

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

Congrès INFRA 2014 | 20^E 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

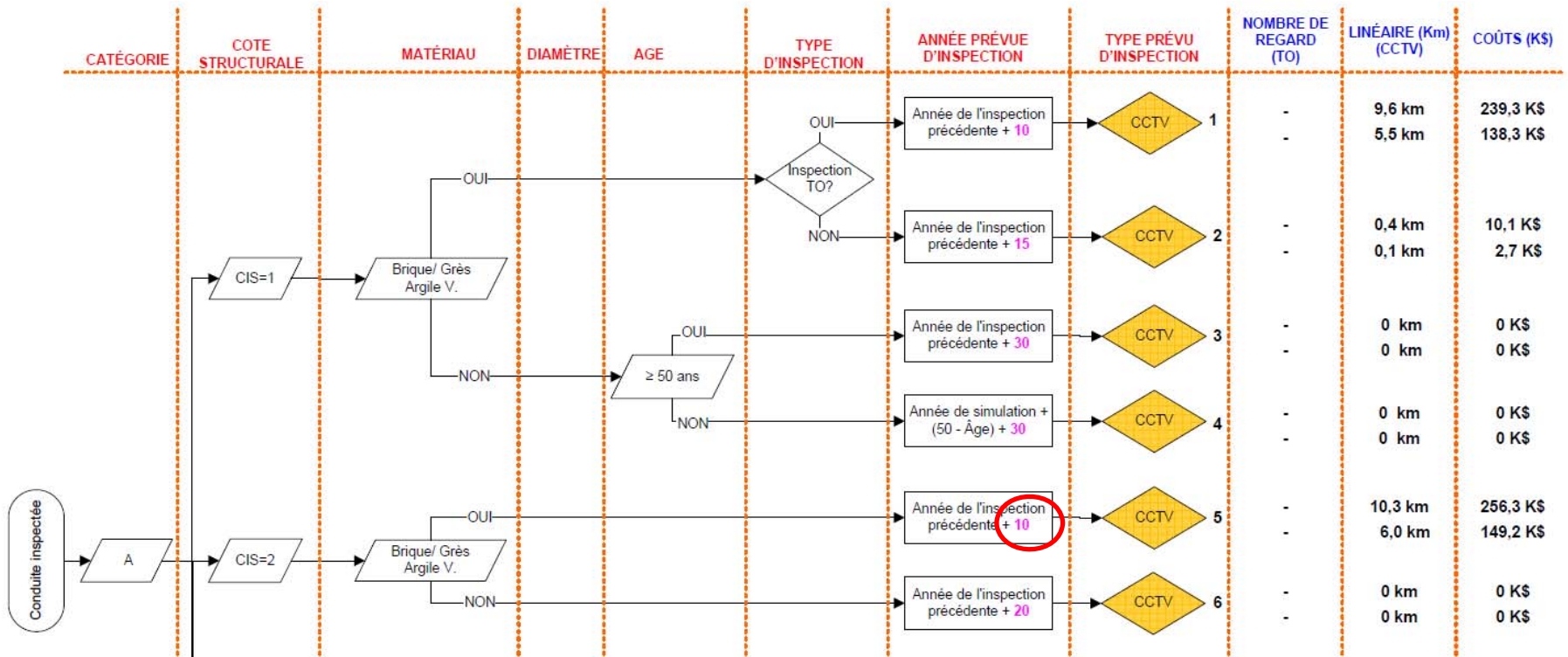


MISE EN CONTEXTE

- 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

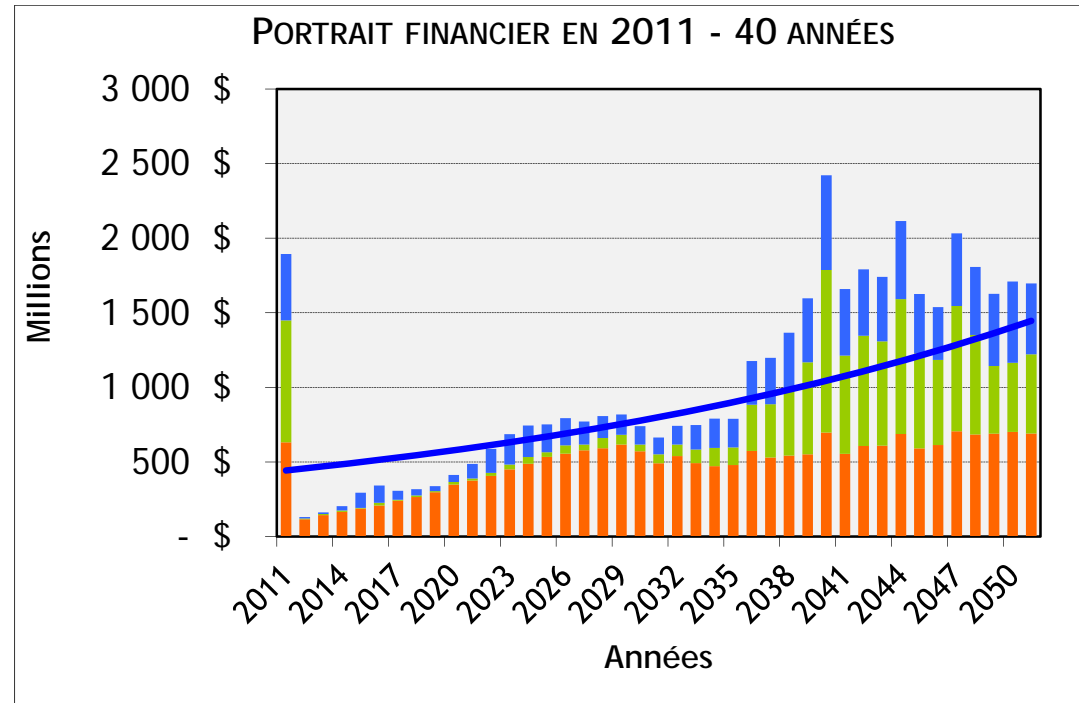


Cependant, les délais d'inspection et de réinspection sont basés sur la revue de la littérature et la connaissance du terrain.

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**

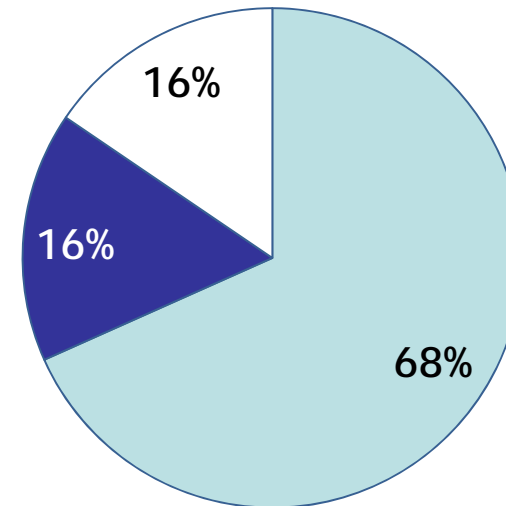
- ◉ Pour garantir une gestion pérenne des réseaux d'égouts:
 - ◉ Une validation des **délais d'inspection et de réinspection**, ainsi que des **durées de vie** est nécessaire, en utilisant:
 - Les données d'inspections (2006-2014)
 - Les nouvelles approches pour prédire l'évolution de l'état des conduites

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

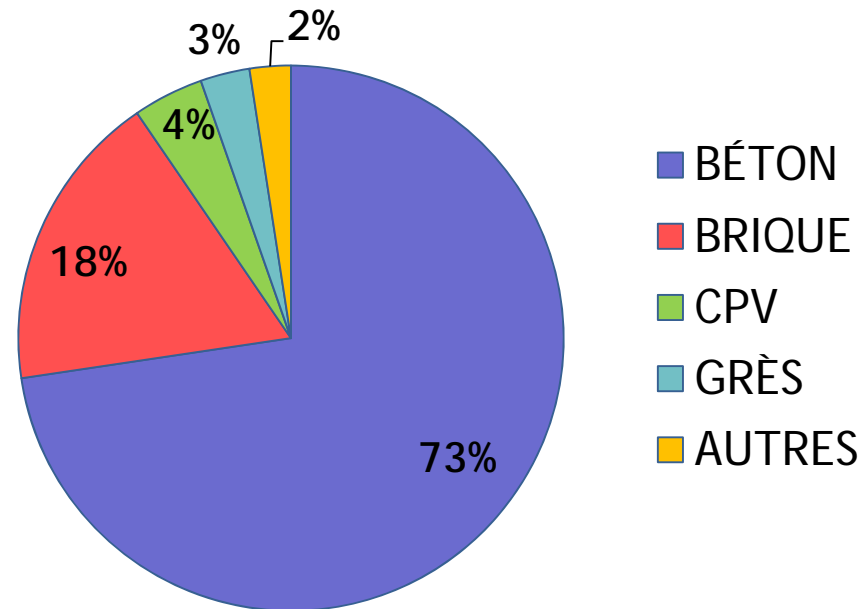


- 84% des conduites transportant les eaux usées

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)

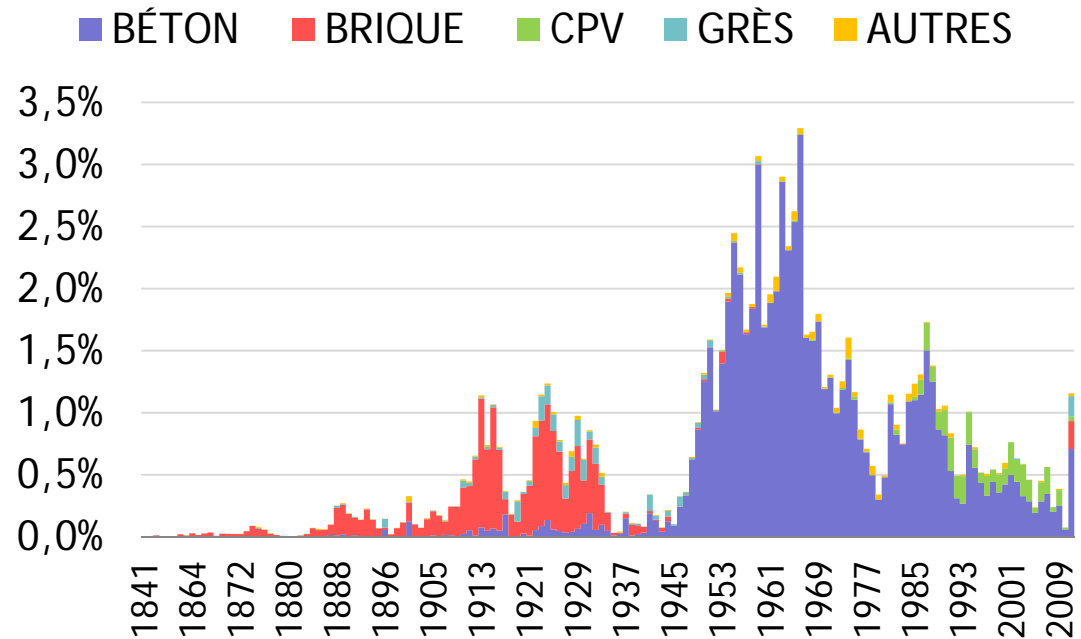


- 73% de béton et 18% de brique

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)

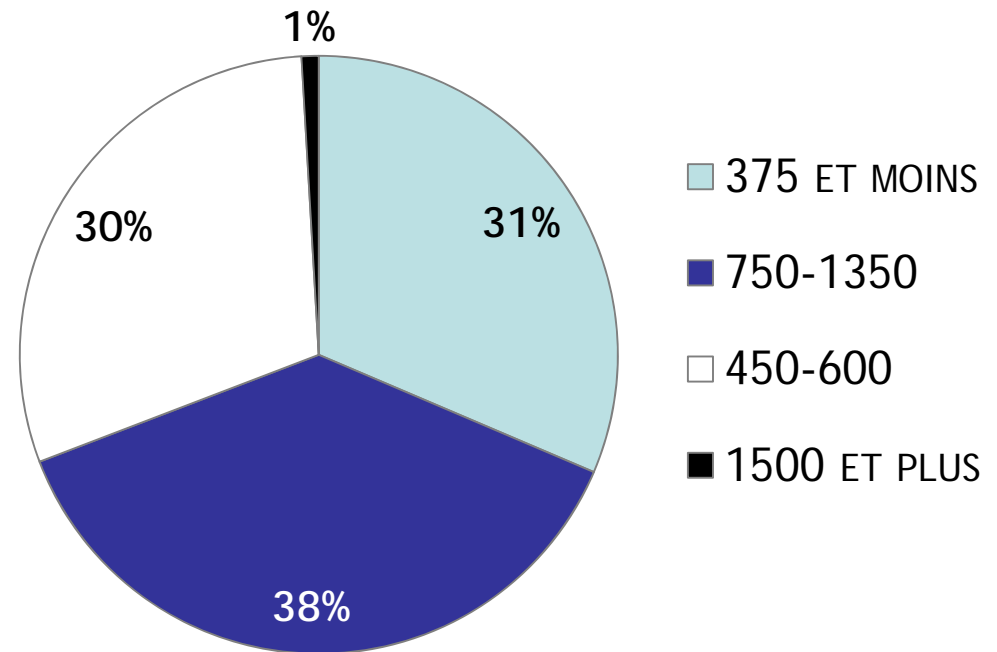


- Corrélation apparente entre les types de matériaux et les années d'installation.

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)

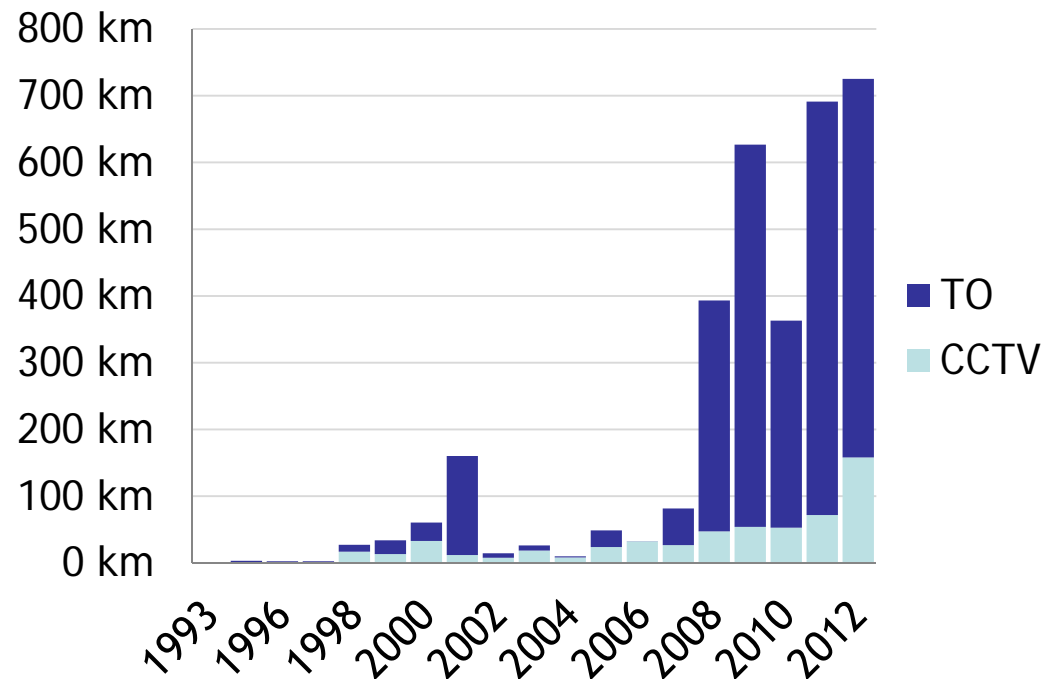


- 61% de diamètre de 600 mm et moins

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

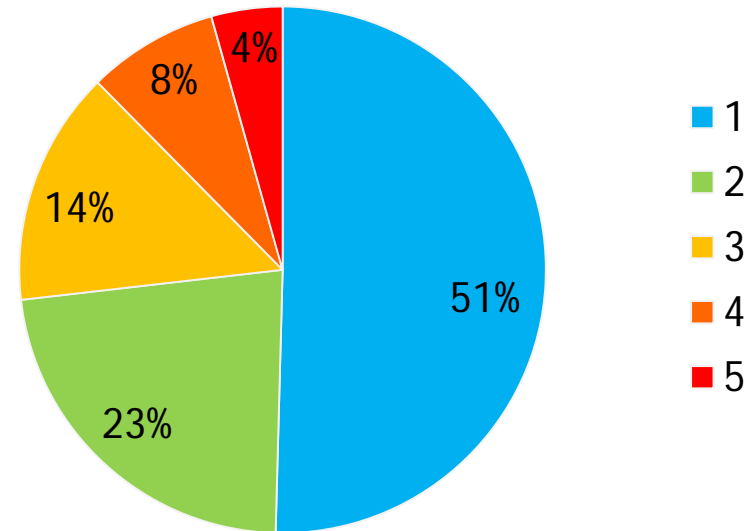


- Près de 3300 km de conduites inspectées depuis 1993
- Protocoles utilisés: WRc et PACP

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)

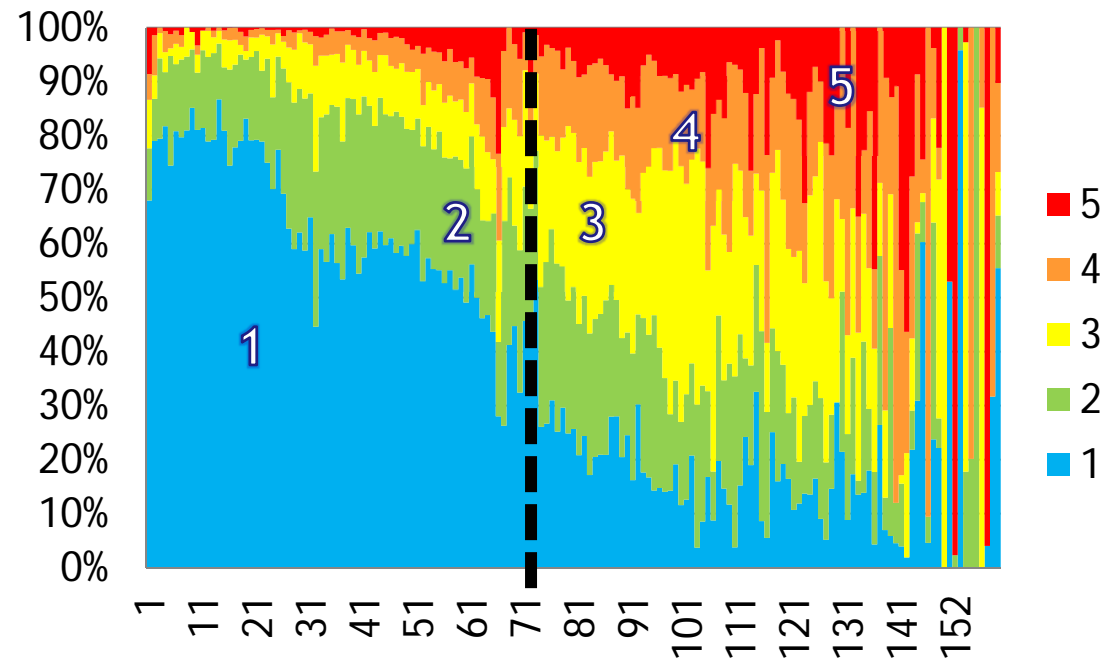


COTE	DESCRIPTION
5	Effondrement imminent
4	Effondrement probable à court terme
3	Effondrement peu probable à court terme
2	Risque minimal d'effondrement à court terme
1	Condition structurale acceptable

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

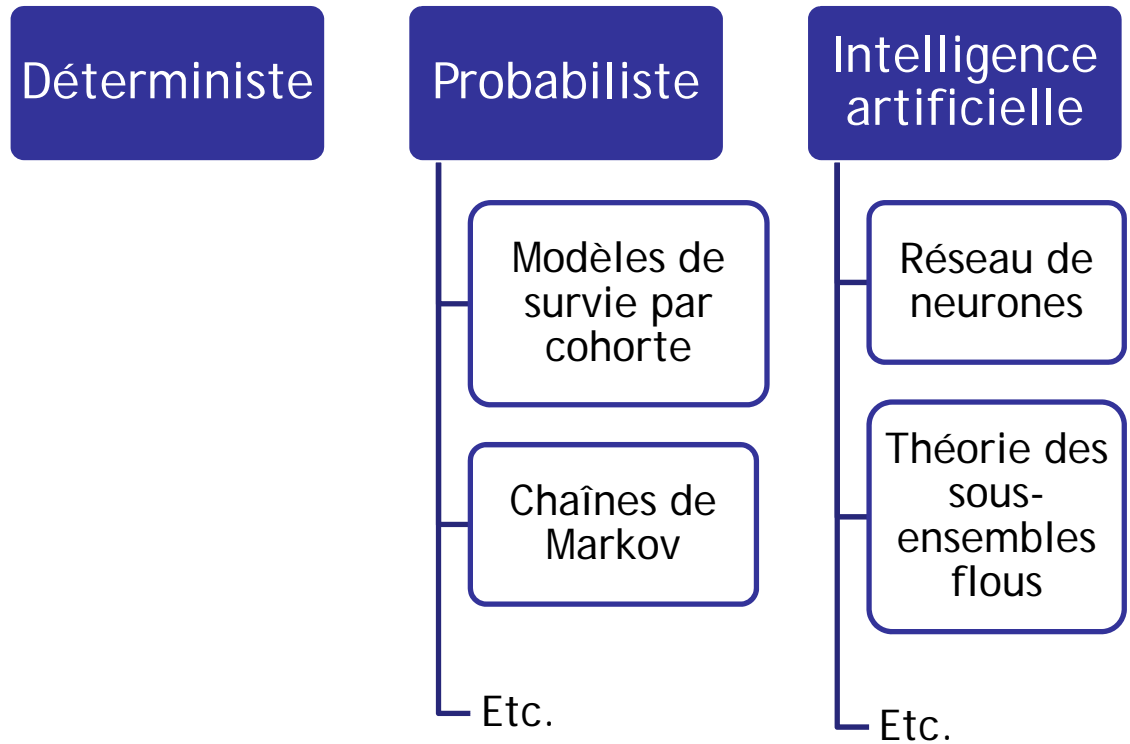


- À 71 ans, une conduite aurait 20% de chance d'avoir une cote supérieure ou égale à 4.

MODÈLES DE DÉTÉRIORATION

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

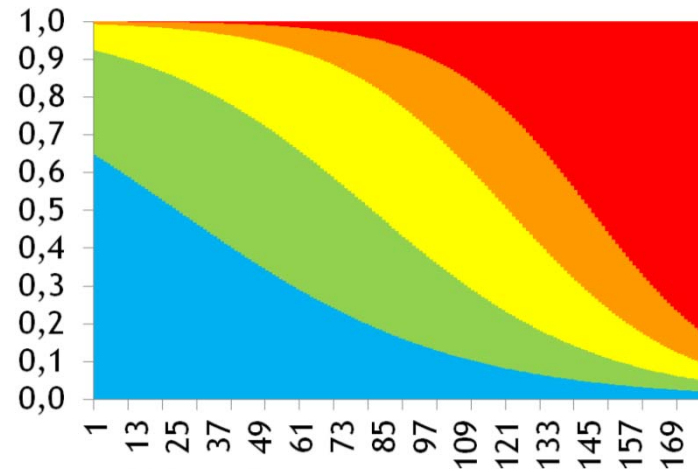
- Modèles de détérioration



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

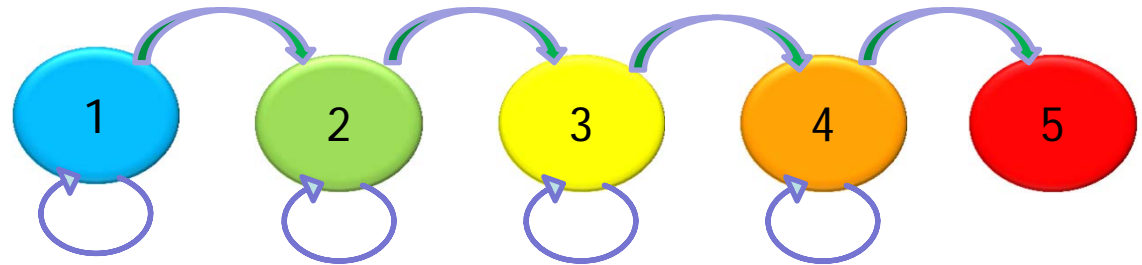
- Fonction de survie à l'état i , $S(t) = \%$ des conduites à l'âge t dont la cote est inférieure ou égale à i
- $$S(t) = \frac{A+1}{A + \exp(B \times (t-C))}$$
 - A = facteur de vieillissement; si $A \nearrow \rightarrow$ transition lente
 - B = paramètre de transition (1/ans); si $B \nearrow \rightarrow$ 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 $Q(t + 1)$

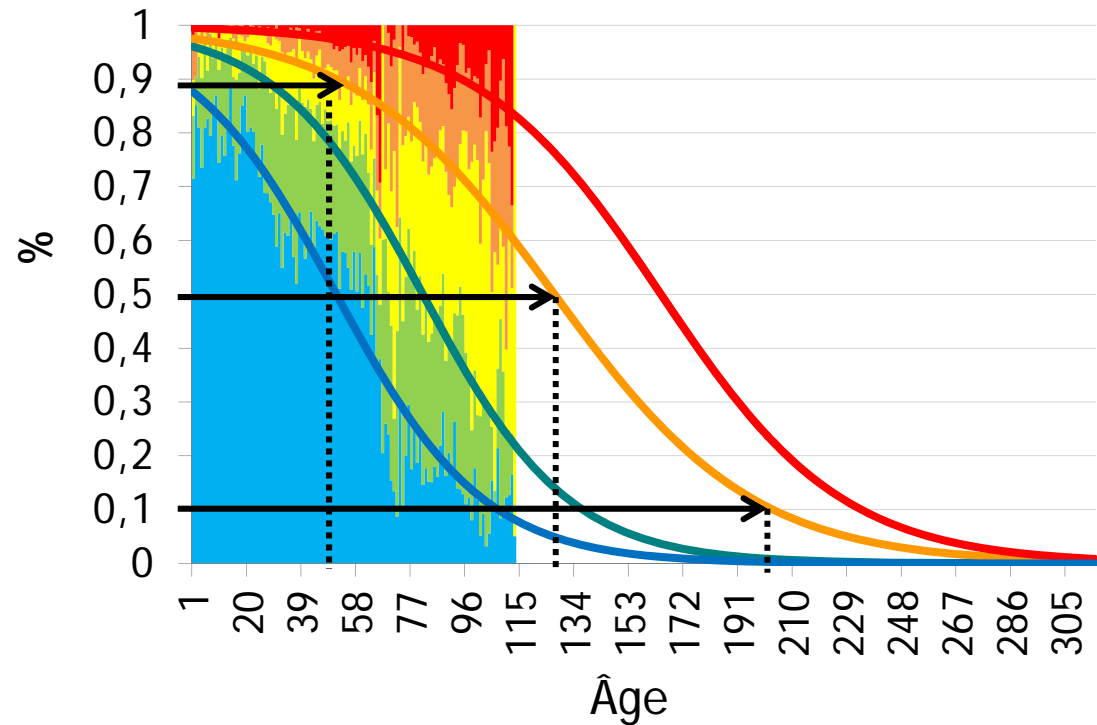
$$\begin{pmatrix} q_1(t + \Delta t) & 1 - q_1(t + \Delta t) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_2(t + \Delta t) & 1 - q_2(t + \Delta t) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & q_3(t + \Delta t) & 1 - q_3(t + \Delta t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_4(t + \Delta t) & 1 - q_4(t + \Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- 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

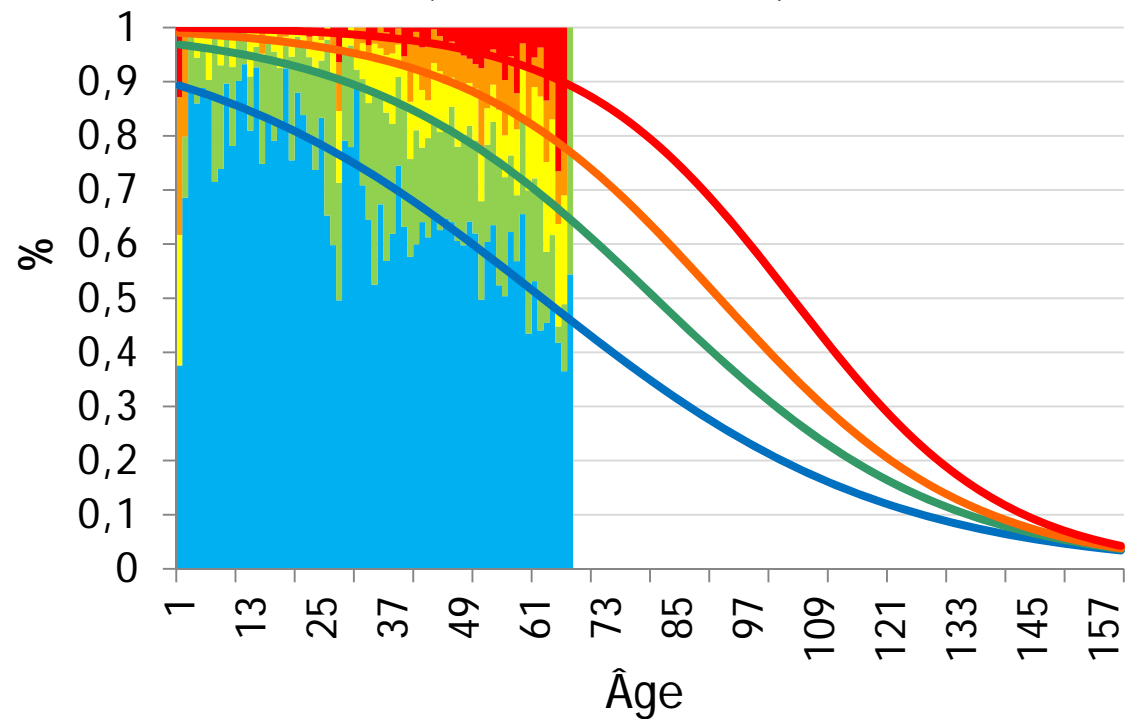


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	50	125	200
CIS=5	90	160	230

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)

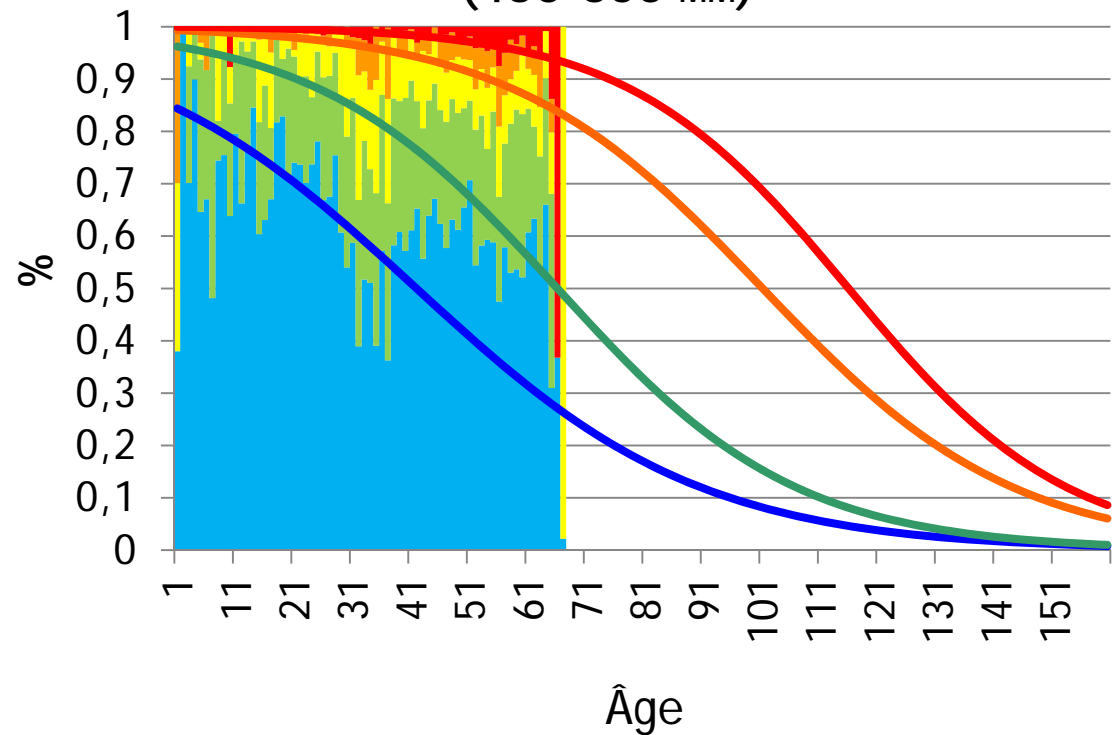


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	45	90	140
CIS=5	65	105	145

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)

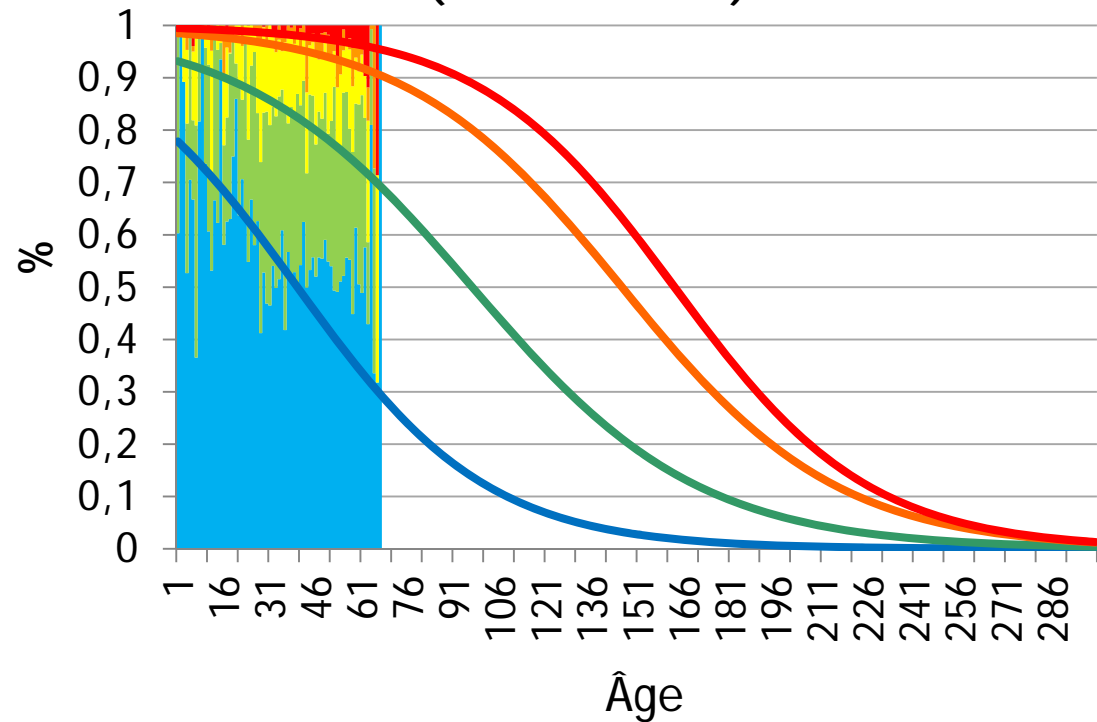


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	55	100	150
CIS=5	75	115	155

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)

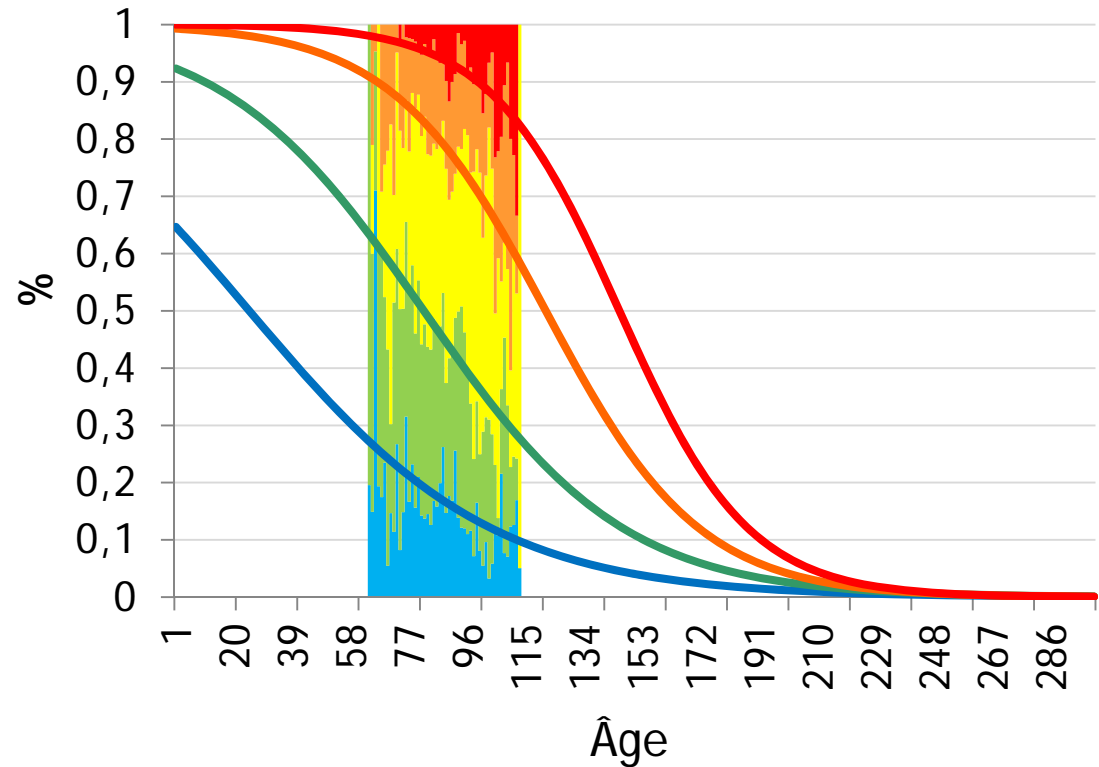


DURÉE DE VIE (ANS)			
Prob.	10%	50%	90%
CIS=4	70	145	225
CIS=5	95	165	235

PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

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

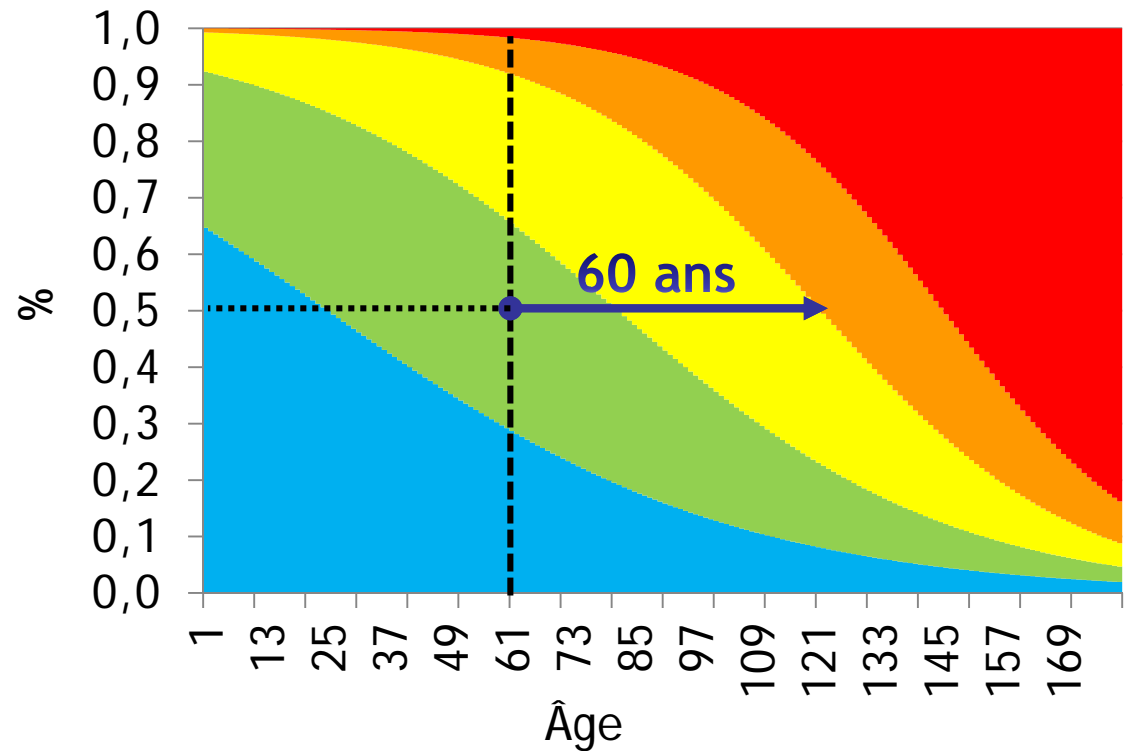
COURBES DE SURVIE - BRIQUE



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

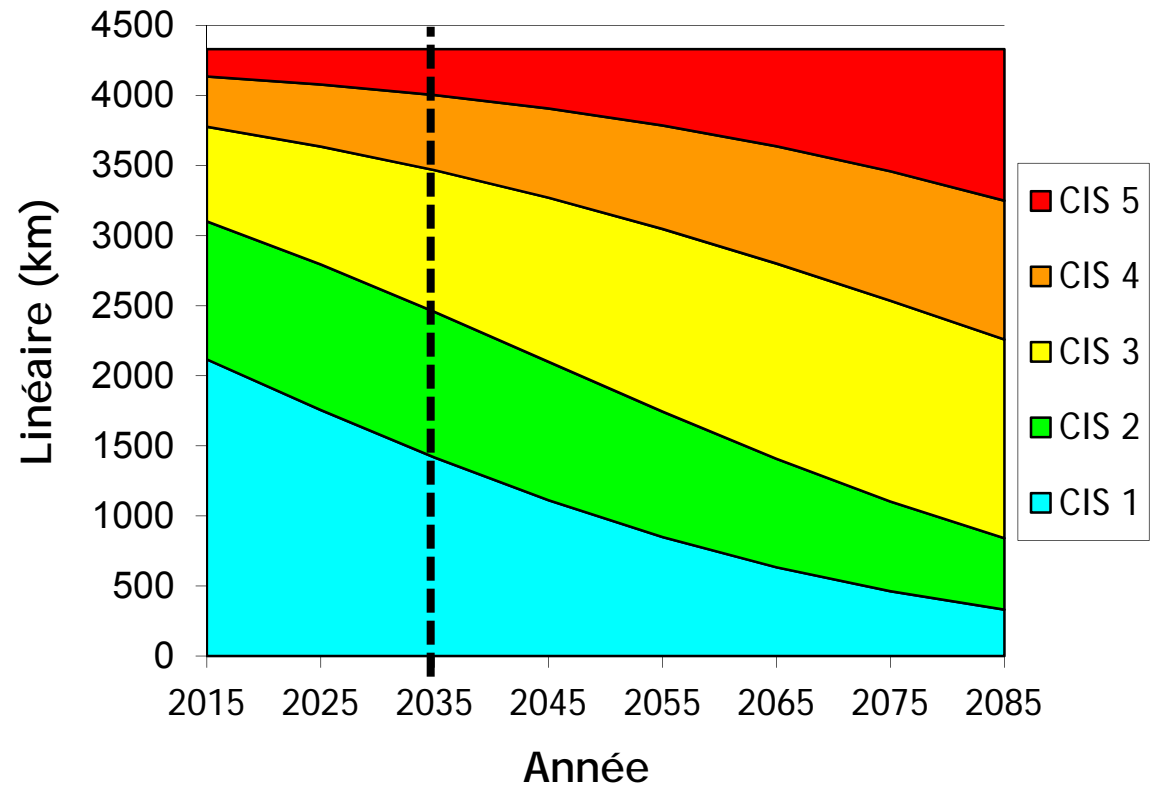
- 10% de chance d'être en cote 4 ou plus

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.

