais ou très mauvais **et** EP\_vul = critique  $\Rightarrow$  intervention immédiate

EP\_max = mauvais ou très mauvais **et** EP\_vul = faible  $\Rightarrow$  intervention coordonnée

Nous définissons à 4 le seuil entre une Vulnérabilité faible (<4) et critique ( $\geq 4$ )



# Optimisation proposée



- Établir un coefficient de vulnérabilité  $EP\_vul = a*EP1 + b*EP2 + c*EP3$

EP1	EP2	EP3	EP_max	EP_vul
mauvais	Aucun bris sur dernier 10 ans	Excellent, bon, moyen	mauvais	faible
très mauvais	Aucun bris sur dernier 10 ans	Excellent, bon	très mauvais	faible
Excellent, bon, moyen	Aucun bris sur dernier 10 ans	mauvais	mauvais	faible

La résolution matricielle du système mène aux valeurs : **a = 0.60 ; b = 0.65 ; c = 0.25**

$$EP\_vul = \text{Vulnérabilité} = 0,60*EP1 + 0,65*EP2 + 0,25*EP3$$



Comité 2

# Optimisation proposée



## Application

	VARIABLES INDÉPENDANTES			VARIABLE DEPENDANTE	
	EP_1_INITIALE	EP_2_INITIALE	EP_3_INITIALE	EP_max	EP_vul
individu_17	4	4	3	4	5,75
individu_48	5	5	3	5	7
individu_50	1	1	4	4	2,25
individu_56	5	1	2	5	3,9
individu_65	2	4	3	4	4,55
individu_80	3	1	4	4	3,45
individu_81	5	5	3	5	7
individu_90	5	5	2	5	6,75
individu_92	5	4	3	5	6,35
individu_100	5	2	2	5	4,8
individu_184	4	2	3	4	4,45
individu_185	1	1	4	4	2,25
individu_193	3	5	3	5	5,8
individu_201	5	5	2	5	6,75
individu_252	1	1	4	4	2,25
individu_254	4	1	3	4	3,8
individu_323	1	1	4	4	2,25



Comité 2



# Optimisation proposée



- Application virtuelle de la méthodologie à l'échelle de la Ville de Montréal:
  - PI MTL 2016 : Conduite avec **EP\_max = mauvais ou très mauvais = 540 km**,
    - Conduite avec vulnérabilité critique **EP\_vul = 258 km**, soit à 47 % des 540 km,
- Cibler en priorité ces actifs = maximiser l'impact positif des interventions :
  - réduire le déficit et surtout éliminer les conduites les plus critiques et vulnérables
  - intervenir au meilleur endroit/meilleur moment = intervention plus pertinente
  - diminuer de 20 % les bris annuels (MTL 20 % des bris supportés par 5 % du réseau « vulnérable », soit des conduites avec un Facteur de risque relatif = 4)
  - Réduire au max les risques et impacts sociaux des bris et travaux sur les citoyens
- Coordonner autant que possible les interventions sur les conduites AQ à vulnérabilité non-critique, avec les interventions sur les actifs adjacents.



Comité 2

# Optimisation proposée

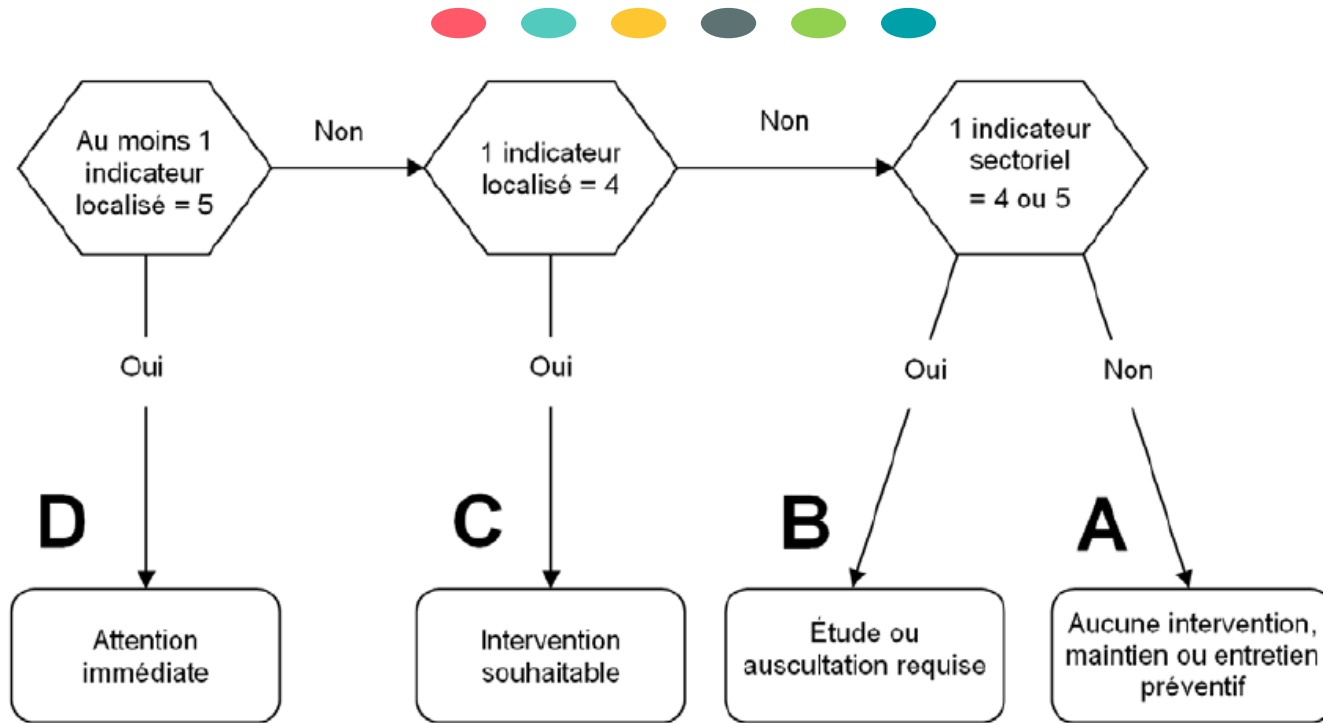


Schéma des règles d'assignation des classes d'interventions préliminaires pour les segments de conduite d'eau potable – **Version initiale tirée du guide MAMH 2013**

# Optimisation proposée

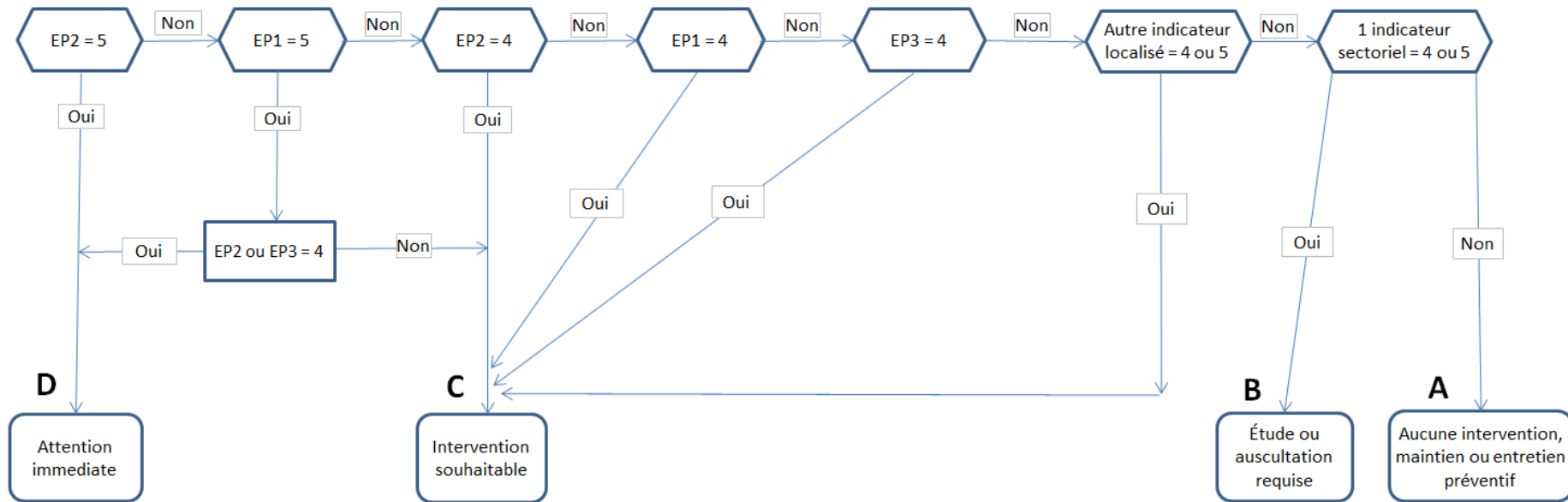


Schéma des règles d'assignation des classes d'interventions préliminaires pour les segments de conduite d'eau potable – **Modification proposée**

# Autres études en cours ou à venir



- Vulnérabilité critique lorsque:
  - EP3 = mauvais + Pression sectorielle élevée
  - EP3 = mauvais + Fonte ductile
  - EP3 = mauvais + Sol agressif + Fonte/Fer
  - EP3 = mauvais + dépassement DV + 30%
  - EP1 ou EP3 = mauvais + coordination

Arrondissements	NON	OUI	Total général	age moyen	taux de bris
CDN-NDG	90%	10%	100%	75	18
Plateau	83%	17%	100%	90	32
RDP-PAT	90%	10%	100%	38	10
Sud-Ouest	87%	13%	100%	74	45
Ville-Marie	90%	10%	100%	80	27
Villeray	93%	7%	100%	72	27
<b>Total général</b>	<b>94%</b>	<b>6%</b>	<b>100%</b>	<b>62</b>	<b>24</b>

Oui : Pression > 600Kpa  
Non : Pression < 600Kpa



Autres

# Conclusion



## Problème et Enjeux

- Pertinence, priorisation et Encadrement des indicateurs d'état
- Améliorer l'aide à la décision pour les interventions sur l'AQ
- Maximiser l'impact positif des interventions sur les réseaux



## Pistes de solutions

- L'indicateur d'état EP2 plus représentatif de l'état actuel
- Encadrement des indicateurs EP1 et EP3
- Utilisation d'un coef de Vulnérabilité
- Utilisation d'un organigramme de décision ajusté



## Conclusion



M

E

R

R

C

