

# GESTION DES RISQUES POUR LE RÉSEAU SECONDAIRE D'EAU POTABLE DE LA VILLE DE MONTRÉAL

Nathalie Oum, ing., M.Sc.A

*«Une stratégie de type **Gestion d'actifs** consiste [...] à intervenir sur des éléments [d'infrastructures] qui ne sont pas encore défaillants, dans le but qu'ils ne deviennent jamais complètement défaillants, et que la fourniture d'eau ne soit pratiquement jamais interrompue de façon intempestive, majeure ou prolongée.»*

*«Cette stratégie de gestion d'actifs permet même, à la marge et au besoin, de planifier les interruptions de service, et de faire en sorte qu'elles soient prévisibles, courtes, donc le moins perturbatrices possible.»*

Rapport du comité de suivi du projet d'optimisation du réseau d'eau potable, Ville de Montréal, septembre 2011

# PLAN

- Mise en contexte
- Calcul des probabilités de défaillances
- Calcul des conséquences de défaillances
- Calcul du risque
- Recommandations
- Conclusion

*«Gérer, c'est prévoir et optimiser.»*

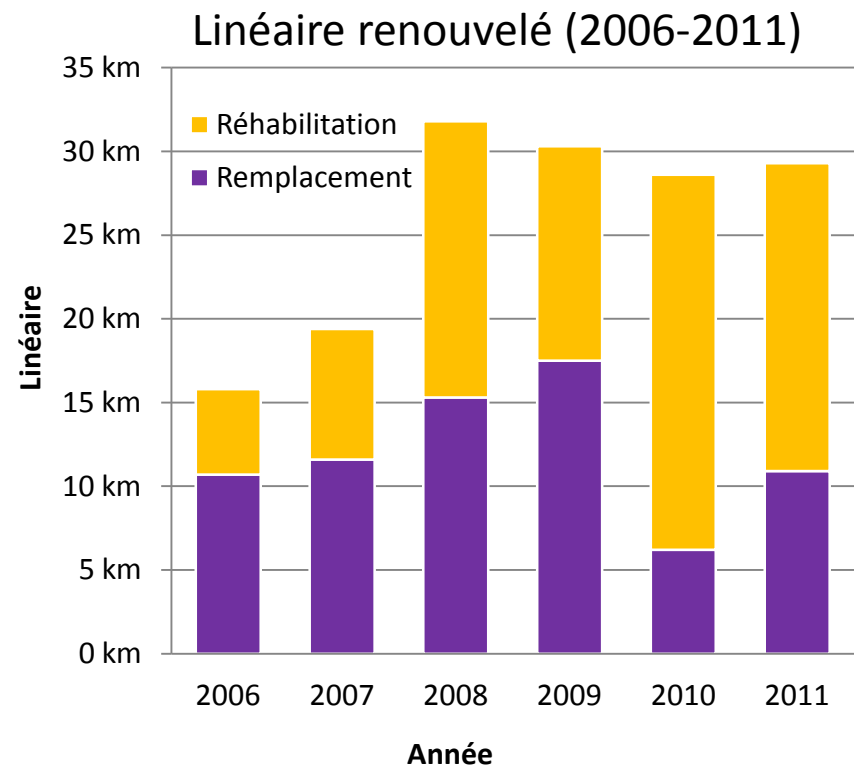
# MISE EN CONTEXTE

# Besoins en investissements

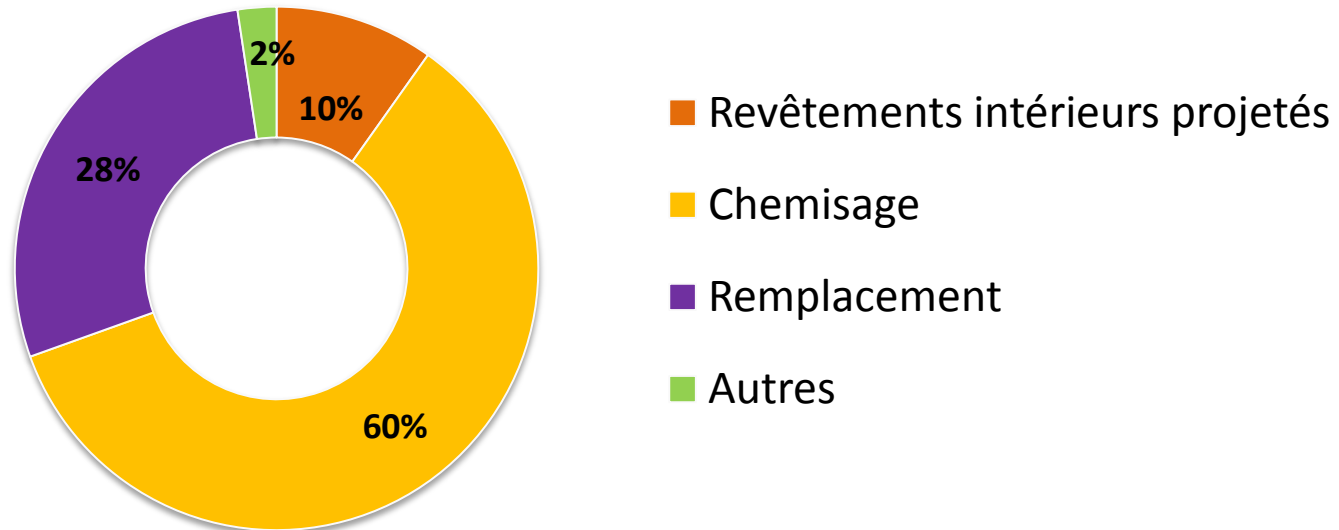
- Direction de la Gestion Stratégique des Réseaux d'Eau (DGSRE): assure la distribution de l'eau via l'entretien et le renouvellement des réseaux d'eau secondaires.
- Réseaux d'eau secondaires: 3572 km (eau potable) et 4234 km (égouts sanitaire, pluvial et combiné)
- Plan d'intervention (2010): 280 M\$ d'investissement annuel (2010-2090)
  - Objectif:
    - Rattraper le déficit en investissement passé
    - Faire face aux besoins futurs d'investissement
- Plan d'investissement 10 ans (2011): 2,5 G\$ pour le renouvellement des réseaux secondaires d'ici 2020

# Taux de renouvellement

- En date de 2011, pour le réseau d'eau potable, près de 165 km ont été renouvelés (soit 4%).
- Plus de 85% du linéaire renouvelé a été réalisé depuis 2005.
- Taux annuel (2006-2010)  $\approx 0.7\%$  (1 conduite est renouvelée tous les 142 ans)

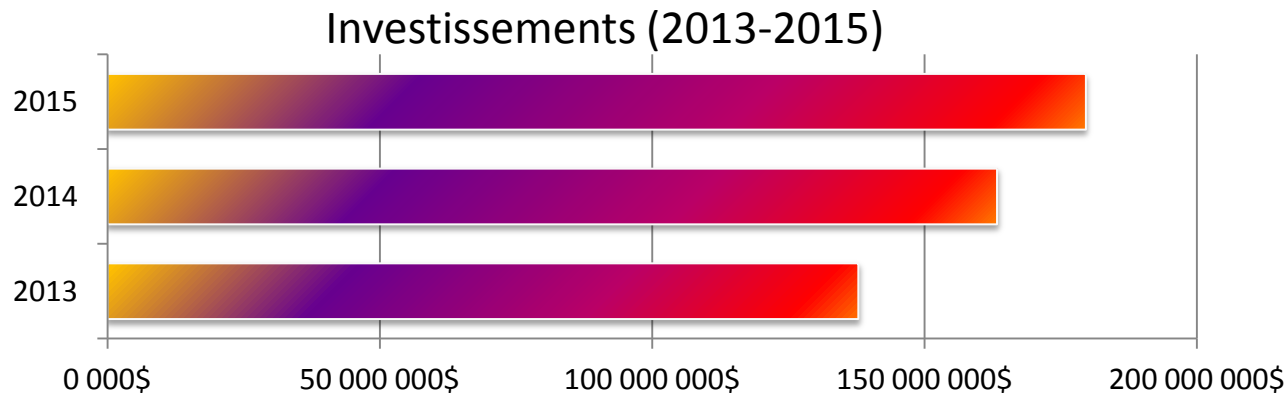


# Méthodes de renouvellement (1985-2010)



# Plan triennal d'immobilisations (2013-2015)

- Programme de renouvellement des réseaux secondaires (eau potable et égouts): 480 M\$



- Eau potable: près de 135 km prévus en chemisage ou remplacement

➔ **Nous devons établir un ordre de priorité afin d'utiliser les ressources d'une manière optimale.**



# Évaluation des priorités

- L'évaluation des priorités est basée sur une estimation **quantitative** du **risque** de défaillance.

$$\text{RISQUE} = \text{PROBABILITÉ} \times \text{CONSÉQUENCE}$$

- Il nous faut quantifier:
  - La probabilité d'occurrence d'une défaillance
  - Les conséquences tangibles liées à cette défaillance

# Méthodologie

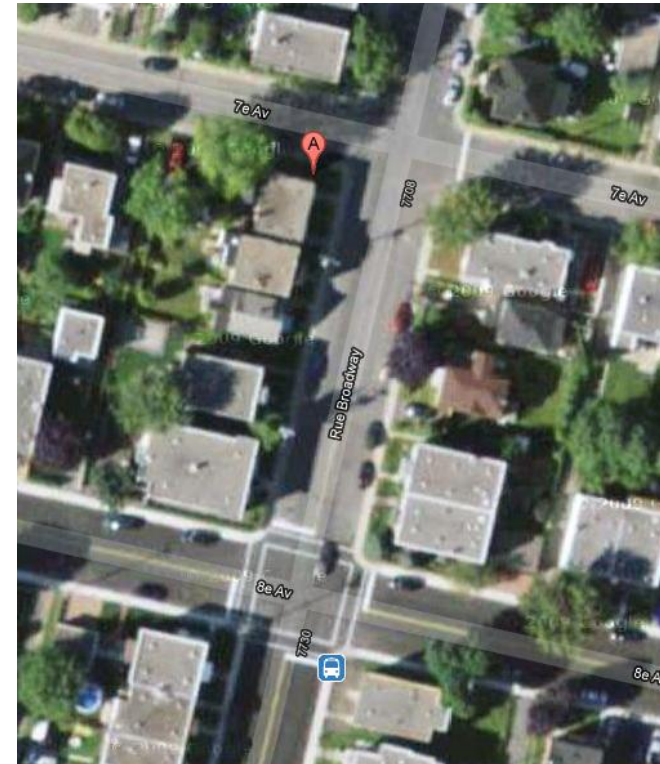
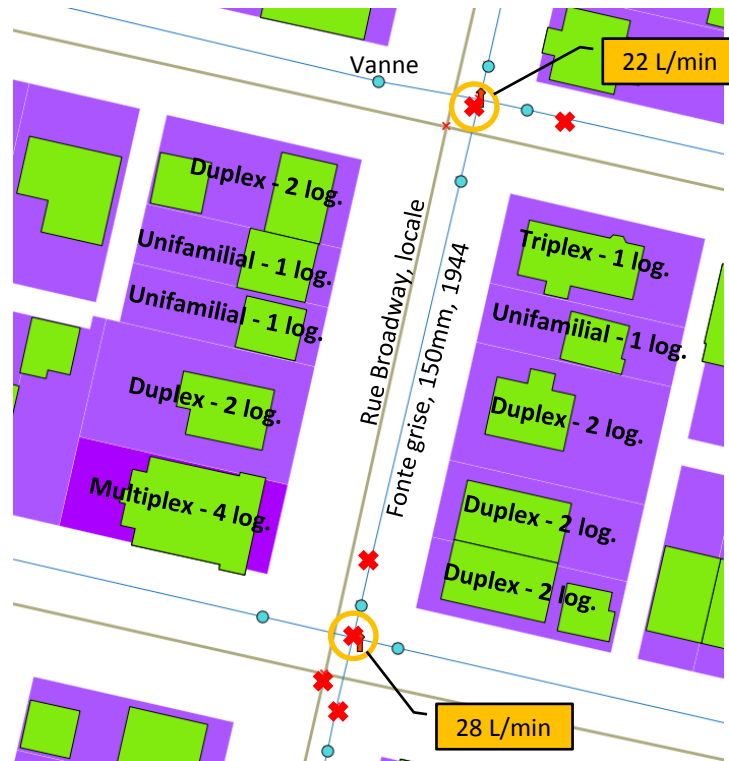
- **PROBABILITÉ:**
  - On utilise le modèle statistique de prédiction de défaillances LEYP (Linear Extended Yule Process).
  - Il ne génère pas de probabilité absolue, mais des résultats qui permettent d'attribuer une cote relative qui traduit cette probabilité.
- **CONSÉQUENCES:**
  - On définit les différents types de conséquences  $C_i$ .
  - On attribue à chaque  $C_i$  une cote.
  - On utilise une matrice pour obtenir la cote finale.

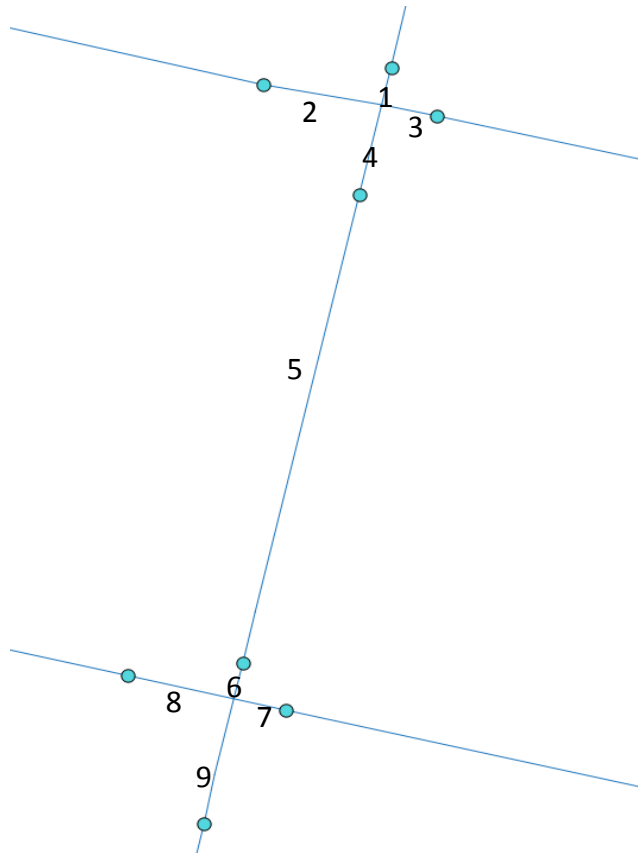
# Données utilisées

Types	Informations
<b>Segments de conduites</b>	Matériau, année d'installation, diamètre, longueur, etc.
<b>Historique des réparations</b>	Dates de réparations sur les conduites (de 1972 à 2010)
<b>Géobase routière</b>	Classification des chaussées: artérielle, collectrice, etc.
<b>Cadastres des lots fonciers</b>	Utilisation de l'immeuble: Unifamiliale, école, usine, etc.
<b>Polygones des bâtiments</b>	Nombre de logements
<b>Demande hydraulique</b>	Débits (L/min)

# Exemple







- Au total: 9 segments de conduite
- La PROBABILITÉ de défaillance est calculée pour chaque segment
- Les CONSÉQUENCES de bris sont calculées pour chaque segment en fonction de la localisation des vannes d'isolement:
  - Par exemple, les segments 1, 2, 3 et 4 auront les mêmes conséquences

*«La probabilité de défaillance est basée sur les caractéristiques physiques de la conduite et son historique de réparations.»*

# CALCUL DES PROBABILITÉS DE DÉFAILLANCES

# Estimation du nombre de bris futurs

- L'estimation du nombre de bris futur sur une conduite s'appuie sur le modèle de Yule:

$$\lim_{h \rightarrow 0+} \frac{P\{N(t+h) - N(t) = 1 | N(t) = j\}}{h}$$

**Nombre de défaillances historiques** → **Yule Factor**  $(1 + \alpha j)$

**Temps** → **Weibull Factor**  $\delta t^{\delta-1}$

**Z incorpore tous les facteurs de risques liés à la conduite ou son environnement** → **Cox Factor**  $\exp(Z^T \beta)$



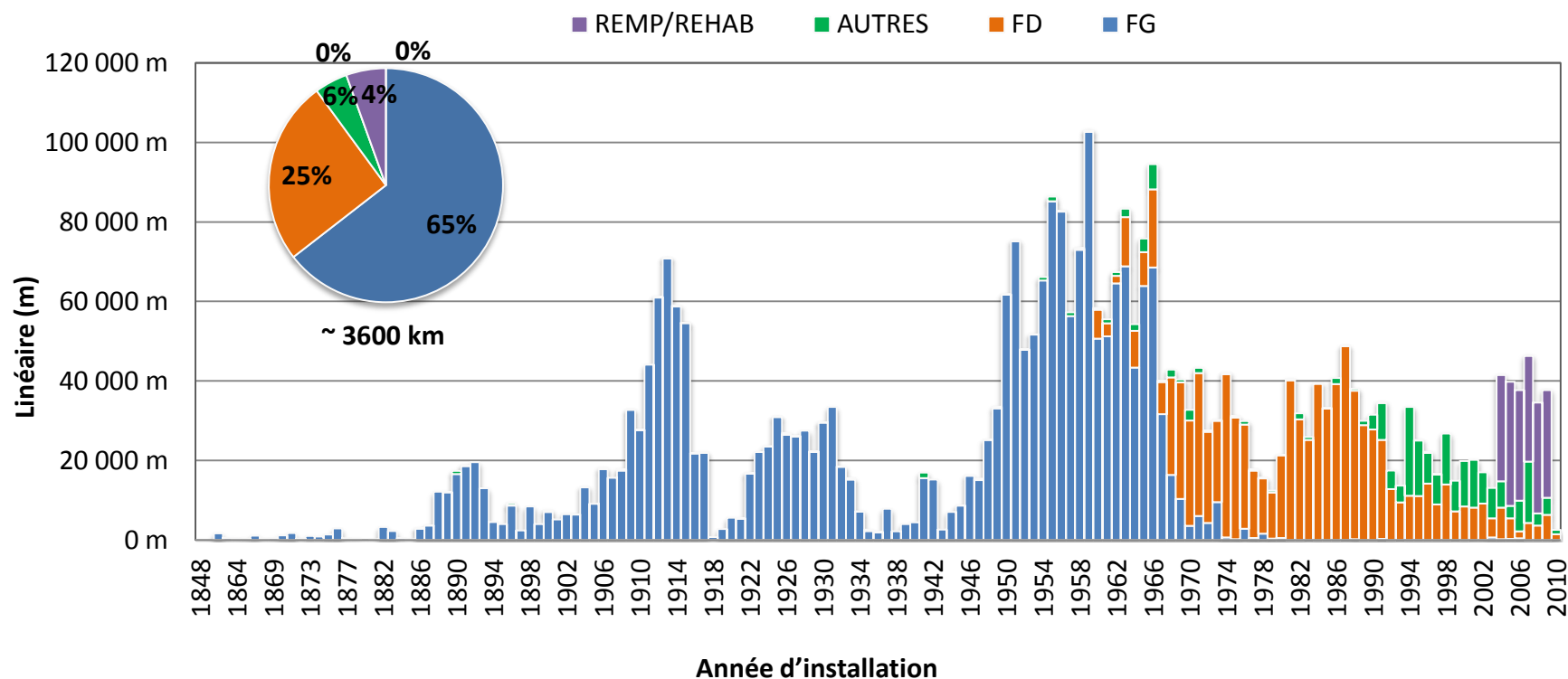
# Facteurs de risques

- Liés à la conduite
  - Matériau
  - Diamètre
  - Date d'installation (ou âge)
  - Longueur
  - Revêtement
  - Pression
  - Protection cathodique
  - Historique de bris
- Liés à son environnement
  - Type de sol
  - Trafic routier
  - Densité de construction
  - Niveau de la nappe phréatique
  - Proximité des courants vagabonds

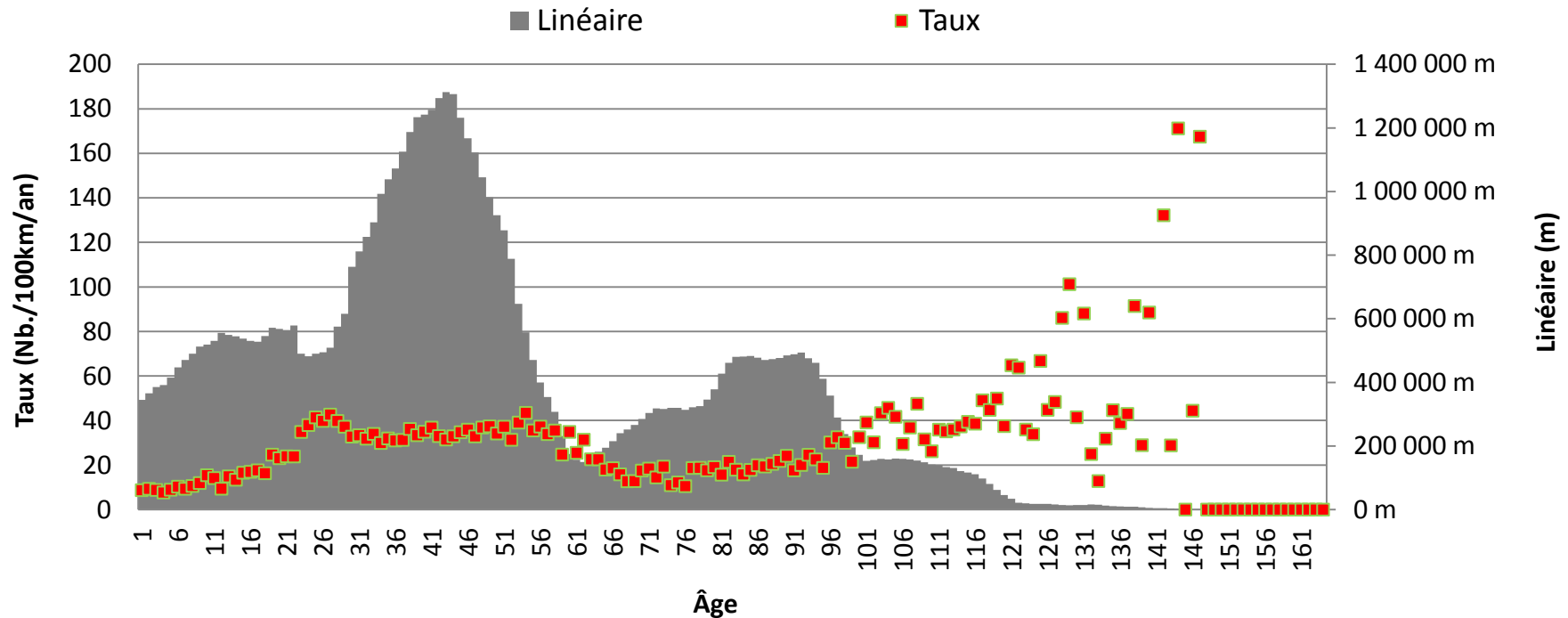
# Analyse statistique

- Les statistiques descriptives réalisées permettent entre autres:
  - De comprendre les données
  - De définir les cohortes: groupes de conduites qui se dégradent d'une manière similaire
- L'analyse statistique est réalisée à partir des données sur les conduites existantes et celles qui ont été renouvelées:
  - Un traitement des données utilisées est nécessaire pour éliminer les données manquantes ou incohérentes.

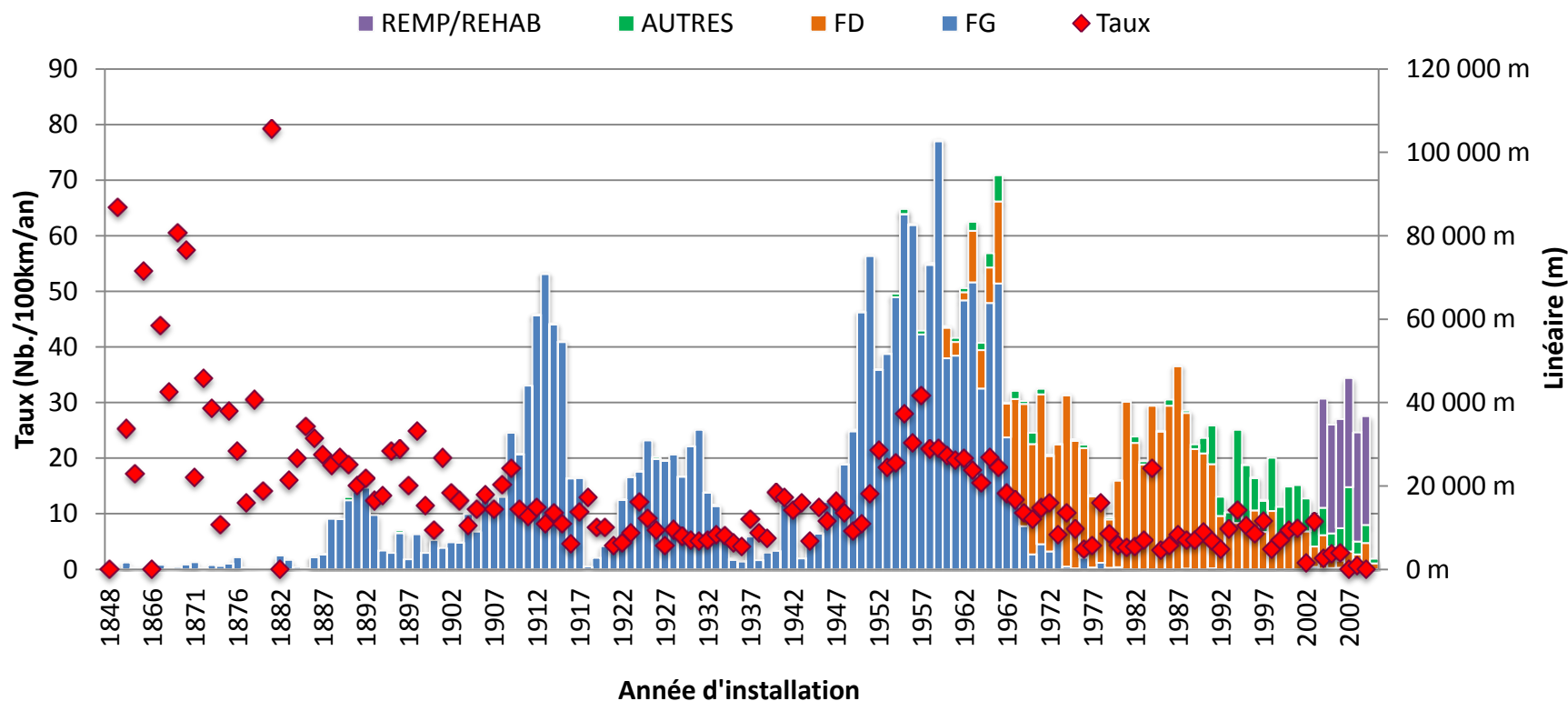
# Linéaire par matériau et par année d'installation



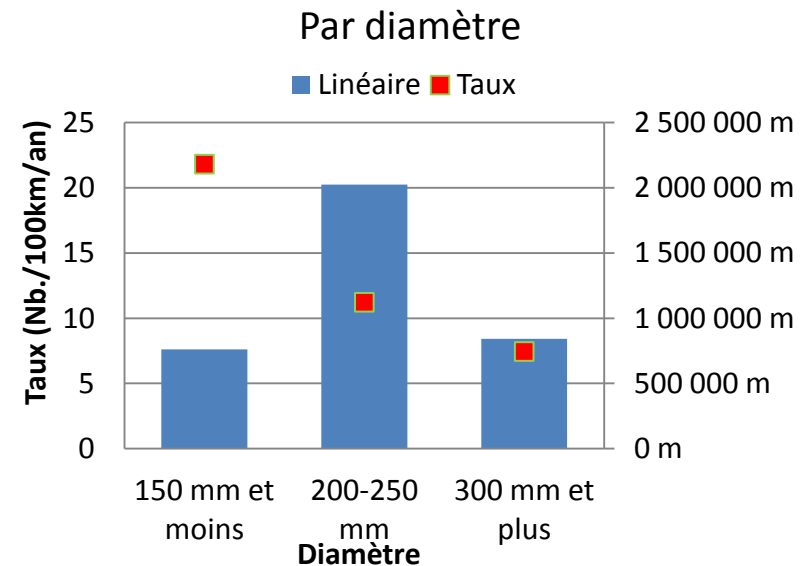
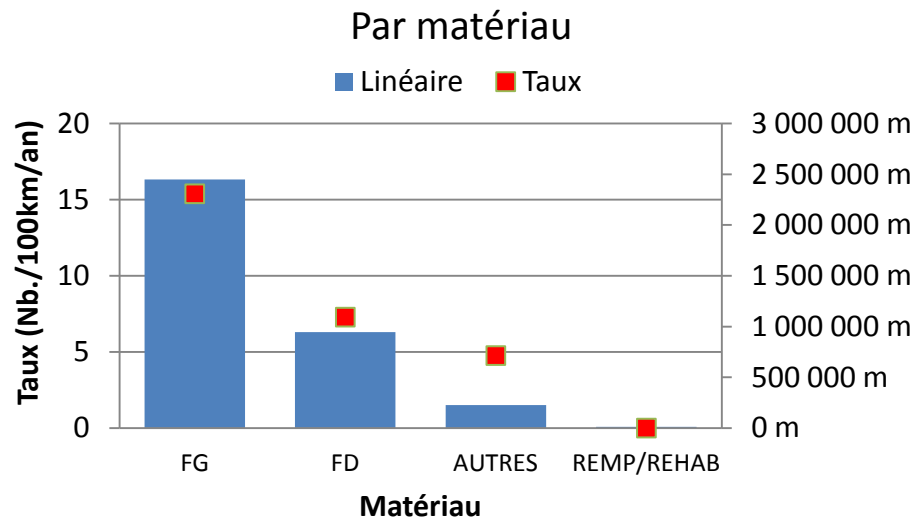
# Taux de défaillances en fonction de l'âge au moment de la défaillance



# Taux de défaillances en fonction de l'année d'installation



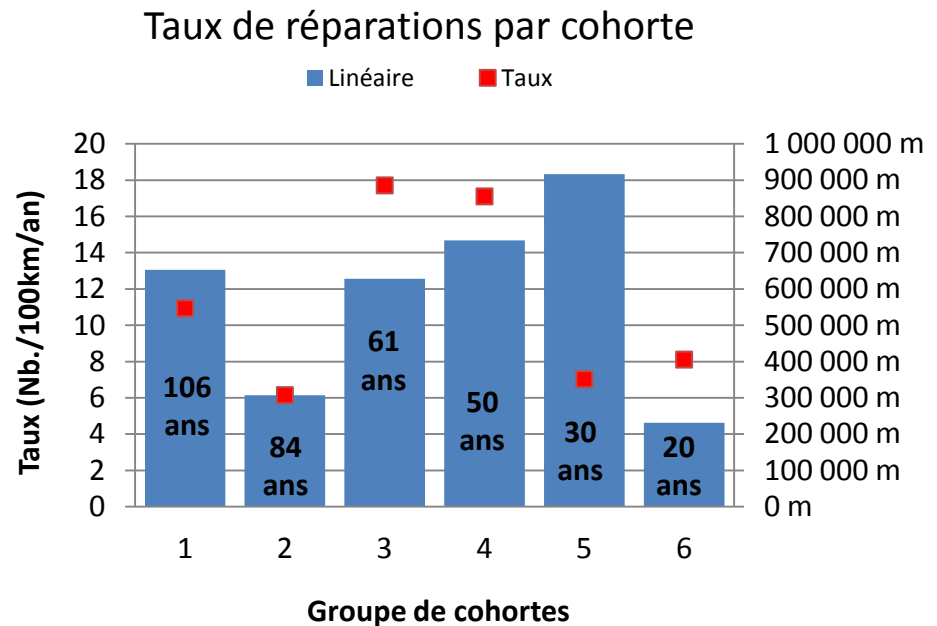
# Taux de défaillances par rapport au matériau et au diamètre



➔ Définition des variables qui influencent le taux de défaillances: diamètre, matériau.

# Définition des cohortes

1. Fonte grise avant 1921
2. Fonte grise 1921-1935
3. Fonte grise 1936-1956
4. Fonte grise après 1956
5. Fonte ductile
6. Autres matériaux



**Le réseau secondaire d'eau potable a en moyenne 58 ans**

# Modélisation (LEYP)

- Le modèle de LEYP est intégré dans le logiciel CASSES, développé par le laboratoire français, CEMAGREF.
- Cinq (5) étapes dans la simulation:
  - Importation des données sur les segments de conduites: Identifiant, année de pose, matériau, diamètre, date de retrait.
  - Importation de l'historique des réparations: Identifiant, date de réparation.
  - Définition des co-variables
  - Calibration et validation du modèle
  - Prédiction des bris futurs



Casses software : MANH\_CIP\_LCP.ksp

SimpleTap

File Creation Construction Tools ?

- Pipe set
- Break set
- Environments
  - Default Environment
    - MANH\_CIP\_LCP
      - MANH\_CIP\_LCP\_00\_09\_1
        - Validation
  - Covariates
  - Break data
    - Qualitative break data
    - Quantitative break data

Pipes Observed breaks Actual breaks Validation - Results Validation - Data

**Description**

Progression : MANH\_CIP\_LCP\_00\_09\_11\_CB\_DDP4\_DIAM5\_LNL (Validation)  
 Sub-project : MANH\_CIP\_LCP  
 Observation period start date: 1/9/2000  
 Observation period end date: 7/31/2009  
 Validation period start date: 8/1/2009  
 Validation period end date: 8/1/2011  
 Environment : Default Environment  
 Pipe set : All pipes  
 Break set : All breaks

## Importation des données sur les segments de conduites

Short name	Long name	Type	Unit	Minimum	Maximum	Number of modalities
AARD	A_A_Rd	QUALITATIVE				2
BORGH	Borough	QUALITATIVE				1
CB	CB_BR	QUALITATIVE				3
DDP	DOI	DATE	M/d/yyyy	1/1/1840	1/1/2005	
DDP4	DDP4	QUALITATIVE				4
DHS	DOA	DATE	M/d/yyyy			
DIA	Diameter	QUANTITATIVE	in	2.000	72.000	
DIAM5	DIAM5	QUALITATIVE				5
IDR	Network ID	QUALITATIVE				1
LNG	Length	QUANTITATIVE	ft	0.518	1924.046	
LNL	LN LENGTH	QUANTITATIVE		-0.658	7.562	
MAT	Material	QUALITATIVE				2
NKOV0	Created by merging following ...	QUALITATIVE				3
NKOV4	Created by merging following ...	QUALITATIVE				3

Modalities	PN	% PN	LNG (km)	% LNG	OBN	% OBN	PBN	% PBN	MOBR	% DMOBR	MPBR	% DMPBR
0	14782	96.0	2438.967	95.3	282	97.2	61.242	95.9	0.012	2.0	0.013	0.6
1	610	4.0	119.084	4.7	8	2.8	2.604	4.1	0.007	-40.7	0.011	-12.4
TOTAL	15392	100.0	2558.050	100.0	290	100.0	63.845	100.0	0.012	0.0	0.012	0.0

Copy top table Copy bottom table

Casses software : MANH\_CIP\_LCP.ksp

SimpleTap

File Creation Construction Tools ?

Pipes Observed breaks **Actual breaks** Validation - Results Validation - Data

**Description**

Progression : MANH\_CIP\_LCP\_00\_09\_11\_CB\_DDP4\_DIAM5\_LNL (Validation)  
 Sub-project : MANH\_CIP\_LCP  
 Observation period start date: 1/9/2000  
 Observation period end date: 7/31/2009  
 Validation period start date: 8/1/2009  
 Validation period end date: 8/1/2011  
 Environment : Default Environment  
 Pipe set : All pipes  
 Break set : All breaks

## Importation de l'historique des réparations

Short name	Long name	Type	Unit	Minimum	Maximum	Number of modalities
DDC	DOB	DATE	M/d/yyyy	8/10/2009	7/31/2011	

Year	ABN	% ABN	MABR	% DMABR
2009	7	17.1	0.003	-55.9
2010	21	51.2	0.008	32.3
2011	13	31.7	0.009	40.4
TOTAL	41	100.0	0.006	0.0
Prediction	63.845		0.012	100.9

Copy top table Copy bottom table

## Définition des co-variables

Construction

Environments Sub-projects Progressions Calibrations Validation Predictions

Sub-project: MANH\_CIP\_LCP

Observation period start date: 1/9/2000

Observation period end date: 7/31/2009

Validation period start date: 8/1/2009

Validation period end date: 8/1/2011

Progressions

Progression	Type	Finalised
MANH_CIP_LCP_00_09_11_...	automatic	Yes

Create Progression

Automatic computations Semi-automatic computations

Progression creation

Name: example calibration

Comment:

Covariate set selection:

Eligible covariates		Covariate set
Name		Name Reference modality
AARD	>><<	DDP4 [1/1/1840;7/3/1895]
DDP		DIAM5 [2,6]
DIA		LNL
LNG		CB 1
MAT		
NKOV0		
NKOV1		

Constrained model parameters:

Zeta0 fixed.

Zeta1 fixed.

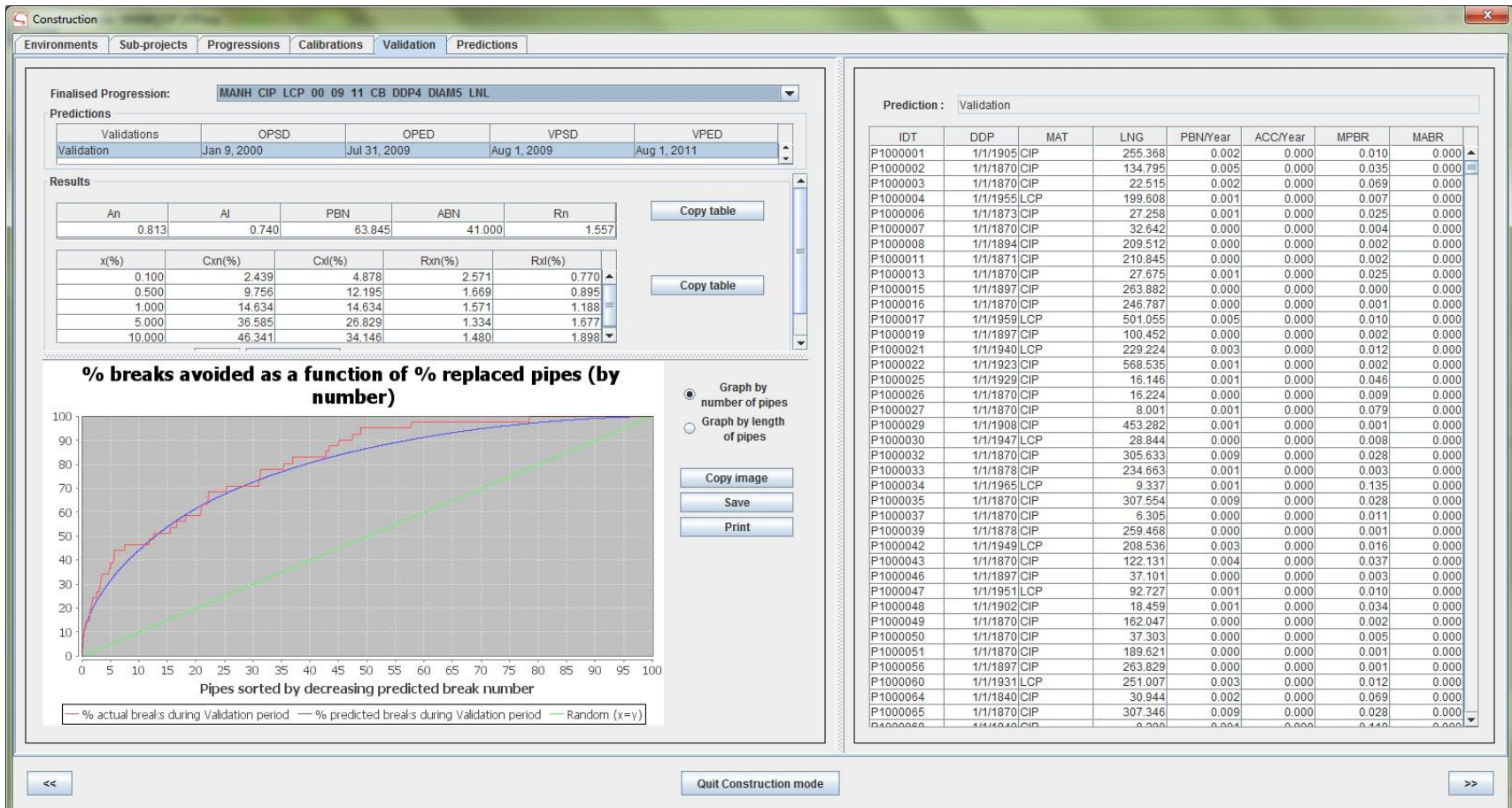
Constrain the model

Validate Cancel

Constraints

selective survival bias correction.

# Calibration et validation du modèle



## Prédiction des bris futurs

Construction

Environments Sub-projects Progressions Calibrations Validation Predictions

Finalised Progression: MANH\_CIP\_LCP\_00\_09\_11\_CB\_DDP4\_DIAM5\_LNL

Predictions

Prediction	PPSD	PPED
2013_2015	8/1/2013	8/1/2015

Create new Prediction

Prediction : 2013\_2015

IDT	DDP	MAT	LNG	PBN	MPBR
P1009449	1/1/1950 LCP		41.324	0.001	0.008
P1010524	1/1/1942 LCP		27.248	0.003	0.046
P1009457	1/1/1950 LCP		4.741	0.001	0.113
P1009458	1/1/1870 CIP		259.519	0.010	0.019
P1010526	1/1/1850 LCP		24.459	0.004	0.074
P1009455	1/1/1964 LCP		50.660	0.006	0.059
P1010525	1/1/1850 LCP		20.602	0.003	0.079
P1010528	1/1/1870 CIP		62.467	0.006	0.047
P1009453	1/1/1945 LCP		485.751	0.012	0.012
P1010527	1/1/1878 CIP		232.316	0.002	0.004
P1009451	1/1/1870 CIP		167.297	0.012	0.034
P1010529	1/1/1897 CIP		39.203	0.002	0.024
P1009452	1/1/1945 LCP		41.132	0.003	0.037
P1022995	1/1/1885 CIP		5.565	0.001	0.056
P1010520	1/1/1950 LCP		608.130	0.009	0.007
P1022991	1/1/1937 LCP		14.569	0.001	0.029
P1022992	1/1/1937 LCP		447.836	0.005	0.005
P1010521	1/1/1941 LCP		84.063	0.001	0.004
P1010515	1/1/1931 CIP		16.570	0.002	0.046
P1009467	1/1/1906 CIP		1.688	0.000	0.125
P1010513	1/1/1872 CIP		226.990	0.009	0.020
P1009468	1/1/1905 CIP		239.468	0.005	0.010
P1010519	1/1/1947 LCP		620.688	0.009	0.007
P1010517	1/1/1965 LCP		10.625	0.002	0.096
P1009460	1/1/1931 LCP		808.103	0.013	0.008
P1009461	1/1/1928 CIP		13.330	0.001	0.032
P1009475	1/1/1958 LCP		806.704	0.009	0.006
P1022977	1/1/1908 CIP		44.751	0.001	0.009
P1010549	1/1/1897 CIP		243.207	0.000	0.001
P1022978	1/1/1950 LCP		810.686	0.001	0.001
P1009473	1/1/1907 CIP		657.212	0.001	0.000
P1010546	1/1/1908 CIP		30.061	0.001	0.019
P1010548	1/1/1930 LCP		219.668	0.006	0.013
P1009477	1/1/1926 CIP		38.862	0.001	0.009
P1022979	1/1/1840 CIP		25.521	0.001	0.028
P1010544	1/1/1908 CIP		7.374	0.001	0.041
P1022973	1/1/1840 CIP		9.430	0.000	0.011
P1009472	1/1/1948 LCP		32.562	0.003	0.041
P1009470	1/1/1942 CIP		204.982	0.000	0.002

<< Quit Construction mode

# Prédictions des bris futurs

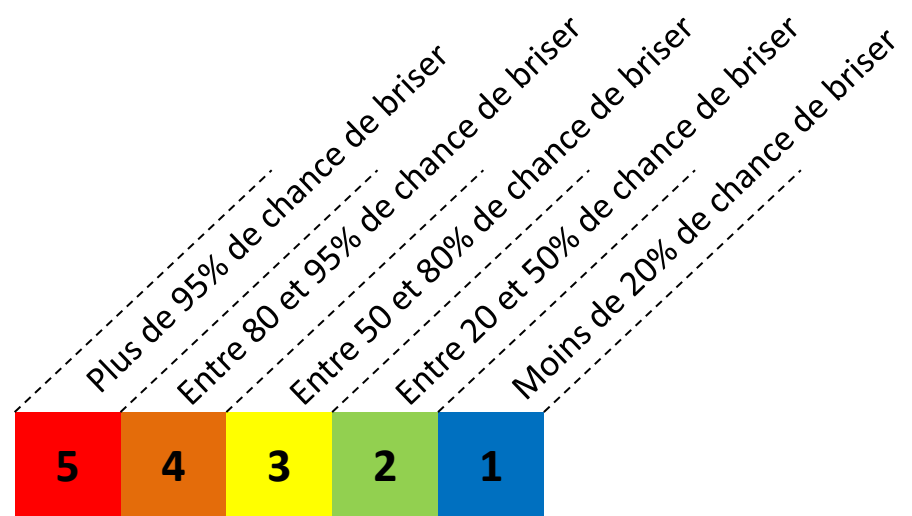
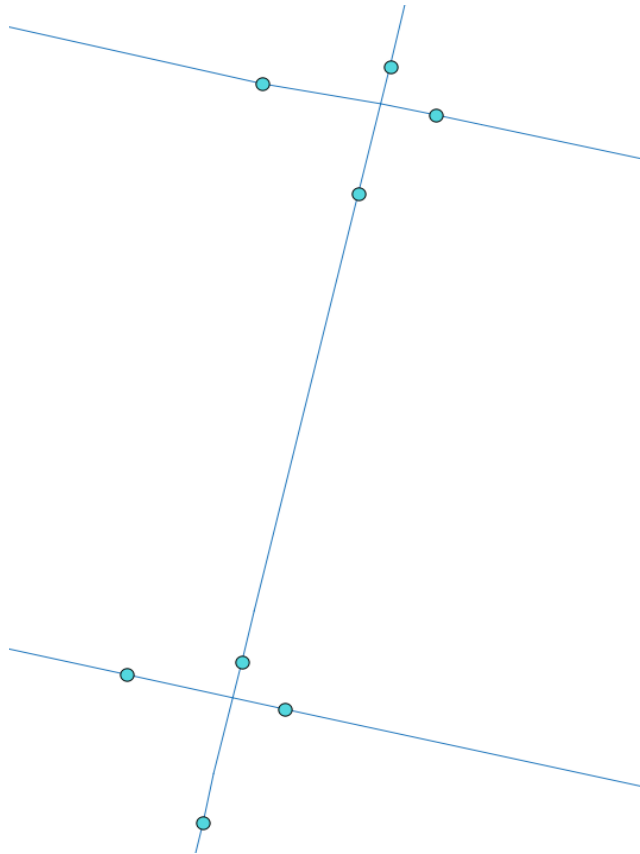
- Nombre de Bris Prédits (NBP) par année et par conduite: Exemple

ID conduite	2011	2012	2013	2014	2015
101	0.0412	0.0415	0.0418	0.0421	0.0424
102	0.0415	0.0416	0.0417	0.0418	0.0419

- Estimation du proxy de la probabilité en fonction de NBP (2011-2015):
  - Le proxy de la PROBABILITÉ:  $P = \% \text{ NBP}$
  - P caractérise la chance de briser (%).

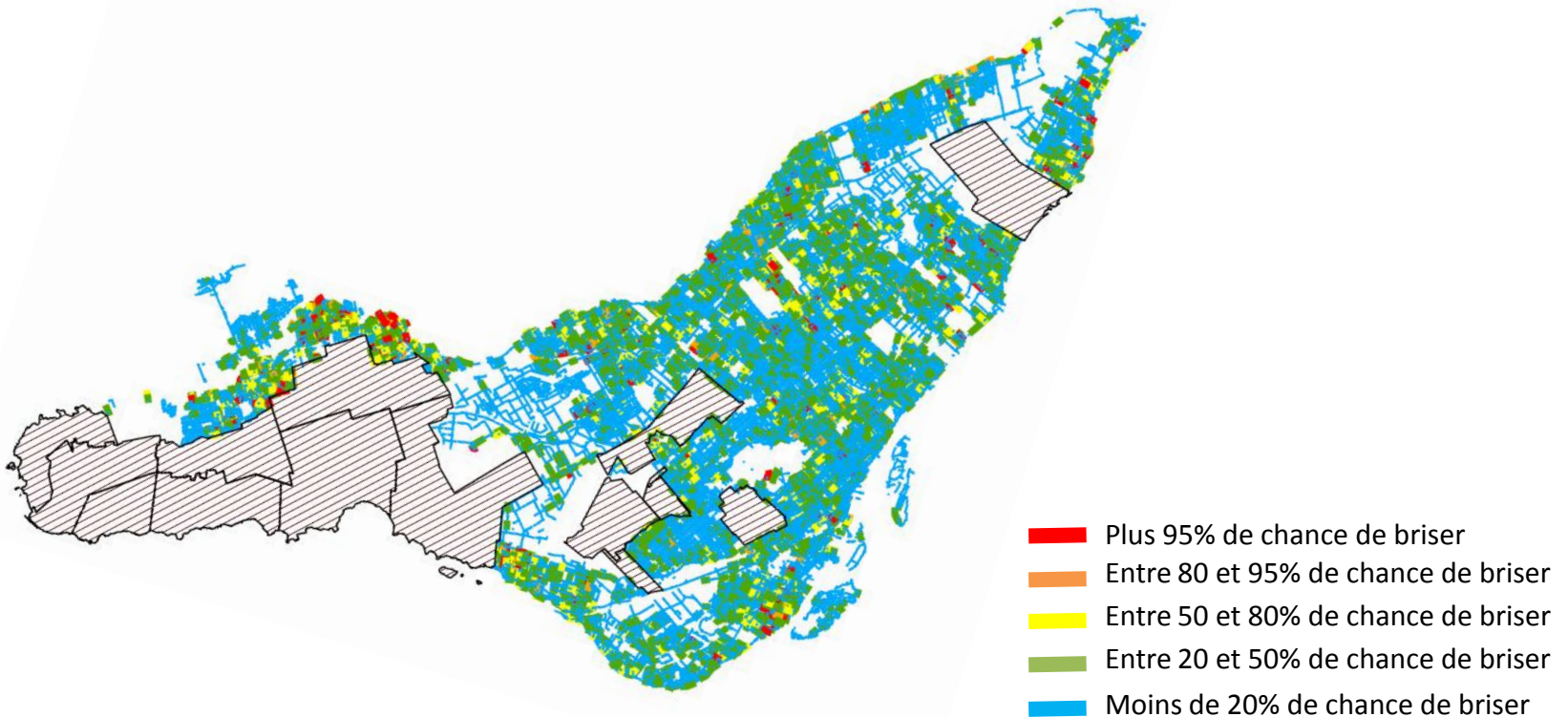
# Cote de PROBABILITÉ

- La cote de PROBABILITÉ est attribuée en fonction du proxy de la PROBABILITÉ (%).



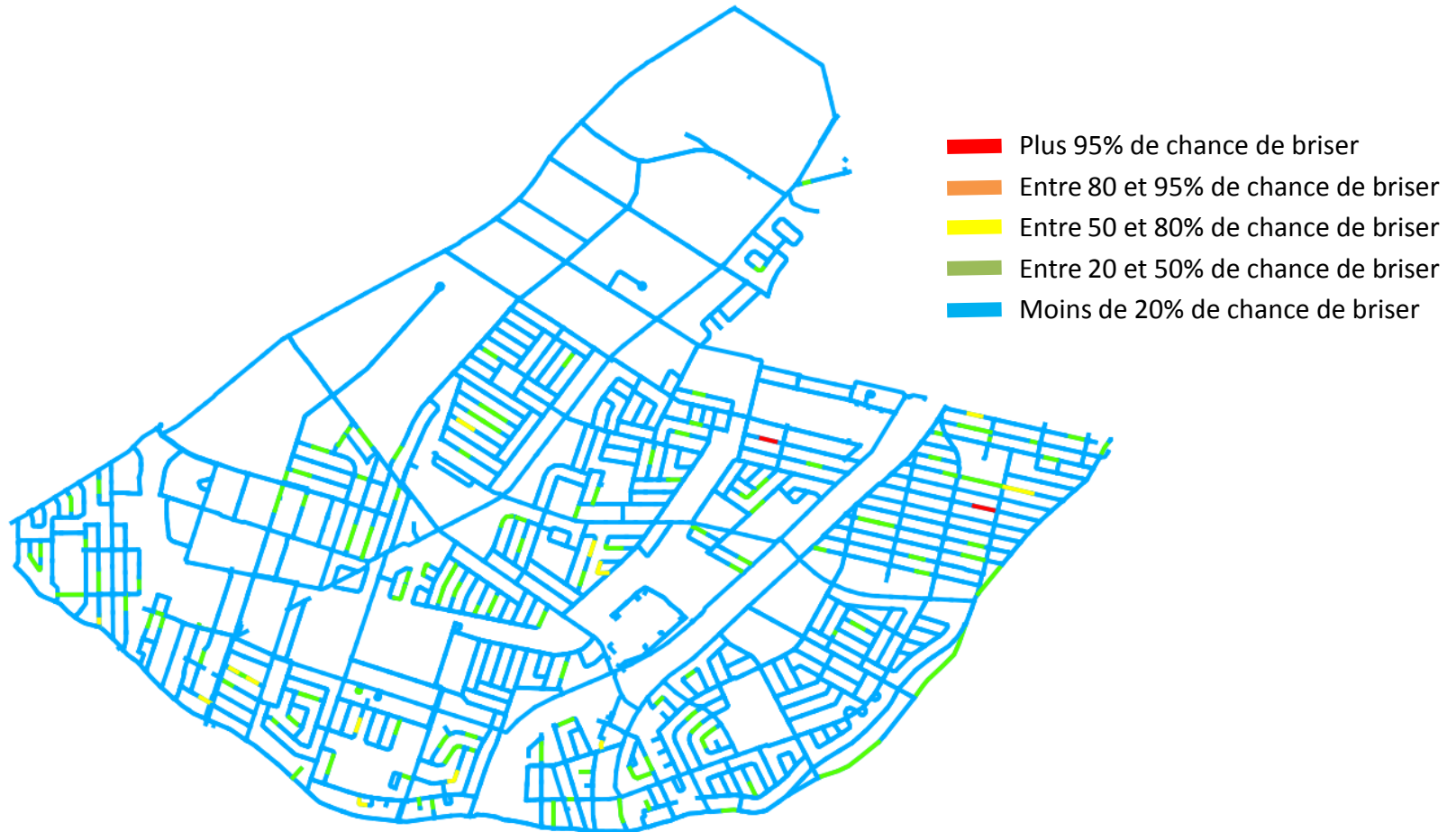


# Cartographie des probabilités de défaillances

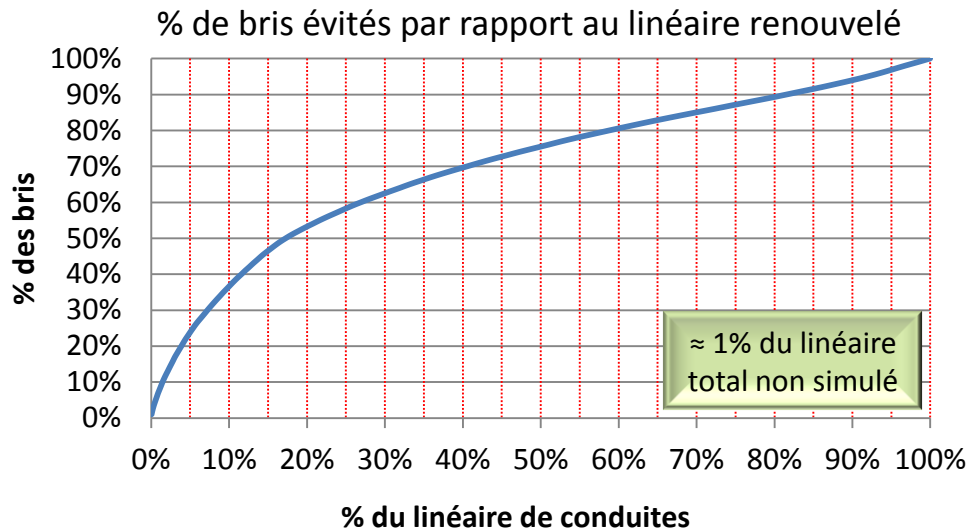




# Cartographie des probabilités de défaillances



# Résultat de LEYP: Prédications de bris (2011-2015)

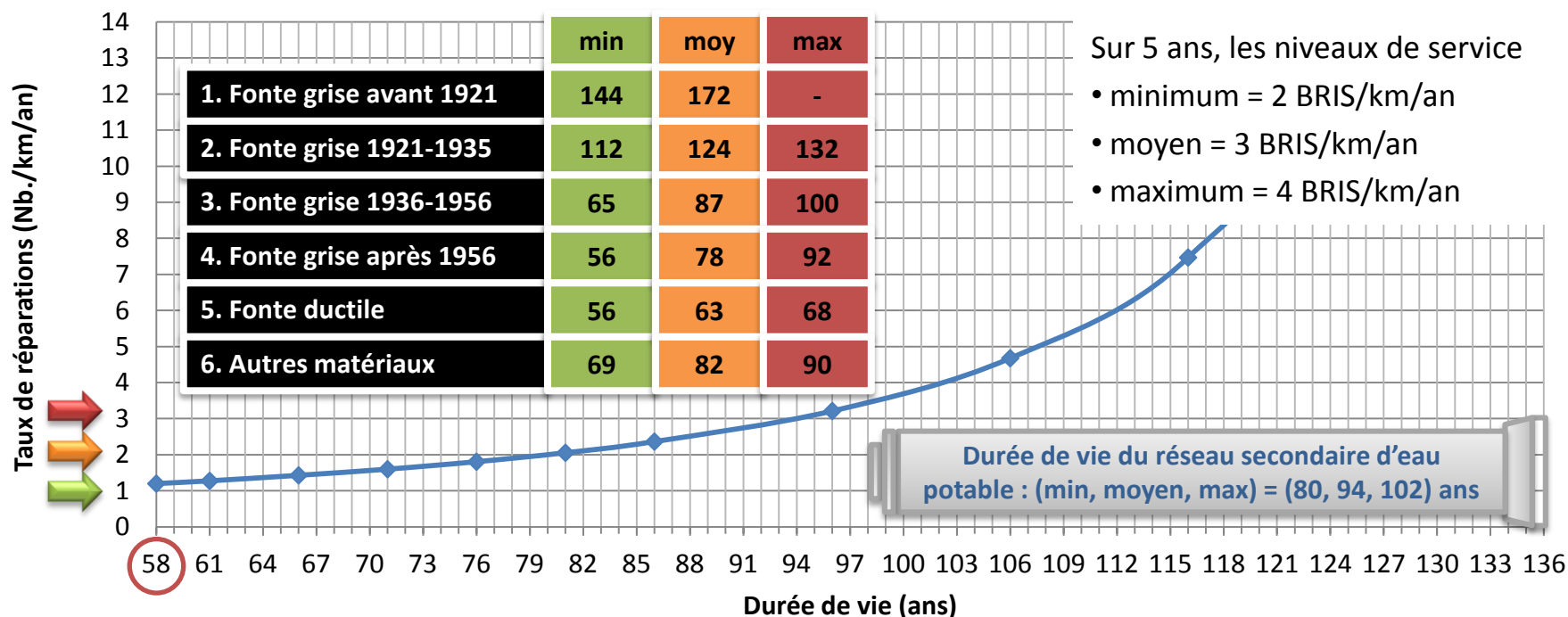


- Conduites classées par NBP décroissant
- Au total: 4252 bris prédits
- En intervenant immédiatement sur 1% des pires conduites ( $\approx 35$  km): on évite près 7.5% de bris ( $\approx 318$  bris)
- Taux<sub>2011-2015</sub> = 24.5 bris/100km/an

$P \leq 20\%$	$20\% < P \leq 50\%$	$50\% < P \leq 80\%$	$80\% < P \leq 95\%$	$P > 95\%$
2972 km	358 km	88km	20km	32km
2325 bris	1056 bris	441 bris	130 bris	300 bris
0,16 bris/km/an	0,6 bris/km/an	1 bris/km/an	1,3 bris/km/an	1,9 bris/km/an

# Autre résultat de LEYP: Durée de Vie des matériaux

Courbe de dégradation du réseau secondaire (tous matériaux confondus)



*«Les conséquences impliquent une sorte de perte.»*

# CALCUL DES CONSÉQUENCES DE DÉFAILLANCES

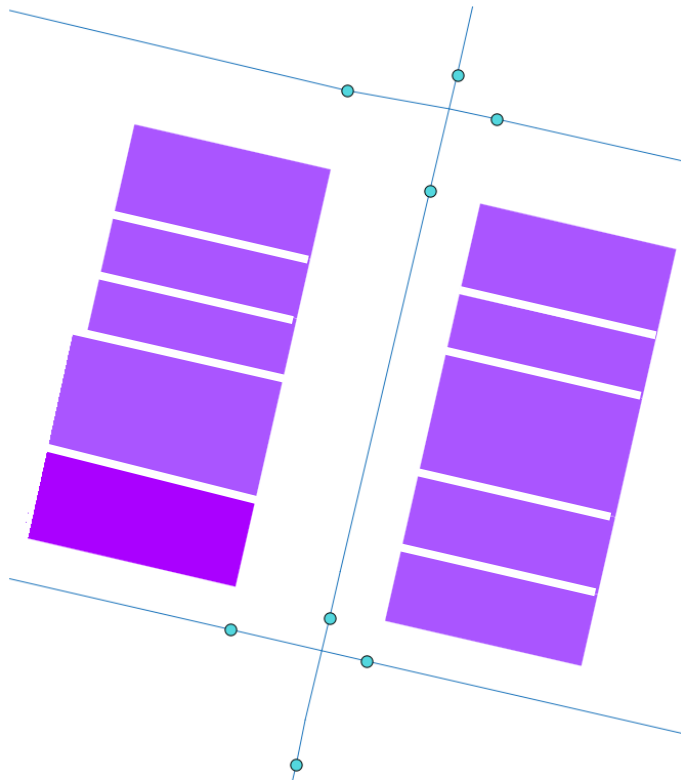
# Types de conséquences

- C1 - Catégorie d'utilisateurs
- C2 - Nombre d'utilisateurs affectés (uniquement pour le résidentiel)

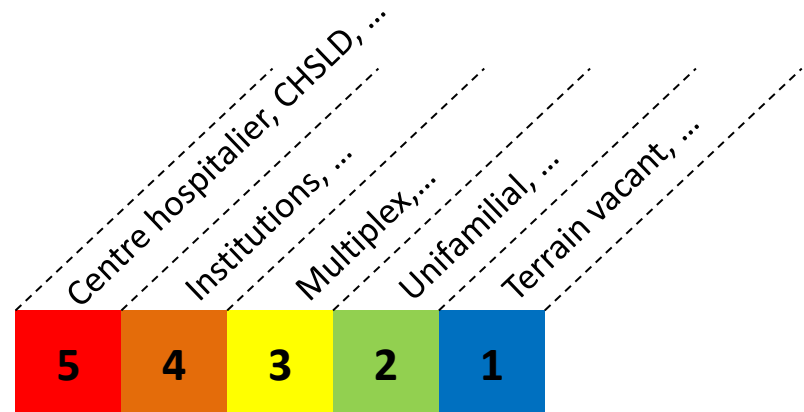


- C3 - Débit
- C4 - Type de chaussée

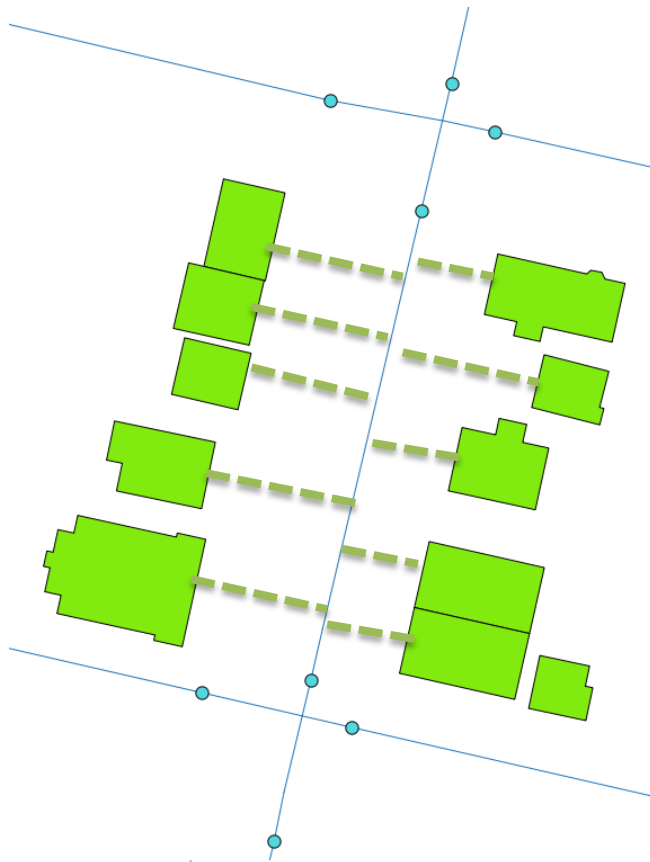
# Cote pour la catégorie d'usagers



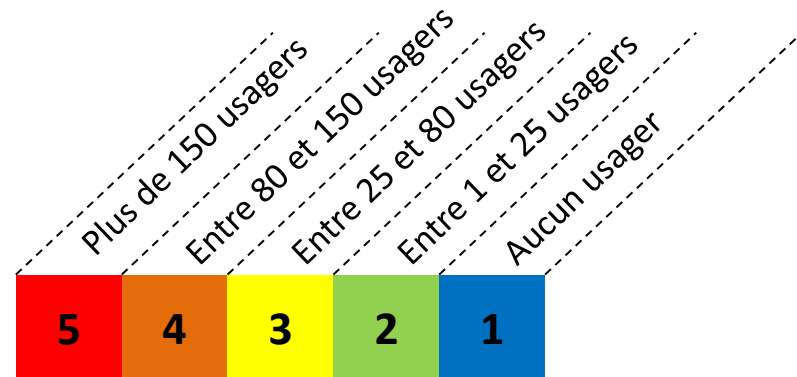
- Près de 35 classes de catégorie d'immeubles présentes dans le cadastre des lots fonciers
- La cote de conséquence est attribuée en fonction du type de catégorie.
- La catégorie la plus élevée en termes d'impact est retenue pour la conduite.



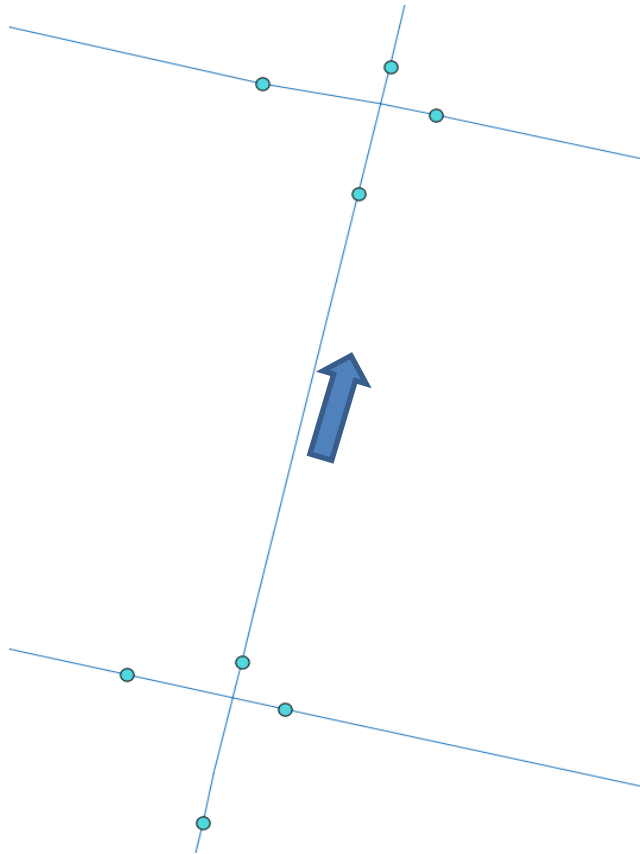
# Cote pour le nombre d'usagers affectés



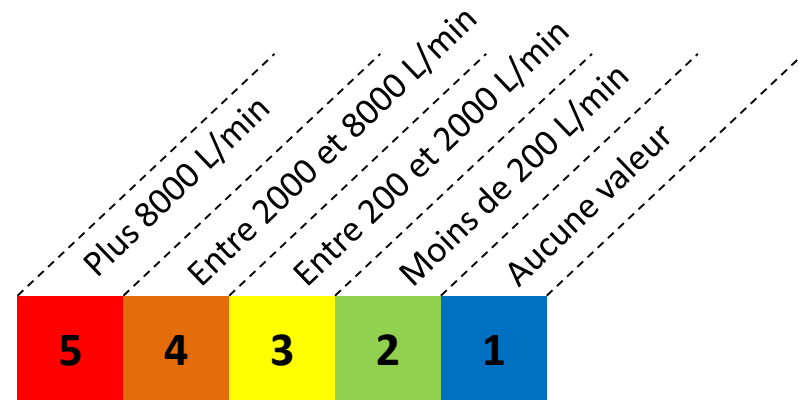
- Ratio de 3.2 personnes par logement (Normes de la Ville de Montréal):
  - Nombre d'usagers affectés = Somme des logements raccordés à la conduite x 3.2
- La cote de conséquence est attribuée en fonction des classes prédéfinies suite à une analyse statistique.



# Cote pour le débit

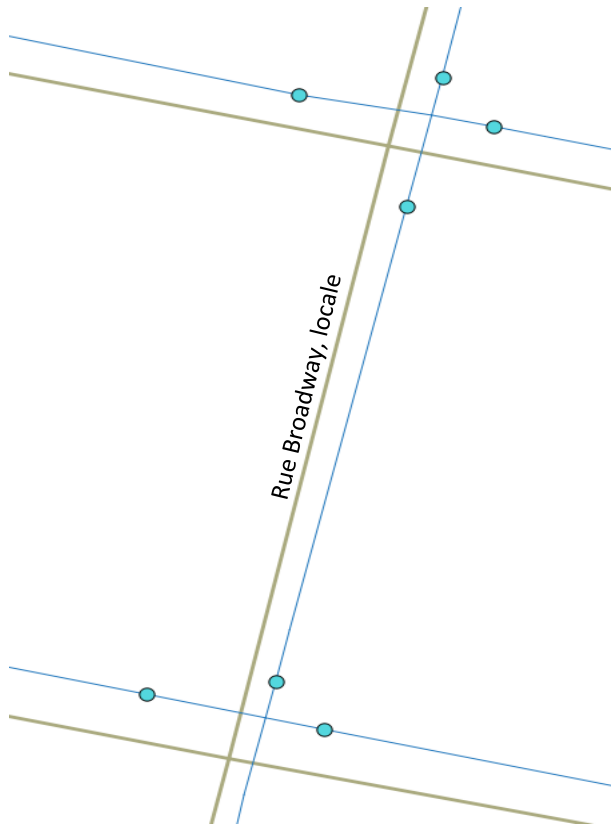


- La demande hydraulique est évaluée par le débit qui transite dans la conduite.
- La cote de conséquence est attribuée en fonction des classes prédéfinies suite à une analyse statistique.

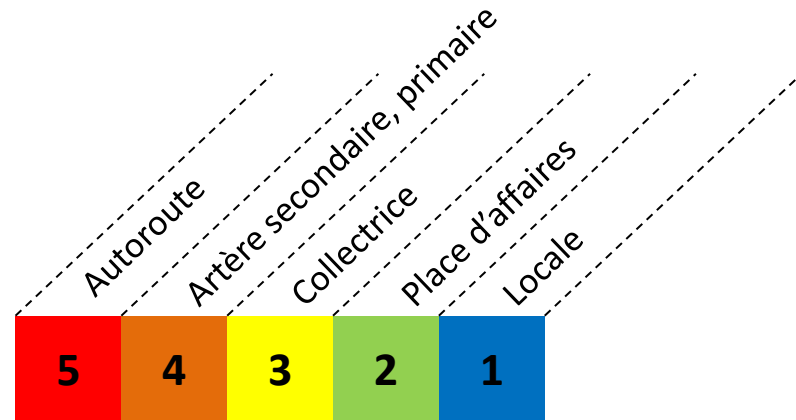




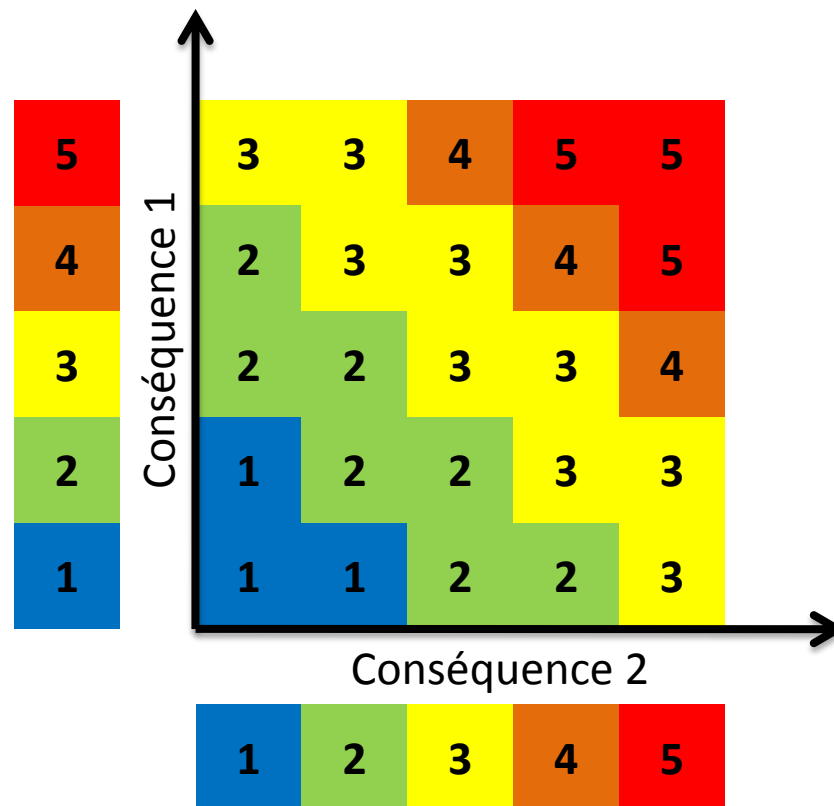
# Cote pour le type de chaussée



- La géobase routière comporte 8 classes de chaussée.
- La cote de conséquence est attribuée en fonction de la classification de la géobase.



# Matrice de cote finale de CONSÉQUENCE



# Cartographie des conséquences

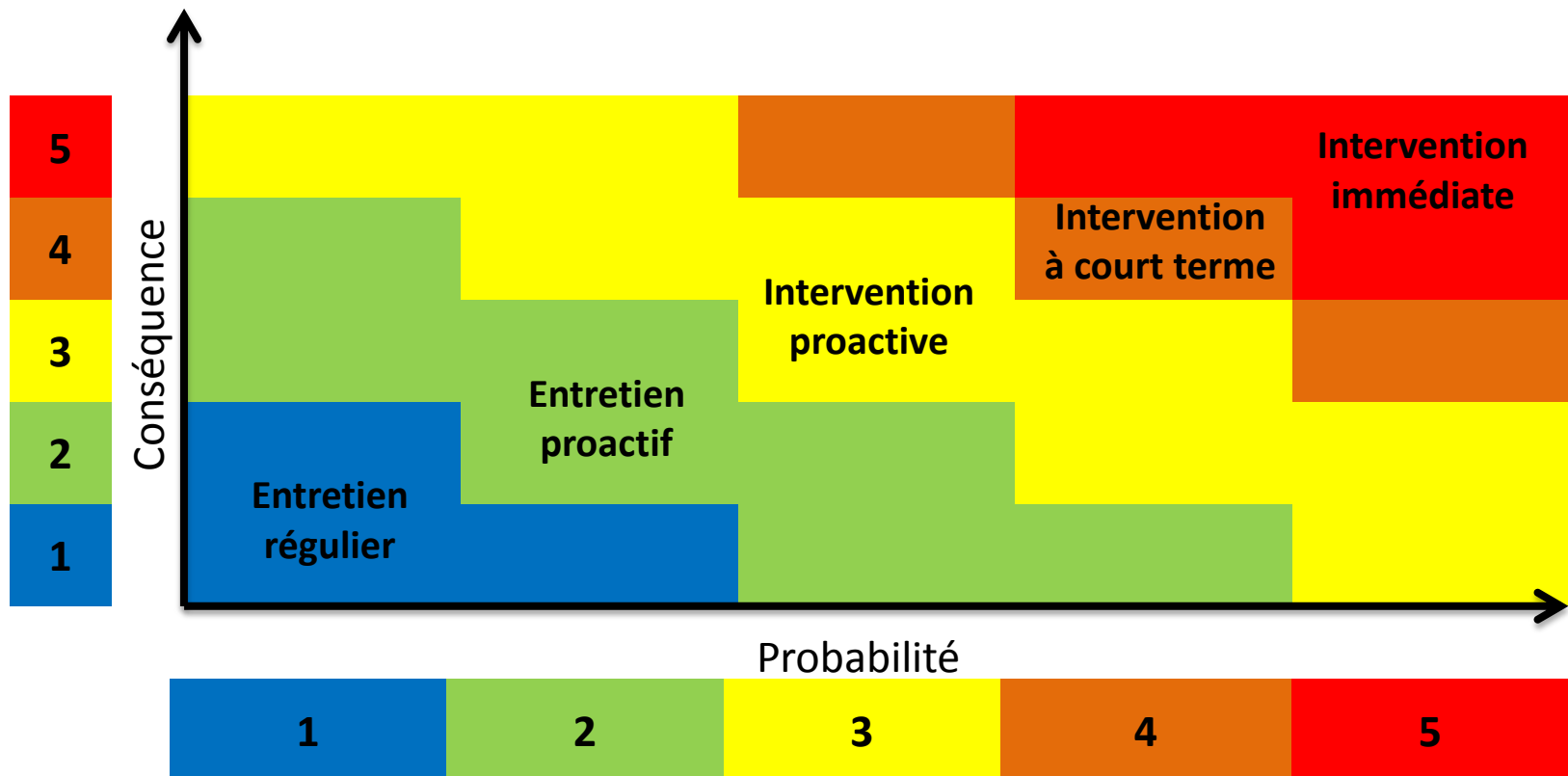




*«Le risque est défini par la probabilité d'apparition d'un évènement et la valeur attendue de ses conséquences.»*

# CALCUL DU RISQUE

# Évaluation de la cote de RISQUE



# Cartographie des risques



*«La qualité des résultats dépend étroitement de la qualité des données et de la justesse de leur interprétation.»*

# RECOMMANDATIONS

# Recommandations

- Maximiser la qualité des données sur les conduites et les bris
  - Conserver les conduites qui ont été remplacées avec leur historique de bris
  - Identifier les conduites qui sont déjà planifiées pour des travaux
- Optimiser l'interopérabilité entre les systèmes (p.ex. WaterGEMS, SIAD)
  - Définir une segmentation unique du réseau dans tous les systèmes (p.ex. de vanne à vanne)
  - Conserver les mêmes identifiants pour les conduites
- Traduire les objectifs stratégiques du Service de l'eau dans la cote de risque
- Approfondir la définition des conséquences
- Refaire l'analyse des risques tous les 3 à 5 ans



*«Mieux vaut prévenir que guérir.»*

# CONCLUSION

# Conclusion

- Réseau secondaire d'eau potable: **58 ans** d'âge moyen
- Actuellement, avec un niveau de service de 3 bris/km/an sur une période de 5 ans:
  - Durée de vie estimée à **94 ans**
  - 61% de la durée de vie déjà atteinte
- Près de 4252 bris prédits (2011-2015)
- En intervenant immédiatement sur 1% du linéaire des pires conduites:
  - 318 bris évités
  - 3934 bris restants à gérer
- Nécessité d'identifier des solutions alternatives d'atténuation des risques
  - Particulièrement où les conséquences sont très élevées (p.ex. installer plus de vannes d'isolement, doubler les entrées de service pour les usagers critiques, etc.)