

# GESTION PÉRENNE DES ACTIFS D'ÉGOUTS: de l'État des Réseaux à la Prise de Décision

Congrès INFRA 2014 | 20<sup>E</sup> Édition  
2 décembre 2014

Nathalie Oum, ing., M.Sc.A  
Driss Ellassraoui, ing.  
Service de l'eau de la ville de Montréal

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

- Mise en contexte
- Statistiques descriptives
- Modèles de détérioration
- Présentation des résultats
- Exploitation des résultats
- Conclusion et recommandations

## MISE EN CONTEXTE

- GESTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS
- STRATÉGIE D'AUSCULTATION
- PLAN D'INVESTISSEMENT
- MISSION

- La gestion pérenne des réseaux d'égouts revient globalement à intervenir au **bon endroit**, au **bon moment** et à **moindres coûts**
- Elle permet entre autres:
  - De minimiser les risques d'effondrement résultant de la dégradation des réseaux d'égouts

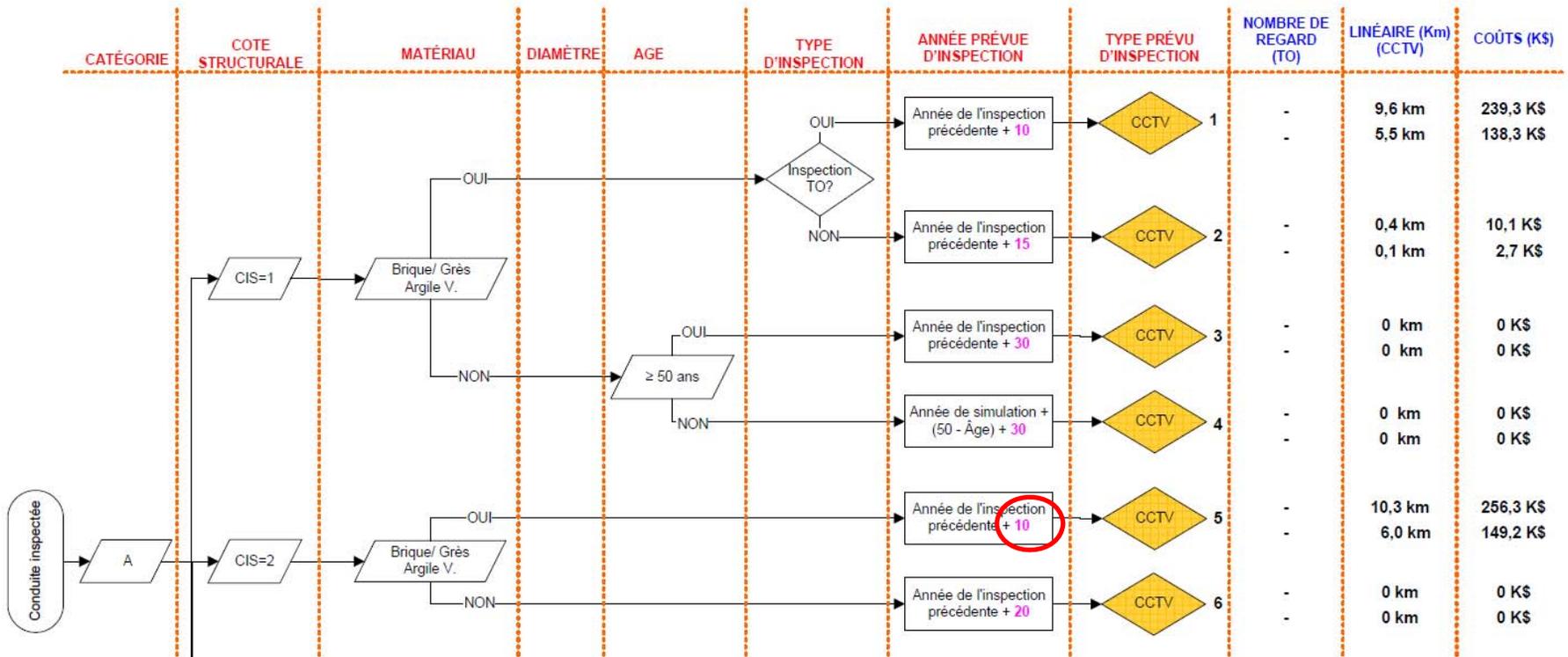


## MISE EN CONTEXTE

- GESTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS
- **STRATÉGIE D'AUSCULTATION**
- PLAN D'INVESTISSEMENT
- MISSION

- Pour optimiser les interventions sur les réseaux d'égouts et minimiser les risques d'effondrement:
  - Depuis 2006, un programme soutenu de remplacement et de réhabilitation des conduites d'égouts a été mis en œuvre
  - En plus, une équipe dédiée à la réparation systématique des conduites a été mise en place
  - La stratégie d'auscultation des réseaux a été révisée et bonifiée
  - L'utilisation d'un SIAD a permis de produire des plans d'intervention et d'investissement basés sur nos stratégies et politiques décisionnelles

# Extrait de la nouvelle stratégie d'auscultation

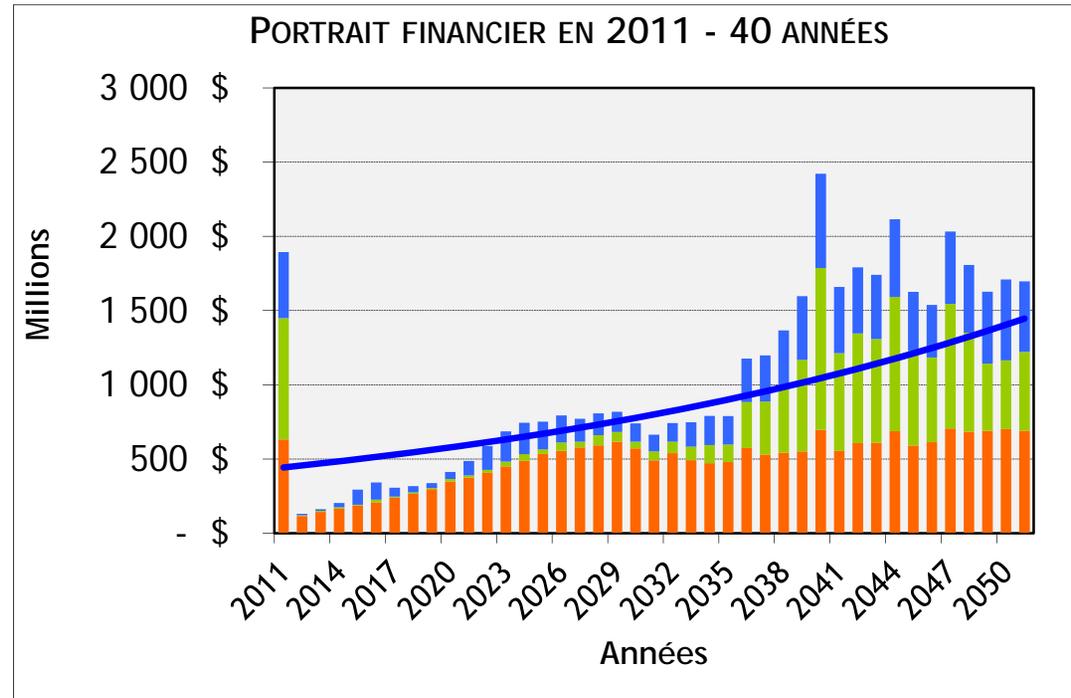


Cependant, les délais d'inspection et de réinspection sont basés sur la revue de la littérature et la connaissance du terrain.

## MISE EN CONTEXTE

- GESTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS
- STRATÉGIE D'AUSCULTATION
- **PLAN D'INVESTISSEMENT**
- MISSION

## Extrait du plan d'investissement



Cependant, les durées de vie sont basées sur la revue de la littérature et l'expertise des gestionnaires

## MISE EN CONTEXTE

- ◉ GESTION DES RÉSEAUX D'ÉGOUTS
- ◉ STRATÉGIE D'AUSCULTATION
- ◉ PLAN D'INVESTISSEMENT
- ◉ **MISSION**

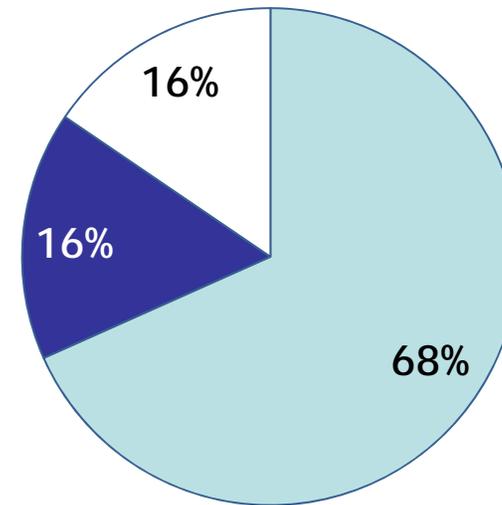
- ◉ Pour garantir une gestion pérenne des réseaux d'égouts:
  - ◉ Une validation des **délais d'inspection et de réinspection**, ainsi que des **durées de vie** est nécessaire, en utilisant:
    - Les données d'inspections (2006-2014)
    - Les nouvelles approches pour prédire l'évolution de l'état des conduites

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## TYPES DE RÉSEAUX (4340 KM)

■ COMBINÉ ■ PLUVIAL ■ SANITAIRE

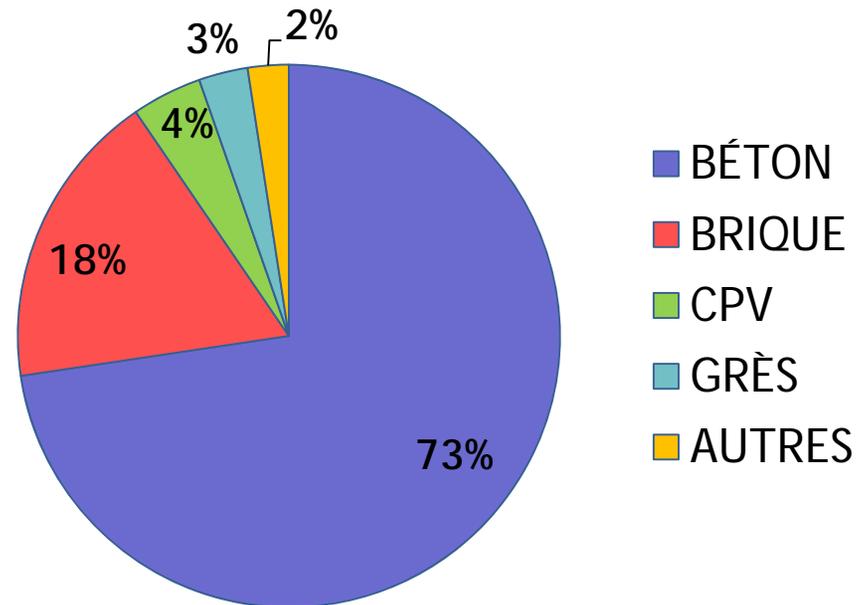


- 84% des conduites transportant les eaux usées

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- **MATÉRIAUX**
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## MATÉRIAUX (4340 KM)

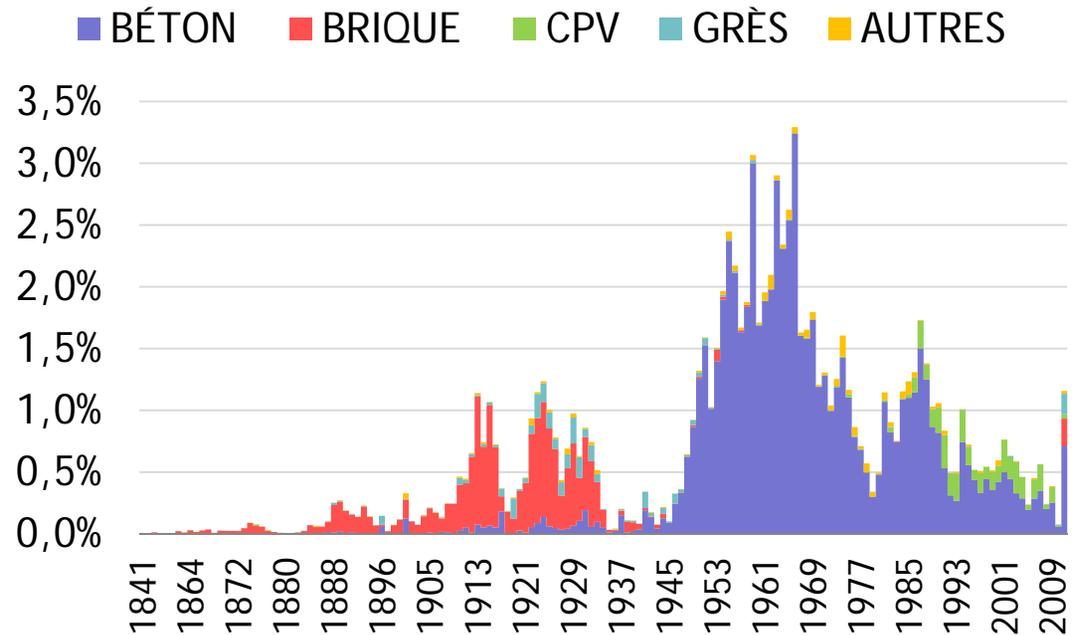


- 73% de béton et 18% de brique

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## ANNÉE D'INSTALLATION (4340 KM)

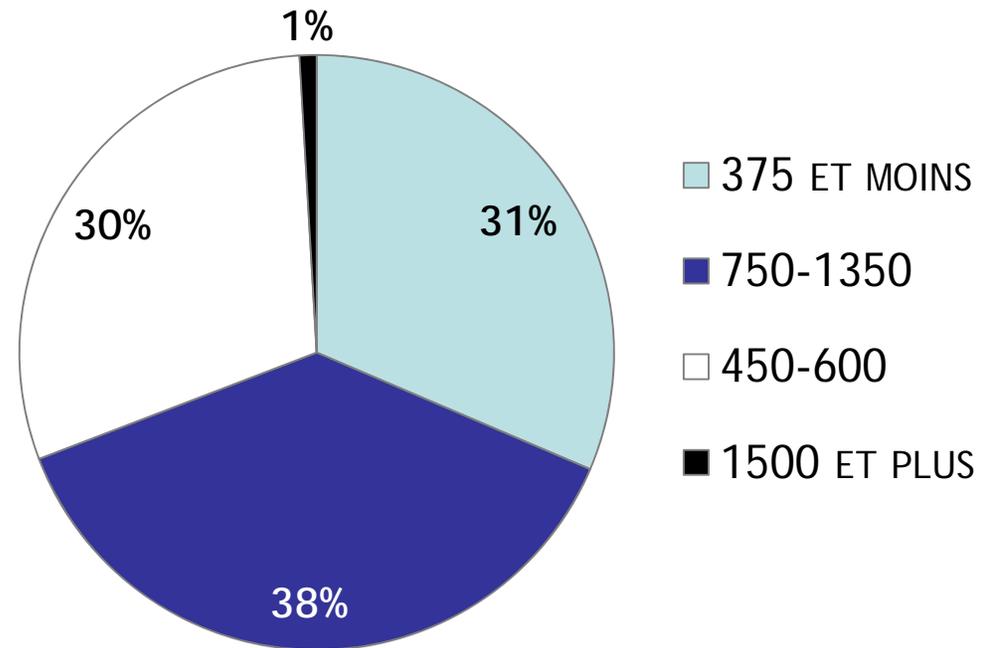


- Corrélation apparente entre les types de matériaux et les années d'installation.

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- **CLASSES DE DIAMÈTRES**
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## CLASSES DE DIAMÈTRE (4340 KM)

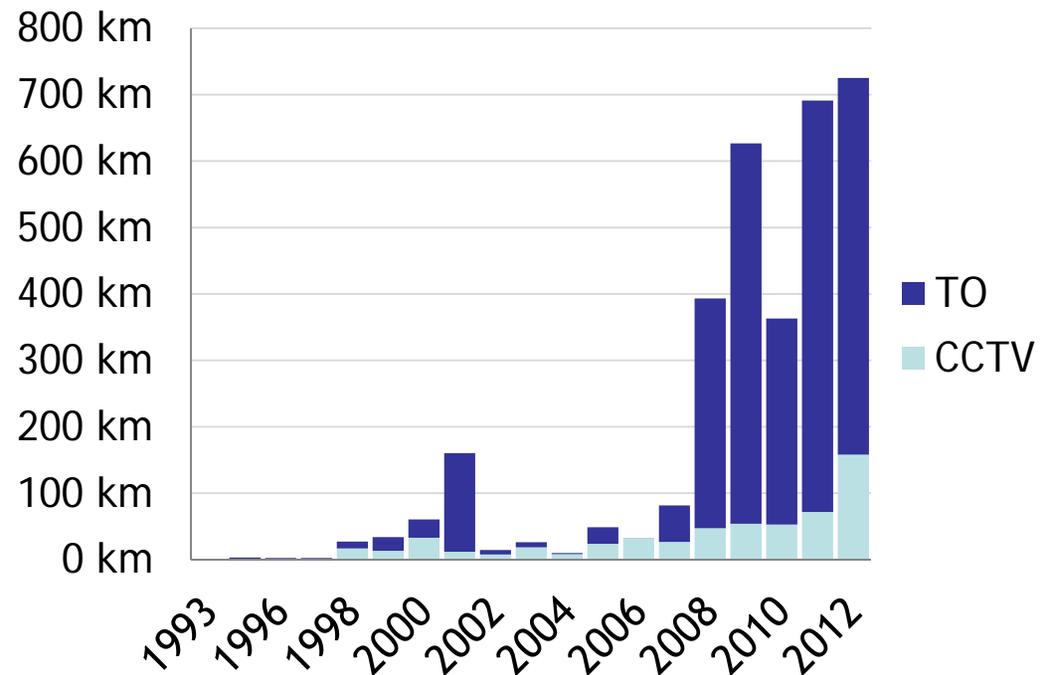


- 61% de diamètre de 600 mm et moins

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## LINÉAIRE INSPECTÉ DEPUIS 1993

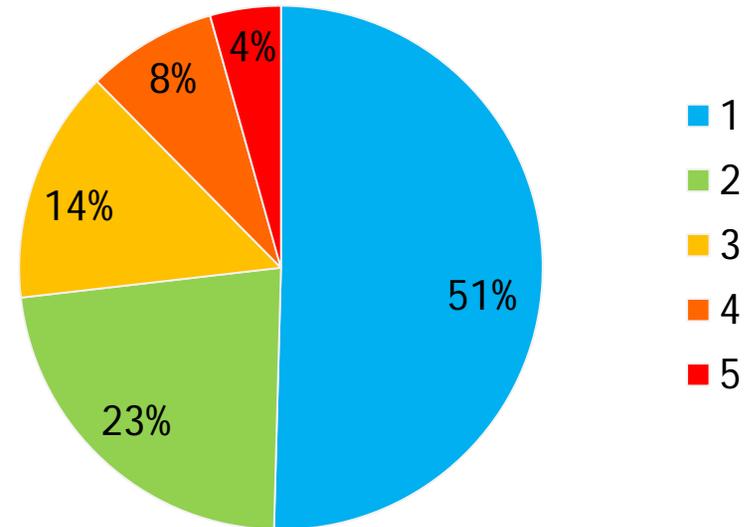


- Près de 3300 km de conduites inspectées depuis 1993
- Protocoles utilisés: WRc et PACP

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- **RÉPARTITION GLOBALE DES COTES**
- RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

## COTE D'INTÉGRITÉ STRUCTURALE (3300 KM)

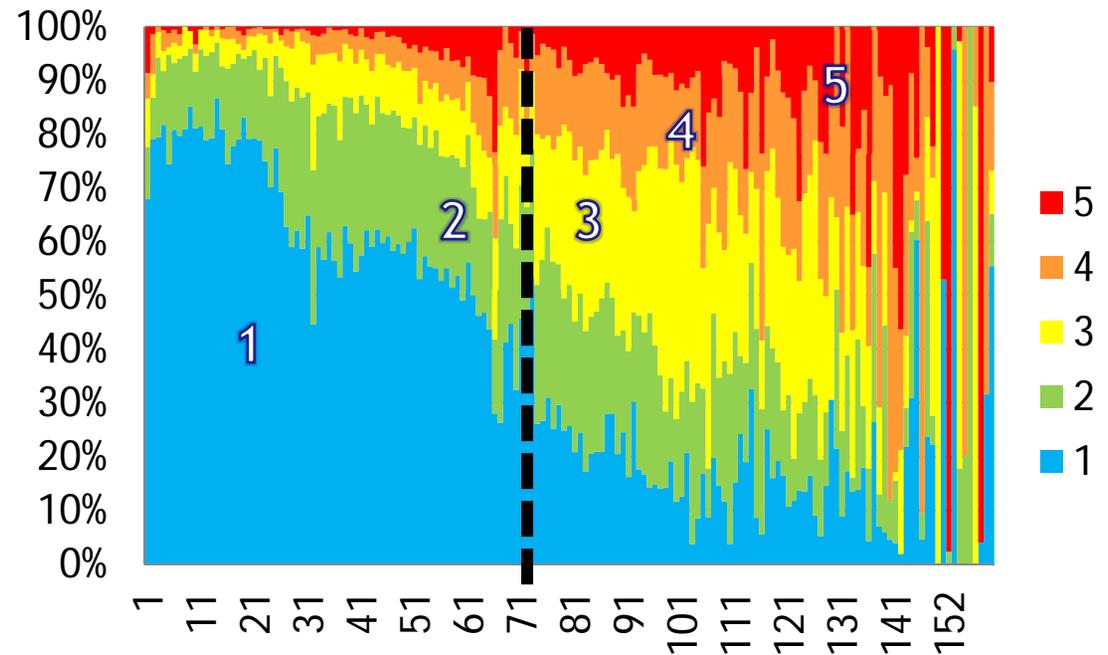


COTE	DESCRIPTION
5	Effondrement imminent
4	Effondrement probable à court terme
3	Effondrement peu probable à court terme
2	Risque minimal d'effondrement à court terme
1	Condition structurale acceptable

# STATISTIQUES DESCRIPTIVES

- TYPES DE RÉSEAUX
- MATÉRIAUX
- ANNÉES D'INSTALLATION
- CLASSES DE DIAMÈTRES
- ÉVOLUTION DES INSPECTIONS
- RÉPARTITION GLOBALE DES COTES
- **RÉPARTITION DES COTES PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION**

## COTE PAR ÂGE AU MOMENT DE L'INSPECTION

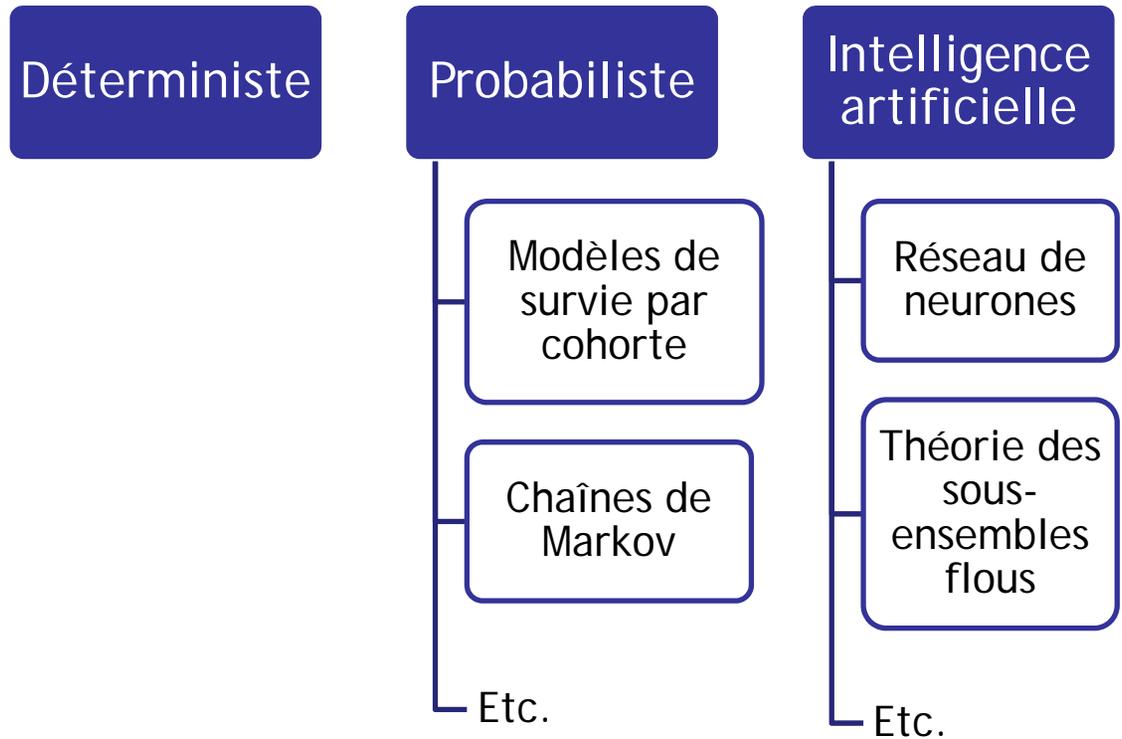


- À 71 ans, une conduite aurait 20% de chance d'avoir une cote supérieure ou égale à 4.

# MODÈLES DE DÉTÉRIORATION

- DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES
- MODÈLE DE HERTZ
- CHAINES DE MARKOV

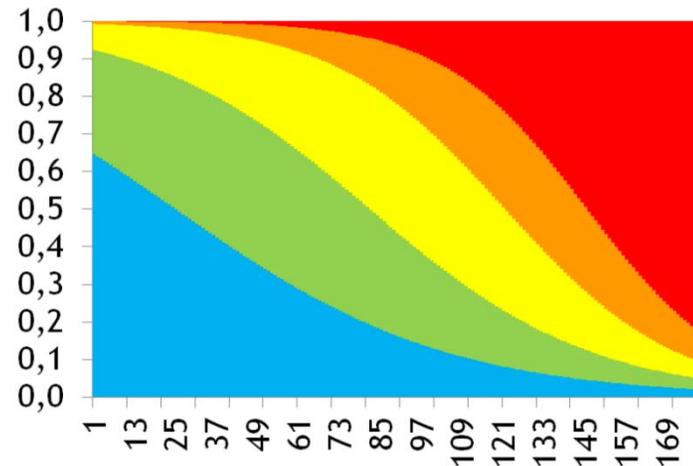
- Modèles de détérioration



# MODÈLES DE DÉTÉRIORATION

- DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES
- MODÈLE DE HERTZ
- CHAINES DE MARKOV

- Modèles de survie par cohorte:



- Modèle de Hertz
- Modèle de Gompertz
- Modèle de Weibull
- Etc.
- Approche utilisée:
  - Modèle de Hertz pour les fonctions de survie
  - Chaînes de Markov

# MODÈLES DE DÉTÉRIORATION

- DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES
- **MODÈLE DE HERTZ**
- CHAINES DE MARKOV

## • Modèle de Hertz

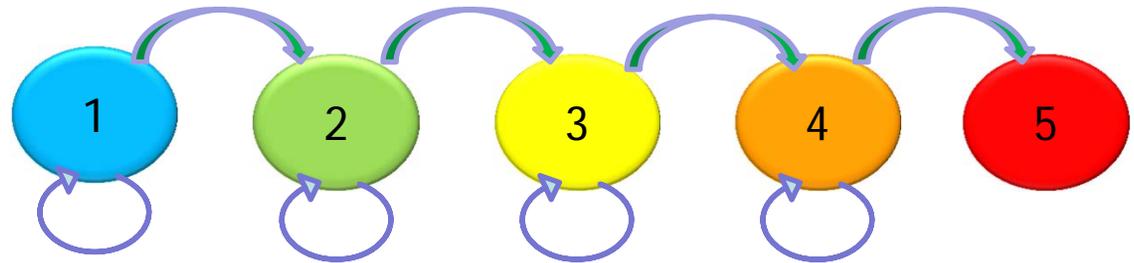
- Fonction de survie à l'état  $i$ ,  $S(t) = \%$  des conduites à l'âge  $t$  dont la cote est inférieure ou égale à  $i$
- $$S(t) = \frac{A+1}{A + \exp(B \times (t-C))}$$
  - $A$  = facteur de vieillissement; si  $A \nearrow \rightarrow$  transition lente
  - $B$  = paramètre de transition (1/ans); si  $B \nearrow \rightarrow$  transition rapide
  - $C$  = temps de résistance (ans) dans un même état
- Méthode des moindres carrées
  - Utilisée pour calculer les paramètres de la fonction de survie
- Calibration affine
  - Simulation et validation sur la période de 2012-2014

# MODÈLES DE DÉTÉRIORATION

- DIFFÉRENTS TYPES DE MODÈLES
- MODÈLE DE HERTZ
- CHAINES DE MARKOV

## • Chaînes de Markov

- Processus non homogène → Probabilité de transition dépendant de l'âge de la conduite



- Matrice de transition markovienne  $Q(t + 1)$

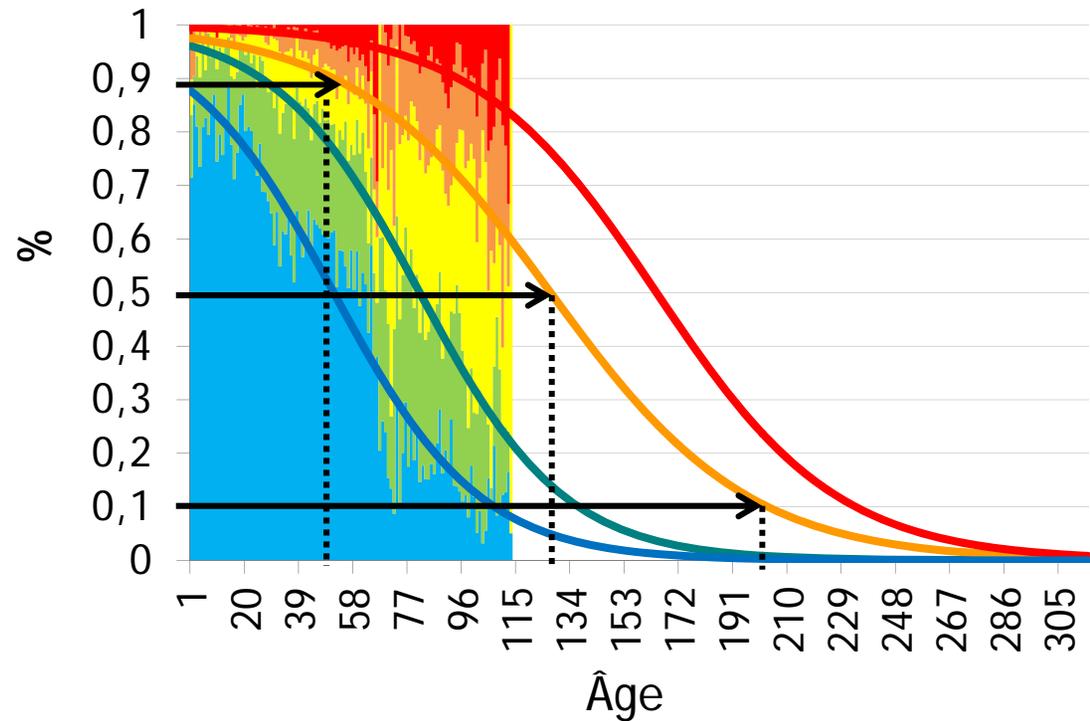
$$\begin{pmatrix} q_1(t + \Delta t) & 1 - q_1(t + \Delta t) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2(t + \Delta t) & 1 - q_2(t + \Delta t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3(t + \Delta t) & 1 - q_3(t + \Delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4(t + \Delta t) & 1 - q_4(t + \Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Coefficients de transition basés sur la fonction de survie
- Vecteur de probabilité d'état futur
  - $P^T(t + 1) = P^T(t) \times Q(t + 1)$

# PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- TOUS MATÉRIAUX
- BÉTON (375 MM ET MOINS)
- BÉTON (450-600 MM)
- BÉTON (750-1350 MM)
- BRIQUE

## COURBES DE SURVIE - TOUS MATÉRIAUX

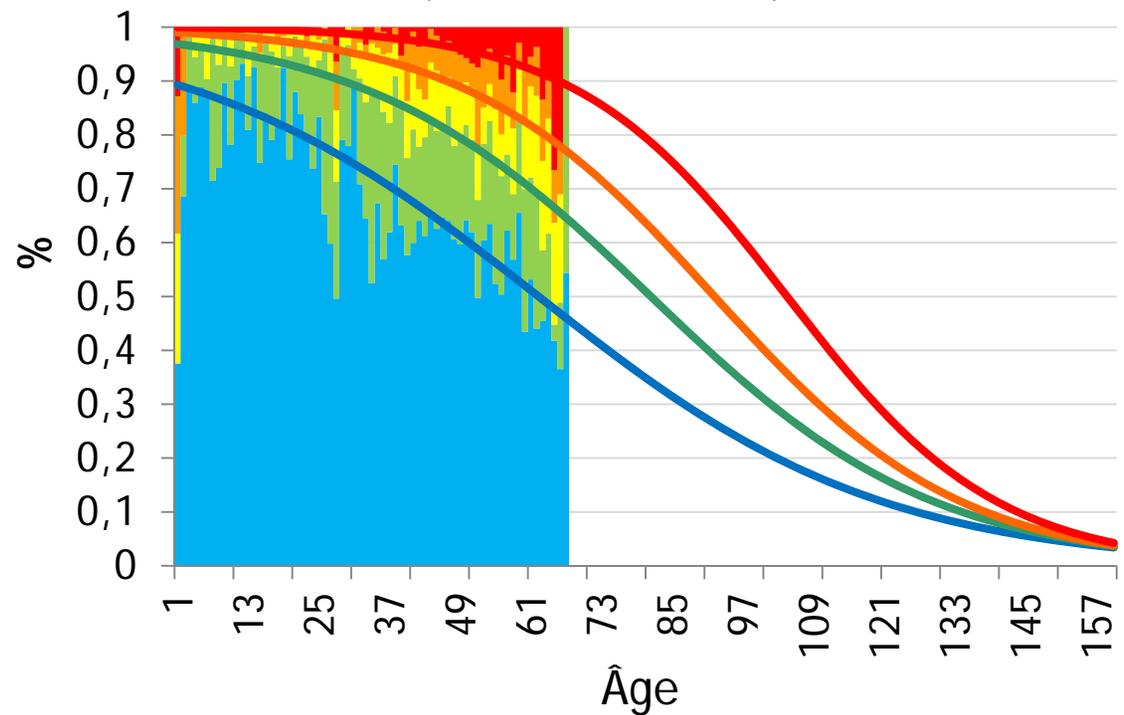


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	50	125	200
CIS=5	90	160	230

# PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- TOUS MATÉRIAUX
- BÉTON (375 MM ET MOINS)**
- BÉTON (450-600 MM)
- BÉTON (750-1350 MM)
- BRIQUE

## COURBES DE SURVIE - BÉTON (375 MM ET MOINS)

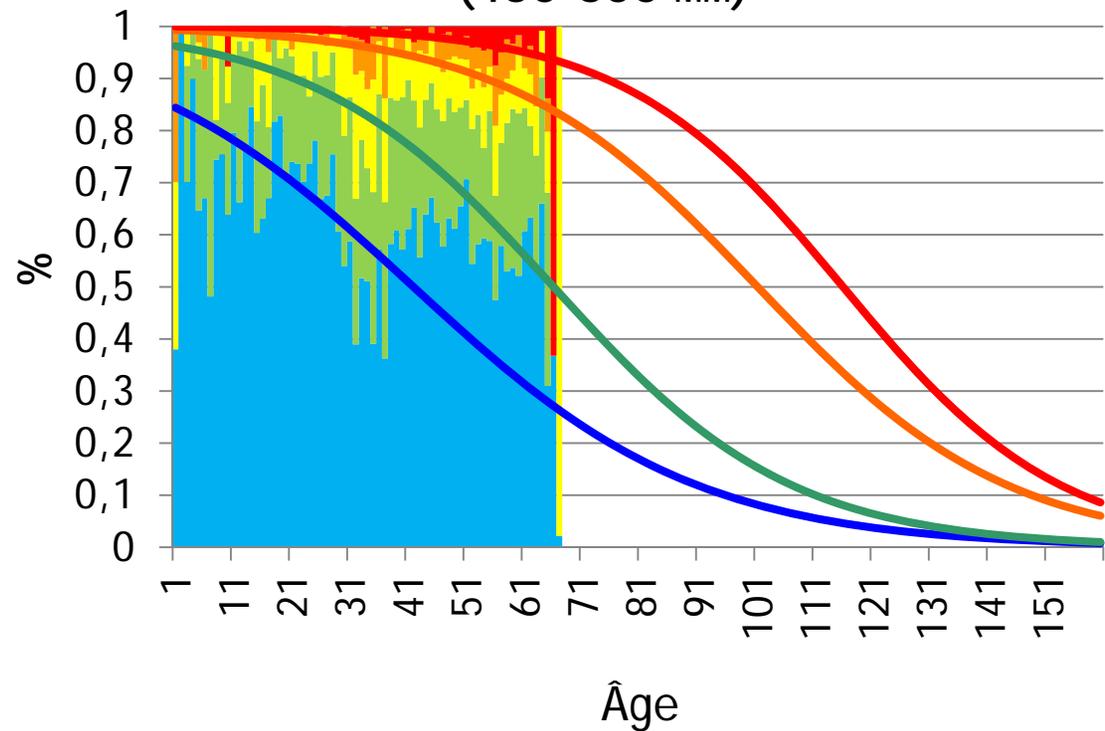


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	45	90	140
CIS=5	65	105	145

# PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- TOUS MATÉRIAUX
- BÉTON (375 MM ET MOINS)
- **BÉTON (450-600 MM)**
- BÉTON (750-1350 MM)
- BRIQUE

## COURBES DE SURVIE - BÉTON (450-600 MM)

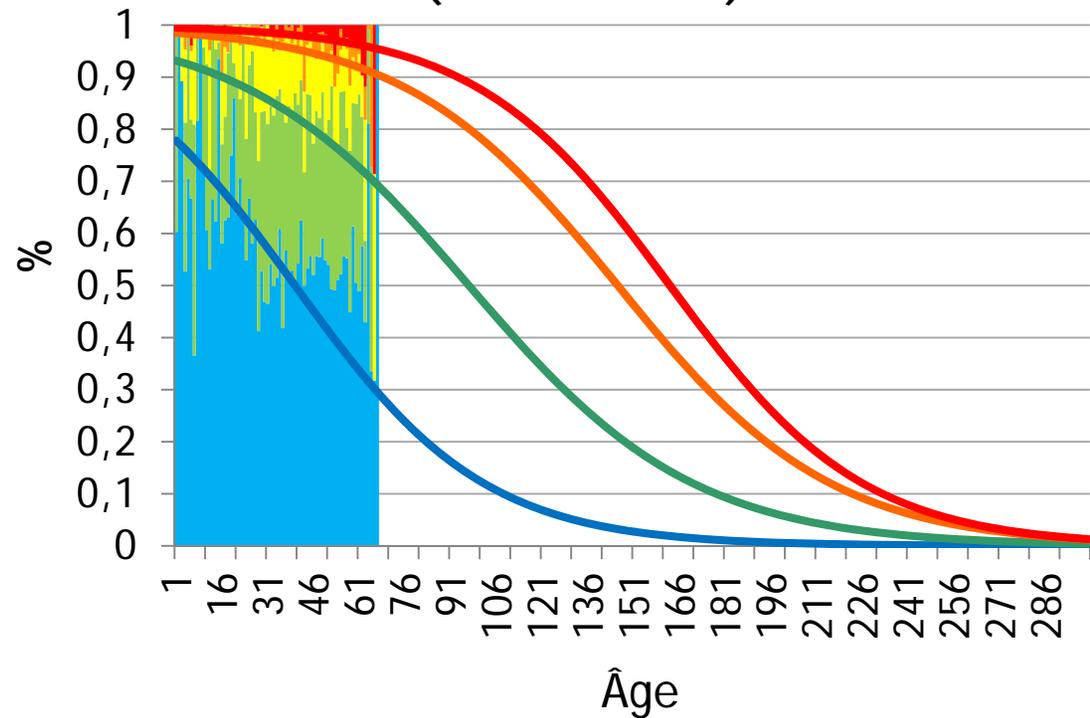


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	55	100	150
CIS=5	75	115	155

# PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- TOUS MATÉRIAUX
- BÉTON (375 MM ET MOINS)
- BÉTON (450-600 MM)
- BÉTON (750-1350 MM)**
- BRIQUE

## COURBES DE SURVIE - BÉTON (750-1350 MM)

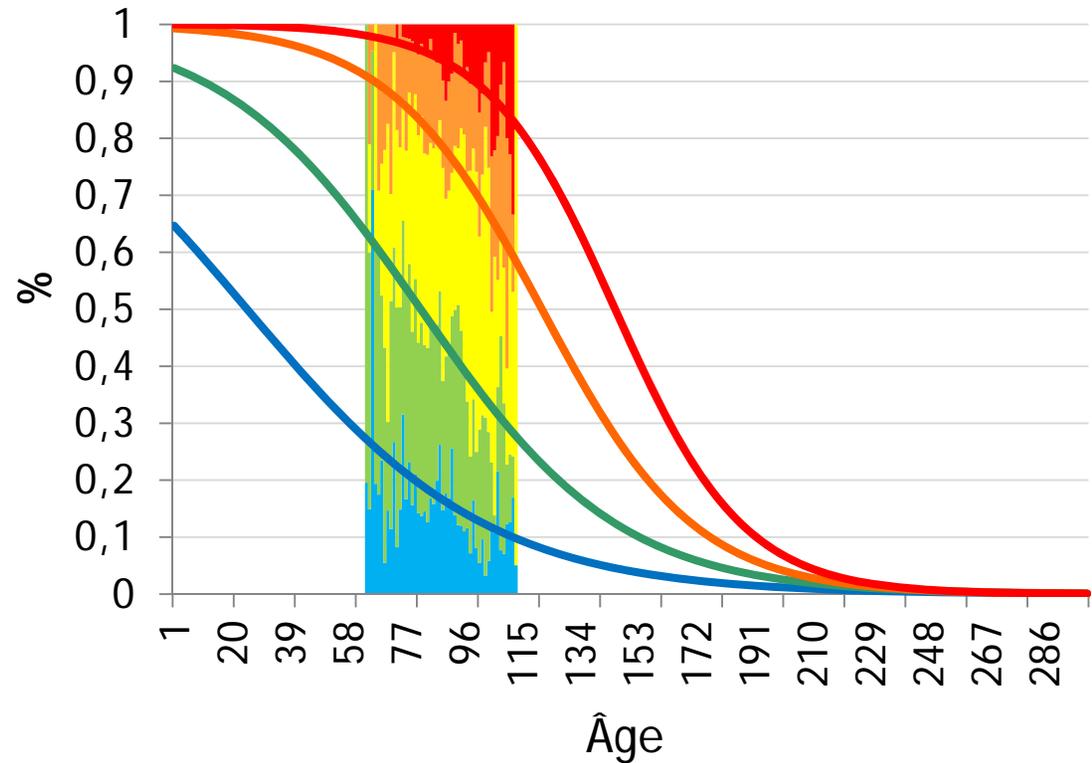


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	70	145	225
CIS=5	95	165	235

# PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

- TOUS MATÉRIAUX
- BÉTON
- BÉTON (375 MM ET MOINS)
- BÉTON (376-600 MM)
- **BRIQUE**

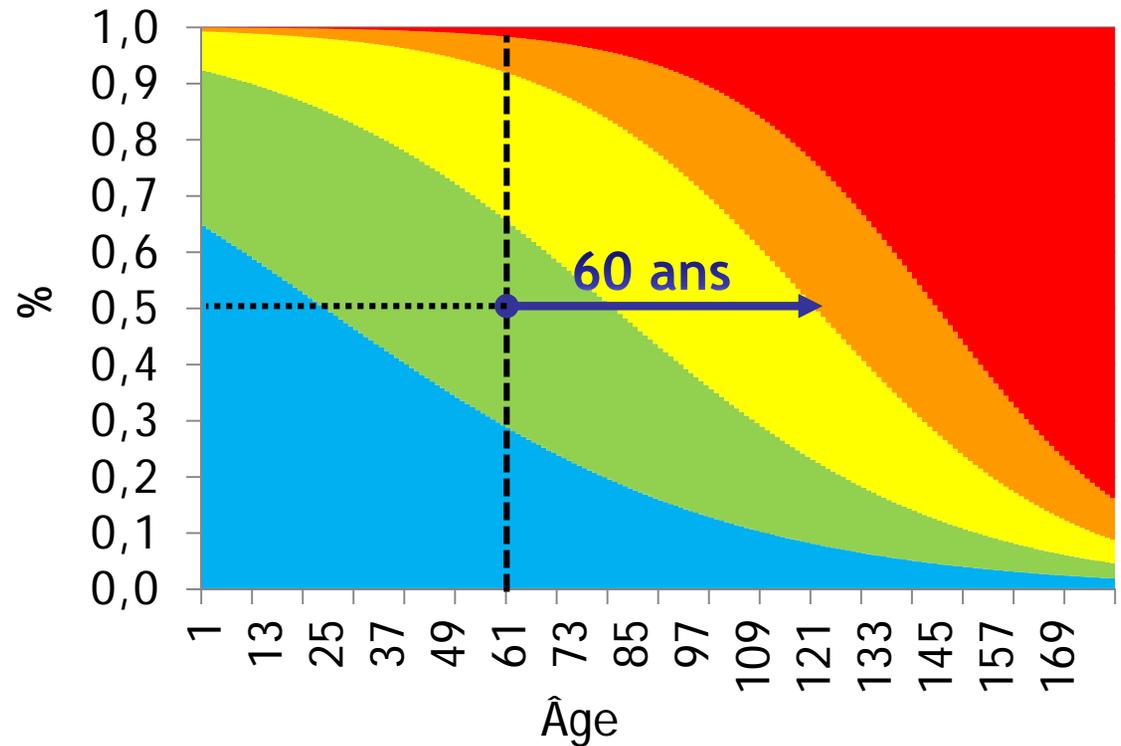
## COURBES DE SURVIE - BRIQUE



DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	65	120	175
CIS=5	100	145	190

## EXPLOITATION DES RÉSULTATS

- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS NON INSPECTÉS
- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS INSPECTÉS
- PROJECTION DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT



- P.ex., une conduite en brique à 61 ans, non inspectée, a 50% de chance:
  - d'avoir une cote 2
  - d'atteindre une cote 4 dans 60 ans

# EXPLOITATION DES RÉSULTATS

- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS NON INSPECTÉS
- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS INSPECTÉS
- PROJECTION DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT

- Exemple de cas

- Conduite en brique installée en 1944
- Inspectée en 2005 avec CIS de 3
- Vecteur probabilité actuelle  
(0, 0, 1, 0, 0)
- État futur P

$$P = (0,0,1,0,0) \prod_{i=1}^t Q$$

## EXPLOITATION DES RÉSULTATS

- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS NON INSPECTÉS
- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS INSPECTÉS
- PROJECTION DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT

- Tolérance aux risques
  - 50% de chance d'être en cote 4 ou plus

ID	D_Inst	CIS	D_Insp.	D_RéInsp.	Délai
1	1944	1	2005	2096	91 ans
2	1944	2	2005	2068	63 ans
3	1944	3	2005	2043	38 ans

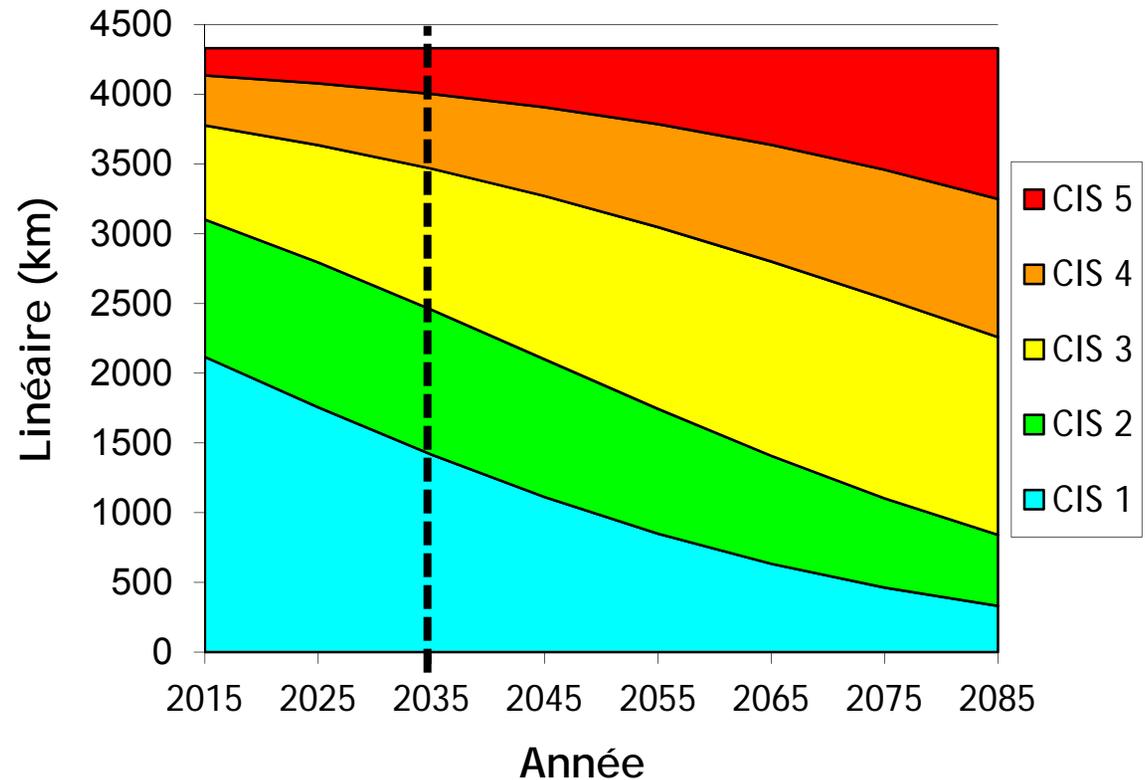
- 10% de chance d'être en cote 4 ou plus

ID	D_Inst	CIS	D_Insp.	D_RéInsp.	Délai
1	1944	1	2005	2056	51 ans
2	1944	2	2005	2034	29 ans
3	1944	3	2005	2013	8 ans

## EXPLOITATION DES RÉSULTATS

- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS INSPECTÉS
- PRÉVISION POUR LES ÉGOUTS NON INSPECTÉS
- **PROJECTION DE L'ÉVOLUTION DE L'ÉTAT**

- Projection future de l'état des réseaux (2015-2085)



- Part du réseau en cote 4 et 5:
  - 13% en 2015
  - 20% en 2035

# CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

- ◉ **RÉCAPITULATIF**
- ◉ QUALITÉ DES DONNÉES

- ◉ Approche intéressante pour la prise de décision pérenne:
  - ◉ Optimiser les délais d'inspection et de réinspection en fonction des niveaux de tolérance aux risques
  - ◉ Réévaluer les durées de vie avec les nouvelles données d'inspection
  - ◉ Établir le taux de renouvellement en fonction de l'évolution probable de l'état des réseaux
  - ◉ Ralentir le vieillissement des réseaux et maximiser les durées de vie par l'entretien préventif

# CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

- RÉCAPITULATIF
- **QUALITÉ DES DONNÉES**

- Les résultats dépendent de la qualité et de la quantité de données
- Des processus de contrôle qualité doivent être mis en place pour:
  - les inspections reçues
  - Les données physiques (p.ex.: matériau, date d'installation, etc.)



# Période de questions

Service de l'eau  
Ville de Montréal

Nathalie Oum, ing., M.Sc.A  
Driss Ellassraoui, ing.

