

# La tolérance aux risques, facteur clé d'une gestion d'actif intégré

CONGRÈS INFRA 2015 | 21<sup>E</sup> ÉDITION  
2 décembre 2015

Normand Hachey, ing.  
Chef de division,  
Direction de la Gestion  
Stratégique des Réseaux d'Eau  
Service de l'eau



Jean Carrier, ing. M. ing.  
Chef d'équipe,  
Service des infrastructures, de la  
voirie et des transports  
Direction des transports

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

- ◉ Contexte
- ◉ Présentation des cas étudiés
- ◉ Cadre d'analyse
- ◉ Analyse des scénarios
- ◉ Âge optimal de remplacement d'une conduite d'aqueduc
- ◉ Optimisation des interventions de voirie
- ◉ Conclusions
- ◉ Vers l'avant



# CONTEXTE

- ◉ Depuis 2012 la Ville de Montréal établie ses besoins d'investissement à l'aide d'une stratégie d'intervention intégré de ses actifs d'eau et de voirie produite à l'aide du logiciel INFRA MODEX.
- ◉ Les objectifs visés par cette approche sont multiples:
  - ◉ User d'une approche de gestion optimale sur le cycle de vie des actifs
    - Connaître les coûts des actifs tout au long du cycle de vie
  - ◉ Minimiser les coûts de gestion des actifs via une planification d'intervention intégrée et une maximisation des durées de vie
    - Identifier l'action optimale dans un contexte donné
  - ◉ Tolérer un certain niveau de risque
    - Connaître les composantes du risque, quantifier leurs impacts

# CONTEXTE

- L'approche favorise les techniques de réhabilitations de façon à limiter les interventions en reconstruction lorsque au moins deux des trois actifs sont critiques.
- La situation de Montréal.
  - 3635 km d'aqueduc dont l'âge moyen est de 57 ans avec une durée de vie moyenne de 95 ans.
  - 25 % des conduites ont déjà eu des bris.
  - 68 % du réseau d'aqueduc est constitué de fonte grise un matériau considéré fragile
  - Le déficit des réseaux de voirie est très important.
  - Il faut donc prévoir une augmentation des cas où la chaussée doit être reconstruite et les réseaux d'eau n'ont pas atteint leur fin de vie.

# CADRE D'ANALYSE

- ◉ La chaussée doit être reconstruite, ni les égouts ou l'aqueduc ne sont à remplacer, mais l'aqueduc a plus de 50 ans et son matériau est fragile.
- ◉ Les scénarios que nous avons étudiés sont les suivants:
  - ◉ Impacts par projet
    - Quand est-il rentable de remplacer l'aqueduc prématurément?
  - ◉ Impacts réseau
    - Stratégie de maintien des conduites d'aqueduc
    - Stratégie de remplacement forcé de l'aqueduc.
    - Stratégie de réhabilitation mineure de la chaussée

# PARAMÈTRES DE L'ÉTUDE DE CAS

- Remplacement intégral de la chaussée d'un segment de rue secondaire dans un secteur résidentiel:
  - Dimension de la chaussée = 10 m X 200 m
  - achalandage moyen (1000 véhicules par jour)
  - durée de vie de la chaussée = 30 ans
- Conduite d'aqueduc :
  - 200 m de longueur
  - en fonte et fragile (60 ans d'âge selon le taux de bris)
  - de petit diamètre (200 mm)
  - nombre de bris annuels futurs prévisible et exponentiel
- Conduite d'égout:
  - en brique de 600 mm x 900 mm de diamètre
  - en bon état (Niveau 1, 2 ou 3)



Question : Remplace-t-on la conduite d'aqueduc immédiatement ou au prochain remplacement de la chaussée?

# CADRE D'ANALYSE

- ◉ Comparaison des coûts actualisés(3%) de 2 scénarios sur 30 ans (cycle de vie de la chaussée)
- ◉ Scénario 1 - Maintien de la conduite
  - ◉ Remplacement de la chaussée en début de période
  - ◉ Remplacement de chaussée + aqueduc à fin de la période
  - ◉ Conduite aqueduc demeure fragile tout au long de la période (coûts d'entretien élevés)
- ◉ Scénario 2 - Remplacement immédiat de la conduite
  - ◉ Remplacement de la chaussée + aqueduc au début de la période
  - ◉ Remplacement de la chaussée en fin de période
  - ◉ Conduite neuve = coûts d'entretien faibles

Coûts totaux = (A) Coûts des travaux de remplacement + (B) Coûts d'entretien

# (A) COÛT DES TRAVAUX DE CONSTRUCTION

## Économies d'échelles liées à la coordination des travaux

	Remplacement de la chaussée seulement		Remplacement de la chaussée + aqueduc	
	À t = 0	À t = 30 (i = 3%)	À t = 0	À t = 30 (i = 3%)
Coûts directs	249 167 \$	102 653 \$	342 000 \$	140 899 \$
Coûts sociaux	43 908 \$	18 090 \$	96 598 \$	39 797 \$
<b>Total</b>	<b>293 075 \$</b>	<b>120 743 \$</b>	<b>438 598 \$</b>	<b>180 696 \$</b>

## Scénario 1 - Maintien de la conduite

- Coûts de remplacement de la chaussée à t = 0
- Imputation des coûts de remplacement chaussée + aqueduc dans 30 ans
- Coûts actualisés des travaux:  $293\ 075\ \$ + 180\ 696\ \$ = 473\ 771\ \$$

## Scénario 2 - Remplacement immédiat

- Imputation des coûts du remplacement de l'aqueduc + chaussée à t = 0
- Coûts de remplacement de la chaussée à t = 30
- Coûts actualisés des travaux :  $438\ 598\ \$ + 120\ 743\ \$ = 559\ 341\ \$$



Économies liées au report des travaux  
= 85 570 \$

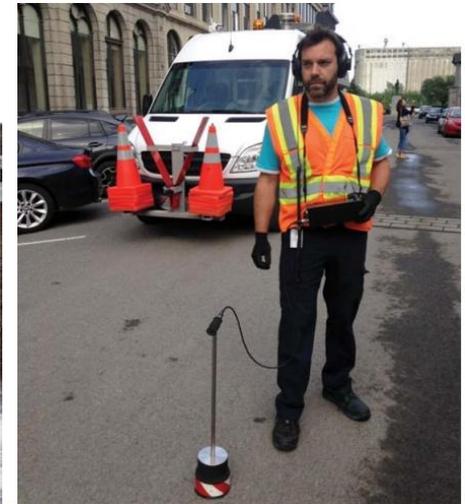
# (B) COÛTS D'ENTRETIEN SUR LE CYCLE DE VIE

## 1. Coûts des bris

- A. Réparations (coûts directs et sociaux)
- B. Indemnisation pour dommages à la propriété
- C. Usure des infrastructures adjacentes (chaussée)
- D. Risque de remplacement précoce

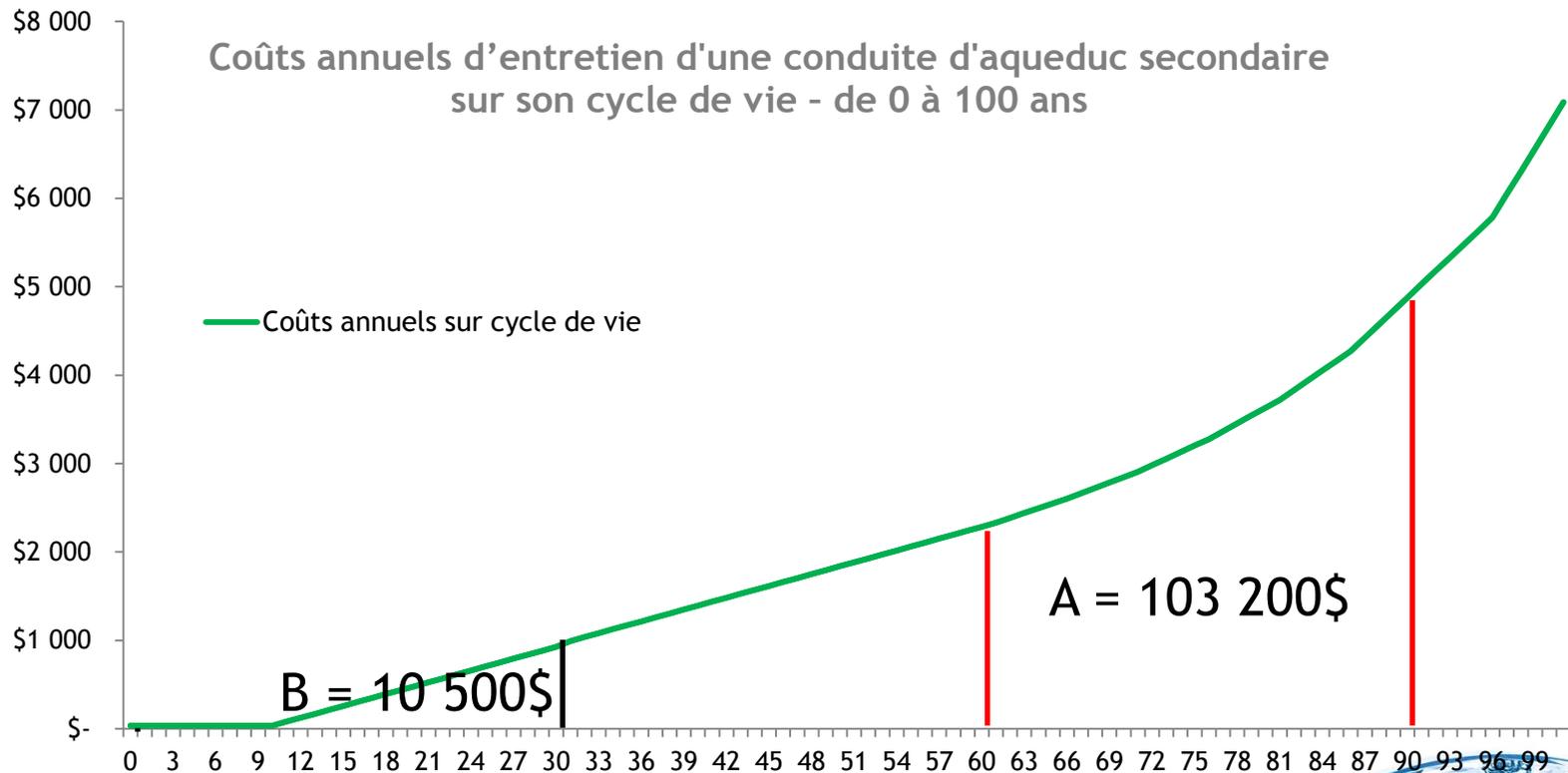
## 2. Coûts des fuites

- A. Production d'eau potable et épuration lorsque retournées à l'égout
- B. Usure des infrastructures adjacentes (égout)
- C. Activités d'auscultation

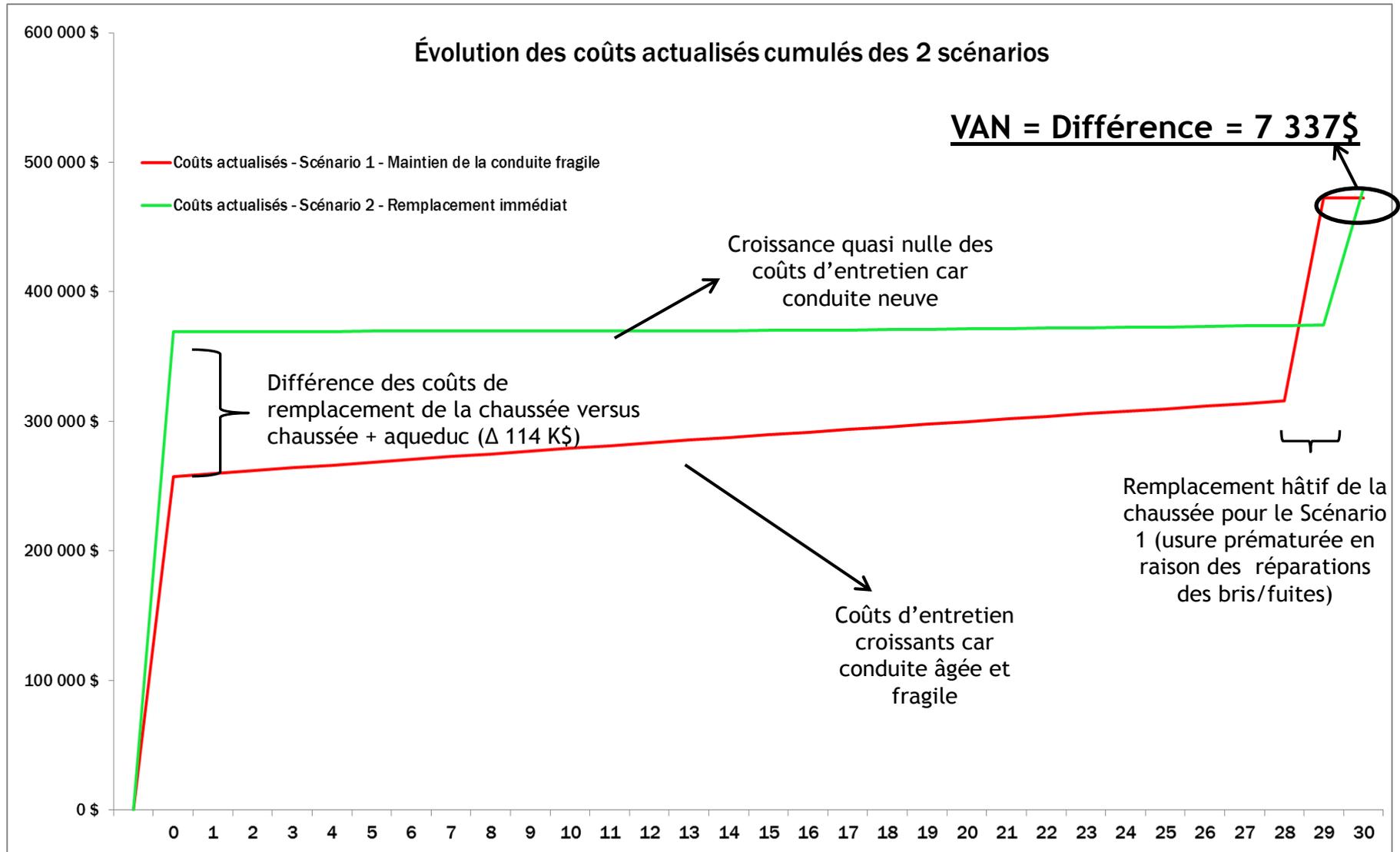


# (B) COÛTS DU CYCLE DE VIE D'UNE CONDUITE

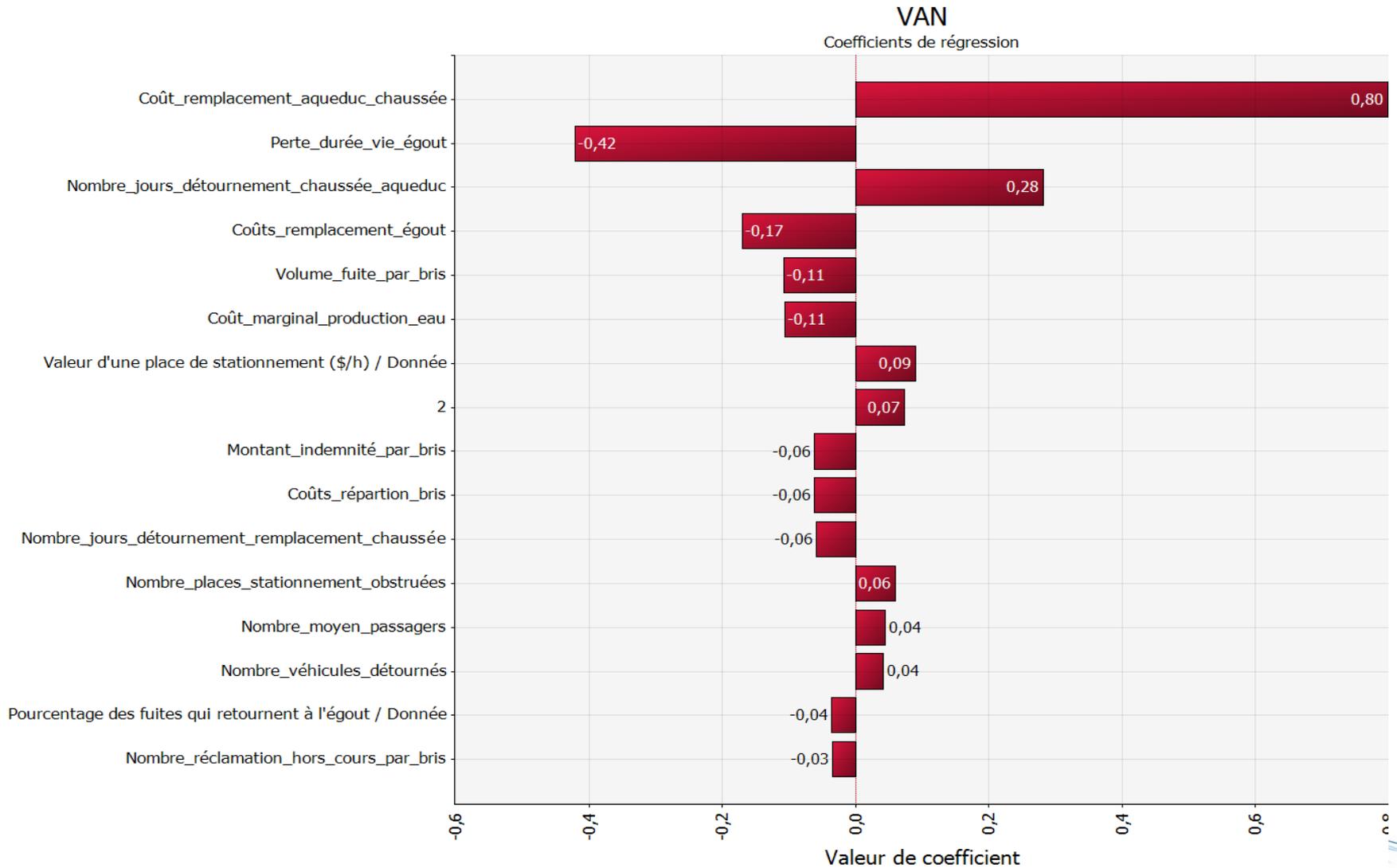
- Conduite de 60 ans
- Scénario 1 =  $\sum_{n=60}^{90}$  Coûts annuels d'entretien = A
- Scénario 2 =  $\sum_{n=0}^{30}$  Coûts annuels d'entretien = B



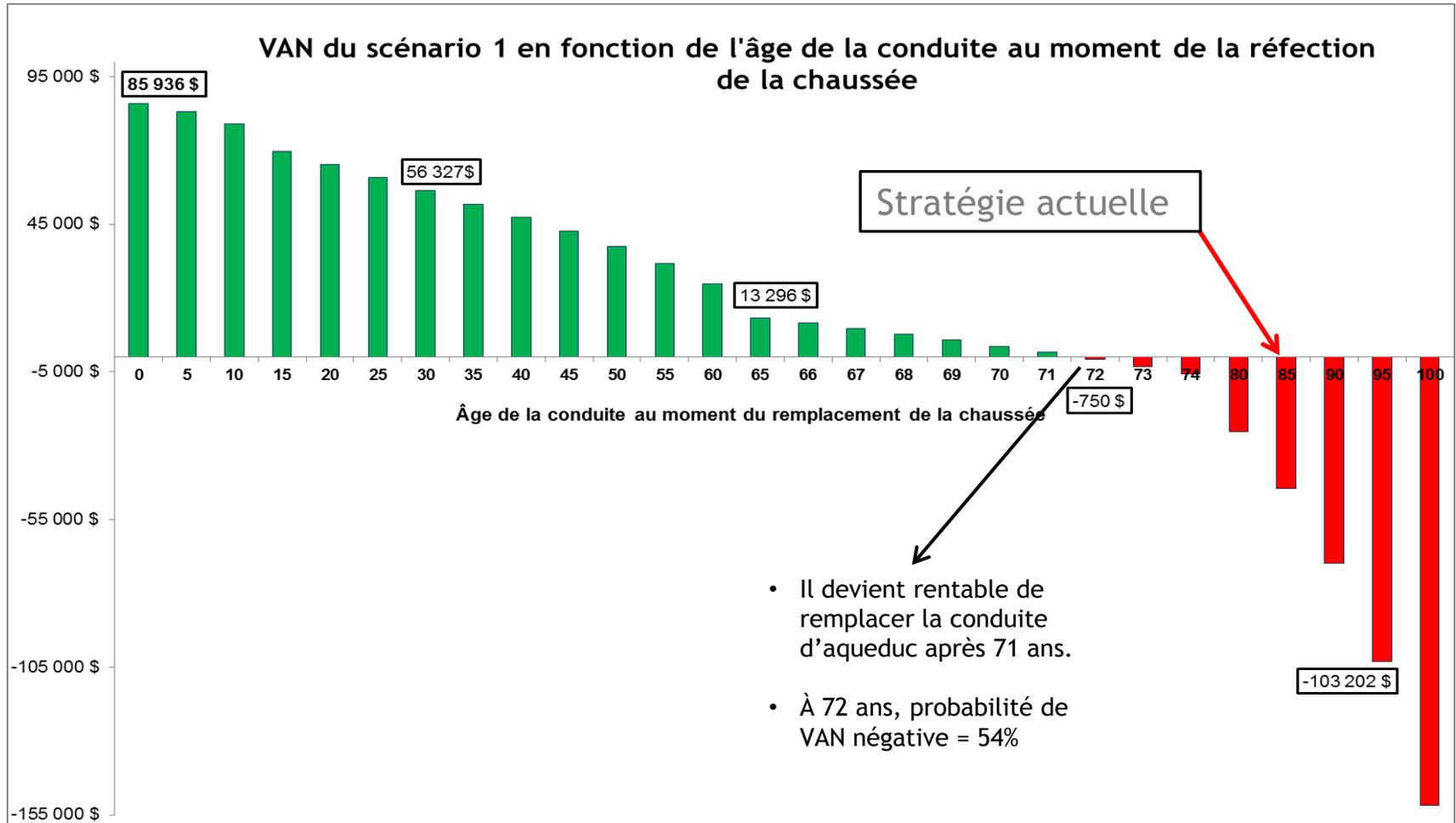
# RÉSULTATS - VAN LIÉE À LA DÉCISION DE MAINTENIR LA CONDUITE



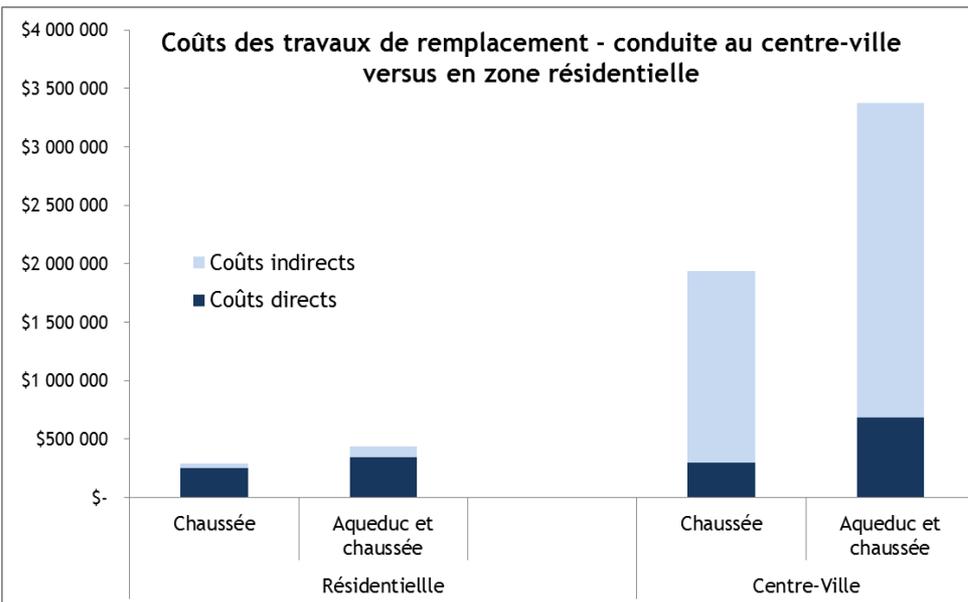
# ANALYSE DE SENSIBILITÉ- VARIABLES CONSIDÉRÉES



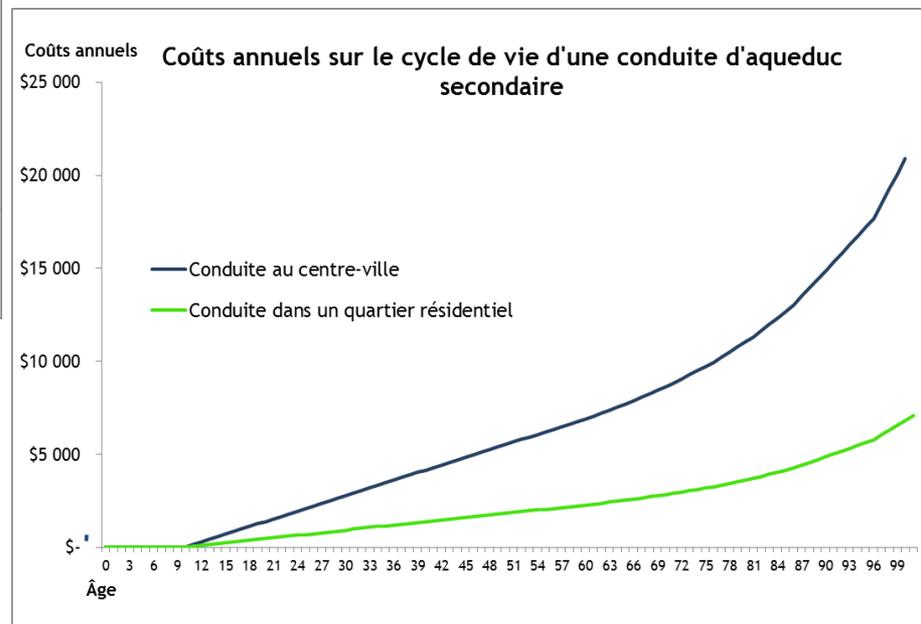
# ÂGE OPTIMALE DU REMPLACEMENT D'UNE CONDUITE FRAGILE



# CAS DE LA CONDUITE SITUÉE AU CENTRE-VILLE



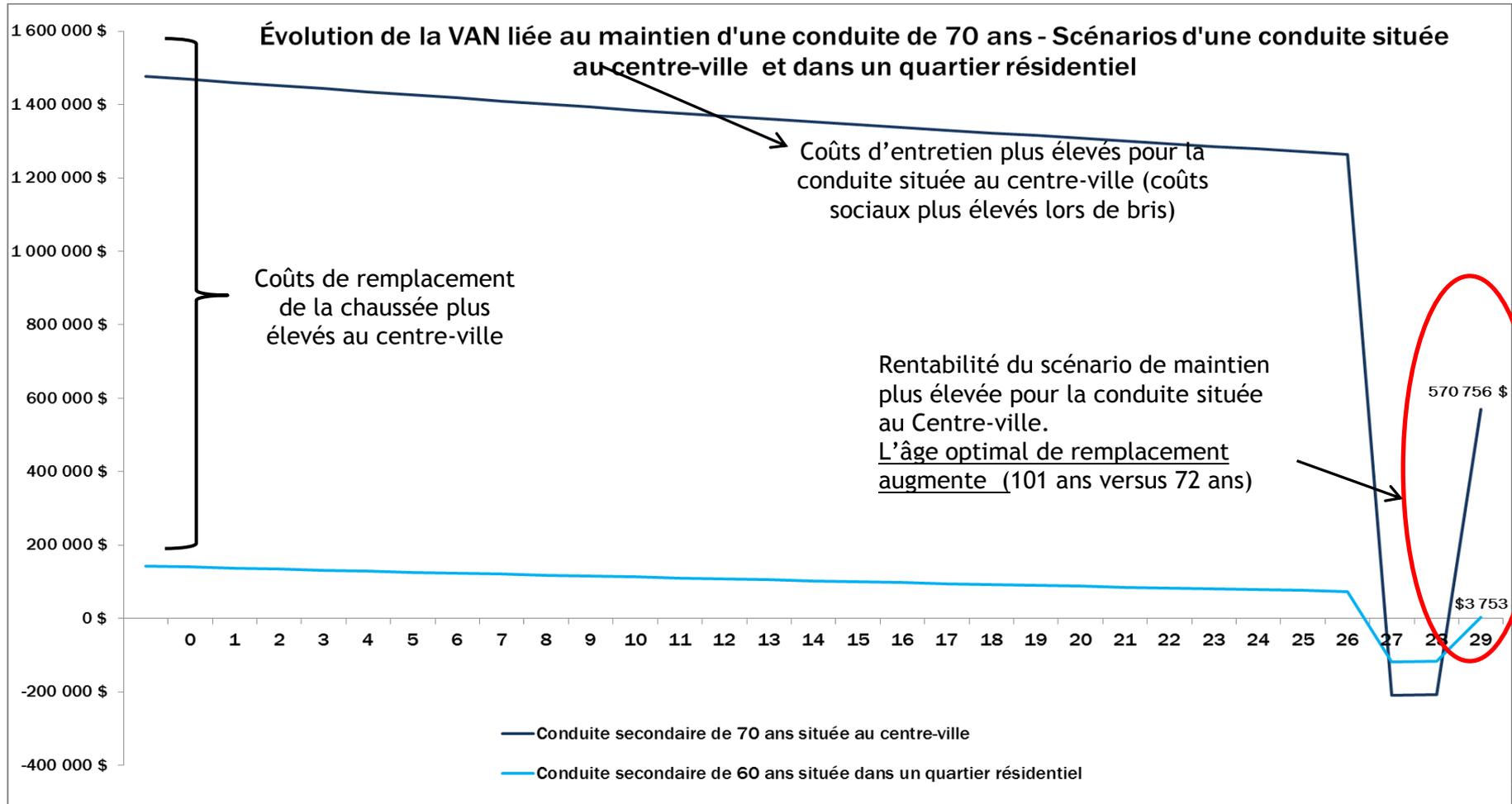
- Des coûts directs et indirects de remplacement plus élevés au moment du remplacement (circulation plus dense, détournement de circuits d'autobus, etc.)



- Des coûts annuels d'entretien plus importants en raison de:
  - Coûts de réparations des bris plus élevés
  - Coûts de détournement de la circulation plus importants au moment des travaux de réparation
  - Probabilité et impact des dommages aux propriétés plus importants en cas de bris

# COMPARAISON DU SCÉNARIO DE MAINTIEN

## Centre-Ville versus en zone résidentielle



# FACTEURS D'INFLUENCE DE L'ÂGE OPTIMALE DE REMPLACEMENT

Facteur	Impact sur l'âge optimal de remplacement	Explication
Diamètre de la conduite		Augmente les coûts de remplacement de la conduite.
Longueur de la conduite		Augmente le nombre de bris et le volume de fuites.
Égout en brique dans la même tranchée		Diminue la durée de vie utile de l'égout ce qui augmente les coûts liés au maintien de la conduite.
Coûts unitaires des travaux de remplacement de l'aqueduc		Augmente les coûts liés au remplacement de la conduite.
Différence entre le nombre de jours pour effectuer les travaux de remplacement de l'aqueduc et les travaux de remplacement de la chaussée seulement		Augmente les coûts relatifs liés au remplacement de la conduite.
Coût marginal de production d'eau potable		Augmente les coûts liés aux fuites donc au maintien de la conduite fragile
Nombre de personnes desservies par la conduite		Augmente les coûts liés aux avis d'ébullition lors de bris.
Montant des indemnisations lors de bris		Augmente les coûts des bris.
Achalandage routier sur le tronçon unifié		Augmente les coûts liés au remplacement de la conduite.
Présence d'un circuit(s) d'autobus sur le tronçon unifié		Augmente les coûts liés au remplacement de la conduite.
Présence d'usagers critiques desservis par la conduite		Augmente les coûts liés aux bris.

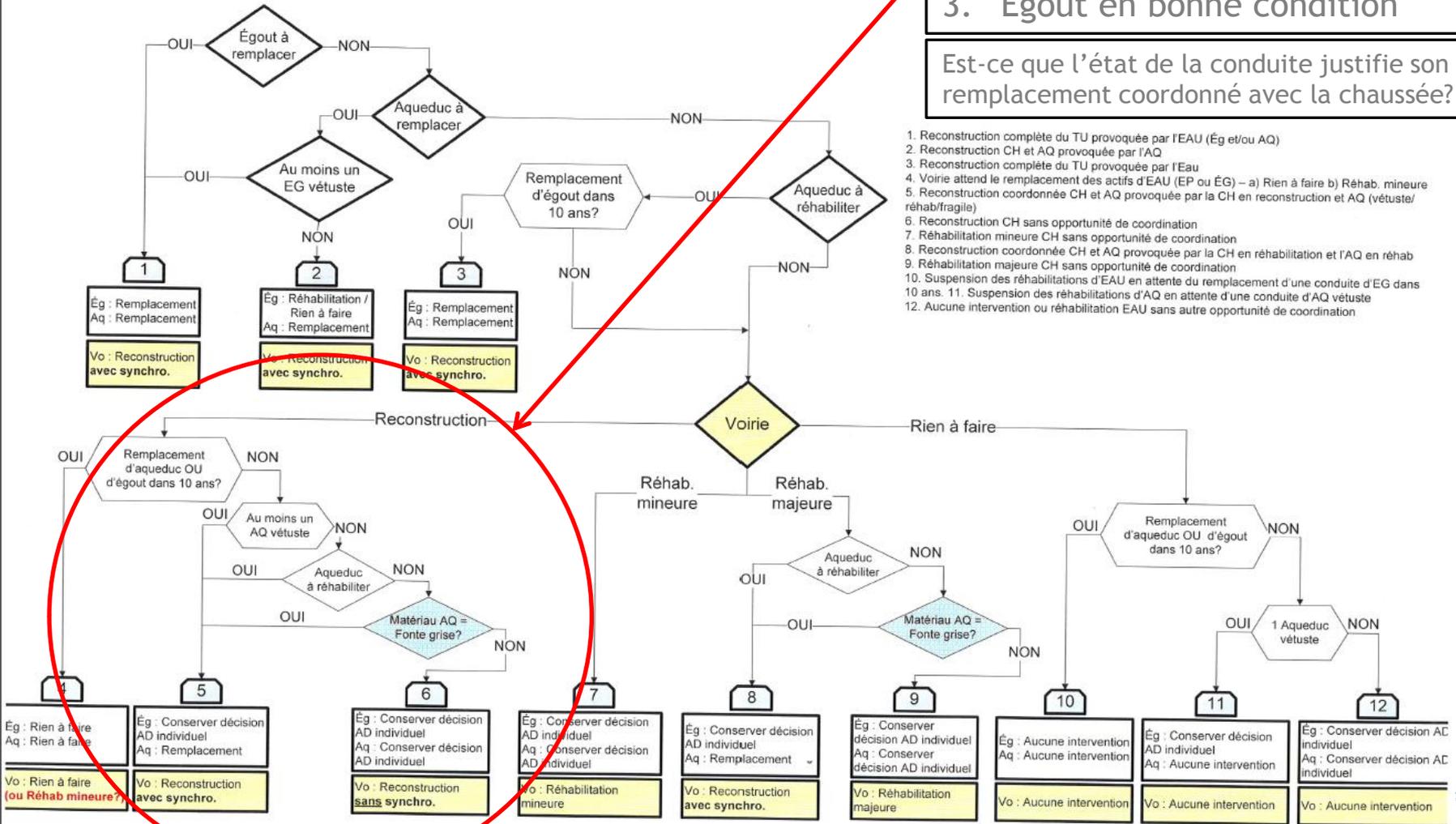
# CADRE D'ANALYSE

ARBRE DE DÉCISION INTÉGRÉ  
PLAN D'INTERVENTION VILLE DE MONTRÉAL  
Version 3.0 – Octobre 2015

1. Reconstruction de la chaussée
2. Conduite d'aqueduc fragile
3. Égout en bonne condition

Est-ce que l'état de la conduite justifie son remplacement coordonné avec la chaussée?

1. Reconstruction complète du TU provoquée par l'EAU (Ég et/ou AQ)
2. Reconstruction CH et AQ provoquée par l'AQ
3. Reconstruction complète du TU provoquée par l'Eau
4. Voirie attend le remplacement des actifs d'EAU (EP ou ÉG) – a) Rien à faire b) Réhab. mineure
5. Reconstruction coordonnée CH et AQ provoquée par la CH en reconstruction et AQ (vétuste/ réhab/fragile)
6. Reconstruction CH sans opportunité de coordination
7. Réhabilitation mineure CH sans opportunité de coordination
8. Reconstruction coordonnée CH et AQ provoquée par la CH en réhabilitation et l'AQ en réhab
9. Réhabilitation majeure CH sans opportunité de coordination
10. Suspension des réhabilitations d'EAU en attente du remplacement d'une conduite d'EG dans 10 ans.
11. Suspension des réhabilitations d'AQ en attente d'une conduite d'AQ vétuste
12. Aucune intervention ou réhabilitation EAU sans autre opportunité de coordination



# CADRE D'ANALYSE

- ◉ Secteur à l'étude
  - ◉ Réseau d'eau potable de 67 km dont 68% des conduites sont en fonte grise (matériau fragile). C'est un ratio comparable à l'ensemble du réseau montréalais;
- ◉ Critères du scénario 1 : On remplace la conduite (FG) systématiquement lors d'une reconstruction de chaussée;
- ◉ Critères du scénario 2 : On conserve la conduite;
- ◉ Pour les deux scénarios, on limite l'investissement annuel (1,9 M\$/an pour l'EAU et 2,3 M\$/an pour la voirie).

# ANALYSE DES SCÉNARIOS

- Secteur à l'étude (68% de réseau EP en fonte grise)
  - Scénario 1 - On exige le remplacement des conduites d'eau potable en fonte grise (« aqueduc fragile ») coordonné avec la voirie :

	AQ	ÉG	VOIRIE	TOTAL
Budget prévu (Annuité)	1 930 000 \$	520 000 \$	1 540 000 \$	3 990 000 \$

- Scénario 2 - Besoin d'investissement sans le critère d'aqueduc fragile:

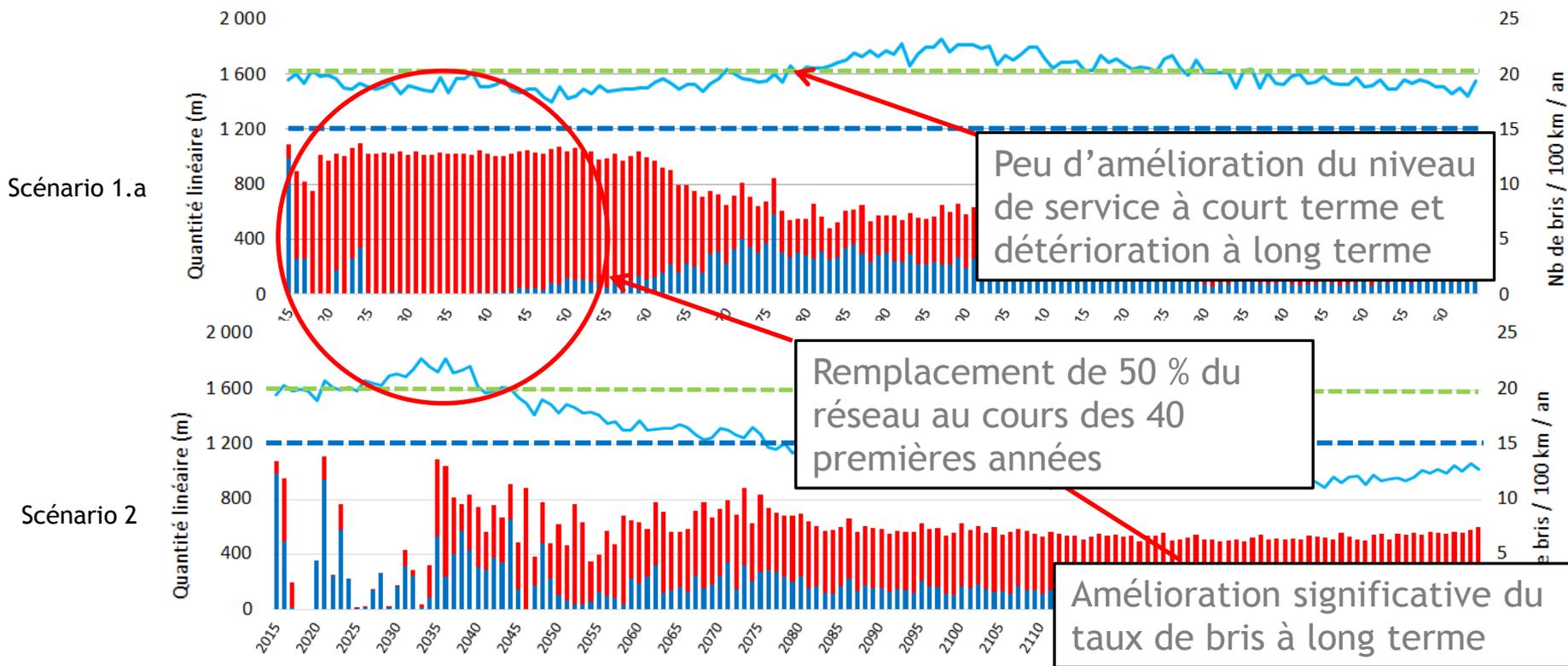
	AQ	ÉG	VOIRIE	TOTAL
Budget prévu (Annuité)	960 000 \$	720 000 \$	1 800 000 \$	3 470 000 \$



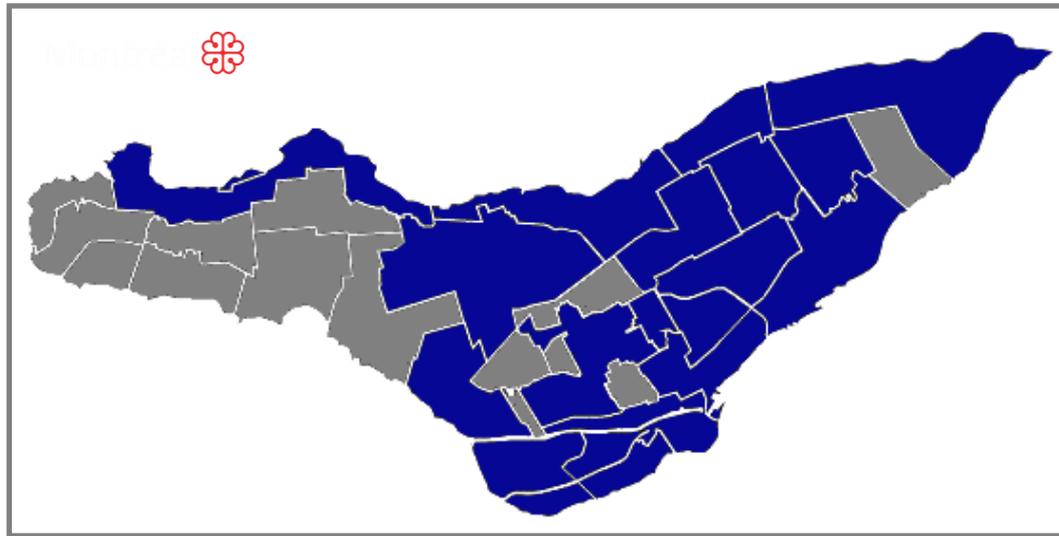
Δ \$	(970 000) \$	200 000 \$	260 000 \$	(520 000) \$
Δ %	<b>-101%</b>	28%	14%	-15%

# ANALYSE DES SCÉNARIOS

## ○ Réseau d'eau potable - niveau de service :



# Caractéristiques du réseau routier



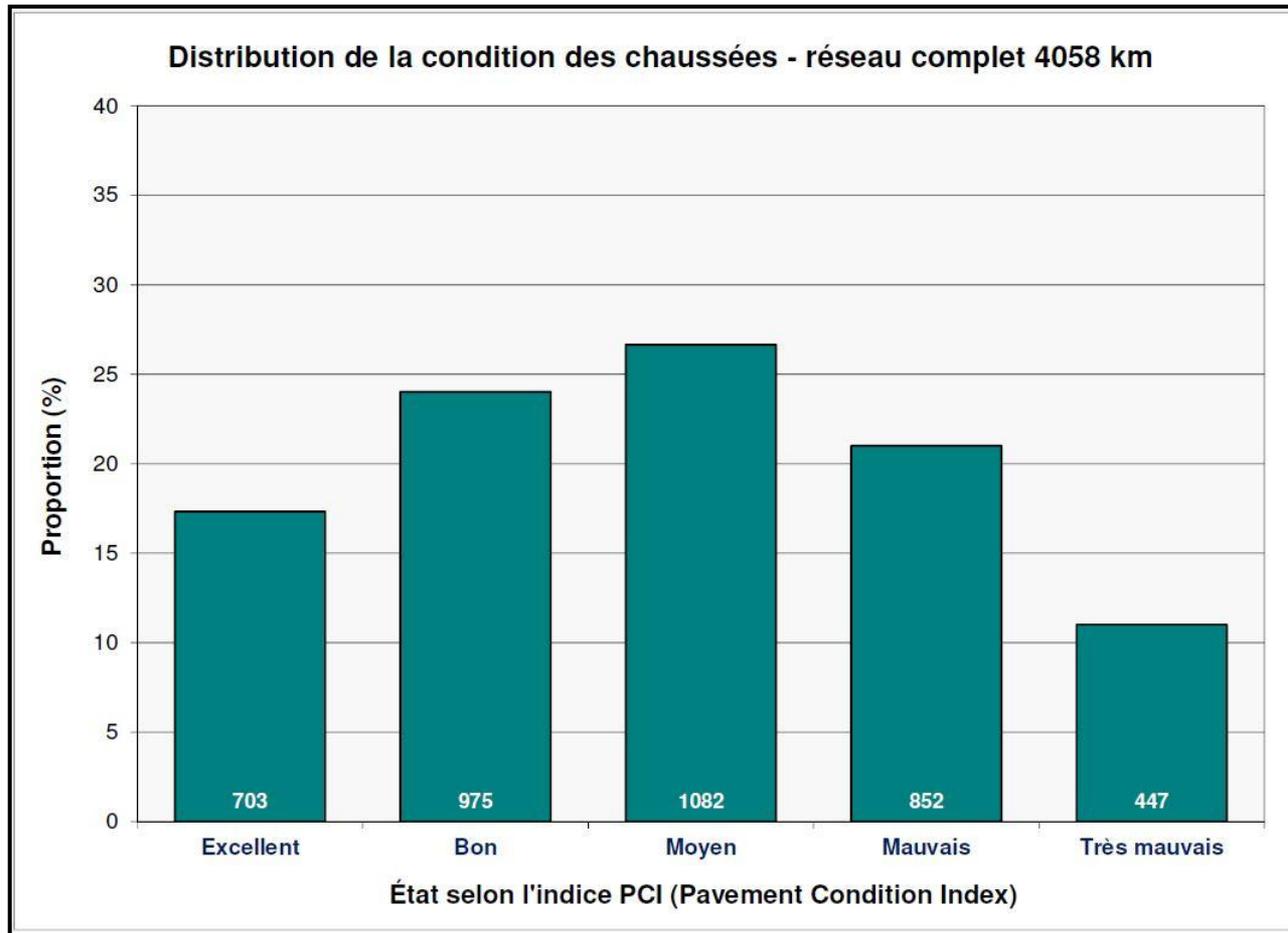
- 4050 km de chaussées
- 6675 km de trottoirs
- 19 arrondissements
- Structure des chaussées:  
mixte et flexible

## Hiérarchie du réseau

Artères	790 km	} Réseau Artériel Administratif de la Ville	1950 km
• Collectrices	580 km		
• Locales	2680 km		
		} Arrondissements	2100 km

# Bilan de condition

- Auscultation de l'ensemble du réseau routier en 2009



# Programmes de réfection

- Élaboration de projets intégrés et coordonnés
  - Conduites souterraines (aqueduc, eaux usés)
  - Aménagement de surface
  - Feux de circulation
  - Pistes cyclables
  - Utilités publiques

# Programmes de réfection

- Élaboration de projets intégrés et coordonnés
  - Conduites souterraines (aqueduc, eaux usés)
  - Aménagement de surface
  - Feux de circulation
  - Pistes cyclables
  - Utilités publiques

Résultats : réfection d'environ 60 km de rues / an

# Réhabilitation de chaussées

- En 2015, mise sur pied du  
Programme Complémentaire de Planage-Revêtement
  - Budget annuel de 50 M\$
  - Réhabilitation de 60 à 80 km / an
  - Durée de vie visée de 7 à 12 ans
  - Intervention de courte durée – impact réduit

# RÉHABILITATION DES CHAUSSÉES

- Validation technique de la pertinence de ce type d'intervention
  - Inspection visuelle
  - Carottage
  - Relevé de la capacité structural
  - Étude de la gélivité de l'infrastructure
  
- Autres considérations
  - Conduites souterraines
  - Condition des trottoirs
  - Objectif en terme de durée de vie

# ÉTUDE DE 3 SCÉNARIOS

- Scénario 1
  - Reconstruction uniquement
- Scénario 2
  - Reconstruction
  - Réhabilitation majeure
  - Réhabilitation mineure (surface)
- Scénario 3
  - Réhabilitation mineure uniquement \*

\* Réduction de la durée de vie prévue de 40%

# ÉTUDE DE 3 SCÉNARIOS

Arrondissement : 176 km

Plafond d'investissement = 9,3 M\$ annuel

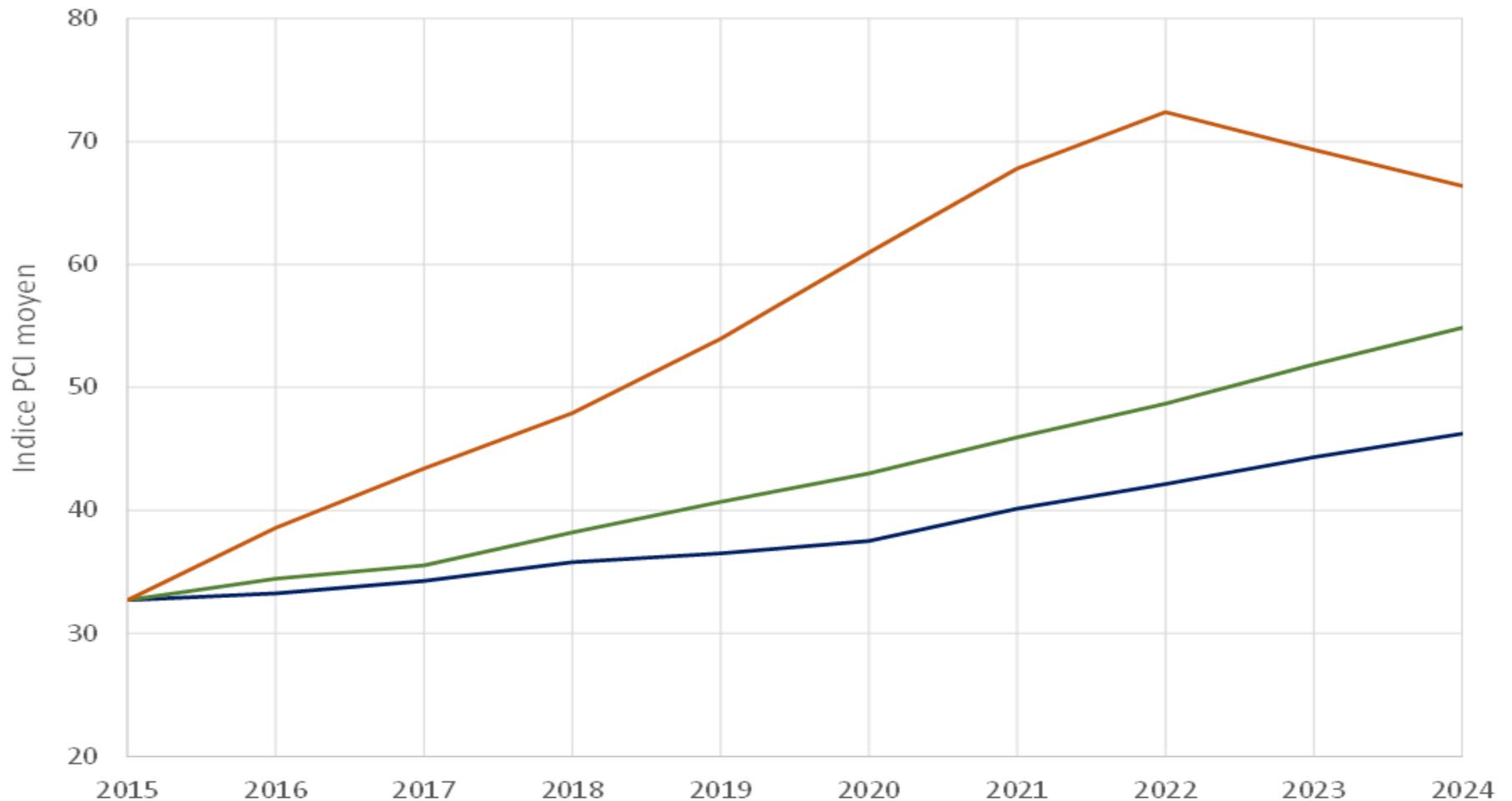
## Longueur de chaussées (km)

Intervention	Scénarios		
	1	2	3
Reconstruction synchronisé	0.5	1.9	0.4
Reconstruction non-synchronisé	5.7	1.1	0
Réhabilitation majeure	0	3.1	0
Réhabilitation mineure	0	2.2	15.4
<b>Total</b>	<b>6.2</b>	<b>8.3</b>	<b>15.8</b>
	<b>3.5%</b>	<b>4.7%</b>	<b>9.0%</b>

# ÉTUDE DE 3 SCÉNARIOS - HORIZON 10 ans

Évolution de l'indice PCI moyen en fonction du scénario

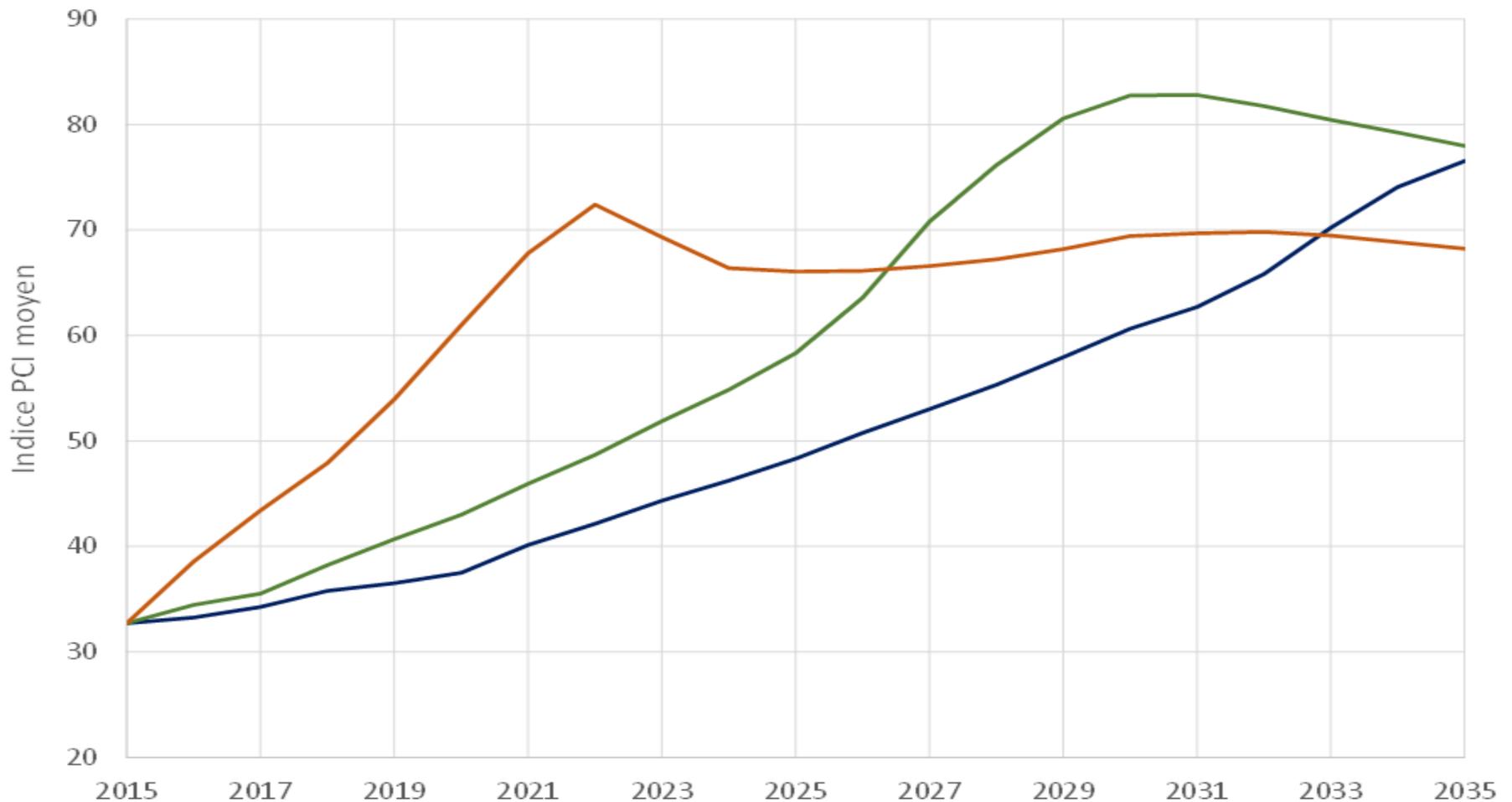
— Scénario 1 — Scénario 2 — Scénario 3



# ÉTUDE DE 3 SCÉNARIOS - HORIZON 25 ans

Évolution de l'indice PCI moyen en fonction du scénario

— Scénario 1 — Scénario 2 — Scénario 3



# Conclusions

- ⦿ Pour prendre de bonnes décisions de gestion, le risque doit être quantifié.
- ⦿ L'impact d'une stratégie se doit d'être évalué tant au niveau du projet que du réseau.
- ⦿ L'impact sur le niveau de service doit faire partie de l'évaluation du risque.
- ⦿ La gestion intégrée exige qu'on tolère certains risques ponctuels au profit d'une amélioration globale du niveau de service.

# VERS L'AVANT

- Raffiner le processus de décision en définissant plus précisément notre tolérance au risque
  - VAN moyenne positive?
  - Probabilité de + 50% que la VAN soit positive?
  - Valeur moyenne - Écart-type > 0 ?
  - Seuil de perte tolérable?
  - Impact du niveau de service?
- Créer un outil permettant de générer automatiquement les résultats après la saisie des principales données sur les caractéristiques de la chaussée, des conduites et de l'environnement (quartier, achalandage, types d'immeubles environnants)

# Période de questions

Normand Hachey, ing.

Chef de division  
Plan directeur

Direction de la gestion stratégique des  
réseaux d'eau

Tél. : 514 872-3495

[normand.hachey@ville.montreal.qc.ca](mailto:normand.hachey@ville.montreal.qc.ca)

Jean Carrier, ing., M.Ing.

*Ingénieur chef-d'équipe*  
Division Gestion d'actifs  
Direction des transports  
Service des infrastructures, de la  
voirie et des transports

514 872-0407

[Jean.carrier@ville.montreal.qc.ca](mailto:Jean.carrier@ville.montreal.qc.ca)