

Maintenance des conduites d'eau potable : réparation ou renouvellement

Caty Werey

On estime qu'un quart du réseau français de distribution d'eau potable a plus de soixante ans. Le maintien en état de ces infrastructures laisse présager de nombreux travaux de réhabilitation ou de renouvellement. De plus, l'évolution de la réglementation impose de plus de lourds investissements aux collectivités. Ces contraintes financières plus fortes obligent les communes à mieux argumenter leurs choix d'investissement. Aujourd'hui, les décisions de renouvellement sont fonction du taux de défaillances et étroitement liées aux travaux de voirie. Le processus de décision est essentiellement curatif ; la mise en place d'une méthodologie de programmation des besoins en renouvellement s'avère donc nécessaire.

La programmation du renouvellement peut être décomposée en quatre étapes :

La première étape est le diagnostic du réseau qui nécessite la connaissance du réseau, de son environnement et de son passé. Cette étape doit traduire les effets du phénomène de vieillissement dans l'évaluation de l'état physique du réseau (défaillances, corrosion, qualité de l'eau...).

La seconde étape doit permettre, en ajoutant à ces données physiques des éléments économiques et sociologiques de définir les règles de renouvellement optimal d'une conduite, au niveau de la canalisation ou d'un groupe de canalisations homogènes. Elle hiérarchise les tronçons à risques en fonction de différents critères (vieillesse, réactions et attentes des consommateurs, coût relatif d'intervention, stratégie d'aménagement de la ville), et fournit pour chacun le coût de renouvellement, qui par agrégation donne une première estimation de l'enveloppe budgétaire nécessaire.

Elle aboutit cependant à un échéancier irrégulier, en raison d'un traitement trop individuel et de l'omission des contraintes budgétaires.

La troisième étape intègre ces contraintes budgétaires et financières et lisse les dépenses, donc les évolutions budgétaires et par là même la répercussion sur le prix de l'eau. C'est une démarche de programmation budgétaire pour prévoir les ressources et étaler régulièrement la dépense qu'il faut alors mettre en œuvre.

La quatrième étape se situe au niveau programmation ou phasage des travaux à proprement parler. Elle consiste, en fonction des éléments des phases précédentes et d'autres contraintes (travaux de voirie ou sur d'autres réseaux, regroupement géographique des tronçons à renouveler, etc.), à définir les travaux à réaliser pour une année donnée.

Modélisation

Le modèle présenté s'intègre dans l'étape 2, il propose une méthodologie pour évaluer les budgets qui seraient économiquement optimaux en prenant en compte le processus de vieillissement mais aussi d'autres facteurs techniques, sociaux ou économiques.

Le modèle utilise la programmation dynamique et indique s'il est plus économique de renouveler et de payer avec certitude le coût de renouvellement ou de laisser l'ancienne conduite en place et d'accepter le risque de défaillance traduit, dans l'espérance du coût de maintien en service. Ce coût comprend le coût direct de réparation et les coûts sociaux liés aux effets indirects d'une défaillance (perte d'eau, dommages à tiers, interruption dans l'activité économique...).

Les probabilités de transition entre les états de l'arbre de décision sont les probabilités d'occurrence des défaillances calculées par les fonctions de survie tenant compte des caractéristiques de la conduite et de son environnement immédiat et de l'historique des défaillances (Andreou, 1987 ; Eisenbeis, 1994). Elles traduisent le phénomène de vieillissement.

Le modèle prend également en compte :

- l'effet d'une défaillance sur les points de consommations en comparant la consommation « demandée » à la consommation « fournie » en un point quand un tronçon est défaillant. Cela traduit le rôle hydraulique d'un tronçon et nécessite une simulation hydraulique pour laquelle on coupe le tronçon avec incident (Bertin, 1994) ;
- la spécificité des consommateurs : en considérant que les consommateurs ne diffèrent pas seulement par le volume consommé qui donne la classification traditionnelle (consommateur domestique, industriel ou institutionnel) mais aussi par leur sensibilité à une coupure de la distribution d'eau ;
- l'influence de l'environnement de la conduite ;
- ces éléments sont introduits lors des l'évaluation des coûts.

Le modèle utilise la programmation dynamique permettant de tenir compte de l'information croissante dans le temps (Dixit et Pindick, 1994).

Le modèle est appliqué à chaque tronçon de conduite j .

À chaque date deux décisions sont possibles : REMPLACER ou NE PAS REMPLACER.

En cas de renouvellement, nous considérons que, sur l'horizon d'étude, la nouvelle conduite ne subira pas de défaillances, le seul coût enregistré (lié à la décision) sera celui du renouvellement soit R_j .

En cas de non renouvellement, deux états de hasard sont envisagés : DÉFAILLANCE sur le tronçon j ou NON-DÉFAILLANCE sur le tronçon j .

Le pas de temps est de un an. Selon l'hypothèse qu'il ne peut y avoir qu'une seule défaillance à la fois, on considère que si une conduite est défaillante, la défaillance suivante sur le réseau n'interviendra qu'après la réparation de celle en cours.

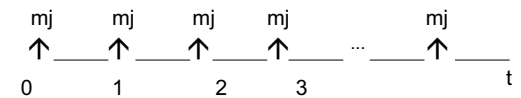
Le coût de remise en état suite à une défaillance sera $m_j = r_j + \mu_j$, avec r_j le coût de réparation à proprement dit et μ_j les coûts sociaux ou coûts indi-

rects liés à l'intervention (Nous considérons que toutes les défaillances sur une même conduite, entraîneront le même coût m_j).

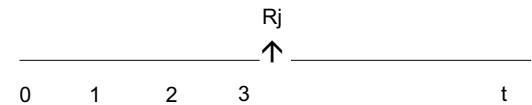
Le flux des coûts pourrait être le suivant :

Maintien de la canalisation existante j

Pour un même tronçon toutes les défaillances se verront affecté le même coût m_j .



Renouvellement de la canalisation j



Le renouvellement est réalisé en début de période, la défaillance est affectée en milieu de période.

Résolution de l'arbre de décision

Le modèle considère que le tronçon sera renouvelé au plus tard à T , date de fin de simulation. À chaque nœud, par calcul en retour, le modèle compare le coût d'un renouvellement immédiat au coût lié au fait d'attendre pour renouveler plus tard et risquer de subir une défaillance.

Notation



Φ_j : date de pose du tronçon j

D_j : nombre de défaillances sur le tronçon j avant le début de la simulation

Δ_j : date de la D^e défaillance sur j

α : début de la simulation (1^{er} janvier)

T : horizon de simulation

t : nombre d'années depuis α

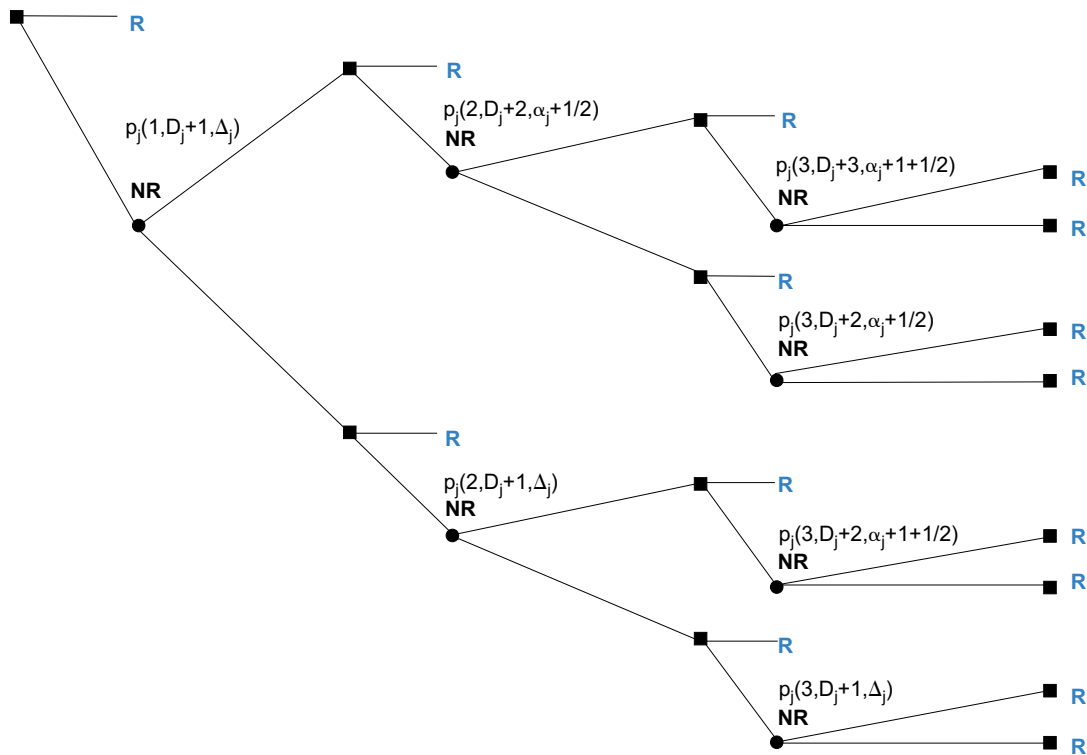
d_j : nombre de défaillances sur le tronçon j depuis le début de la simulation

δ_j : date de la d^e défaillance

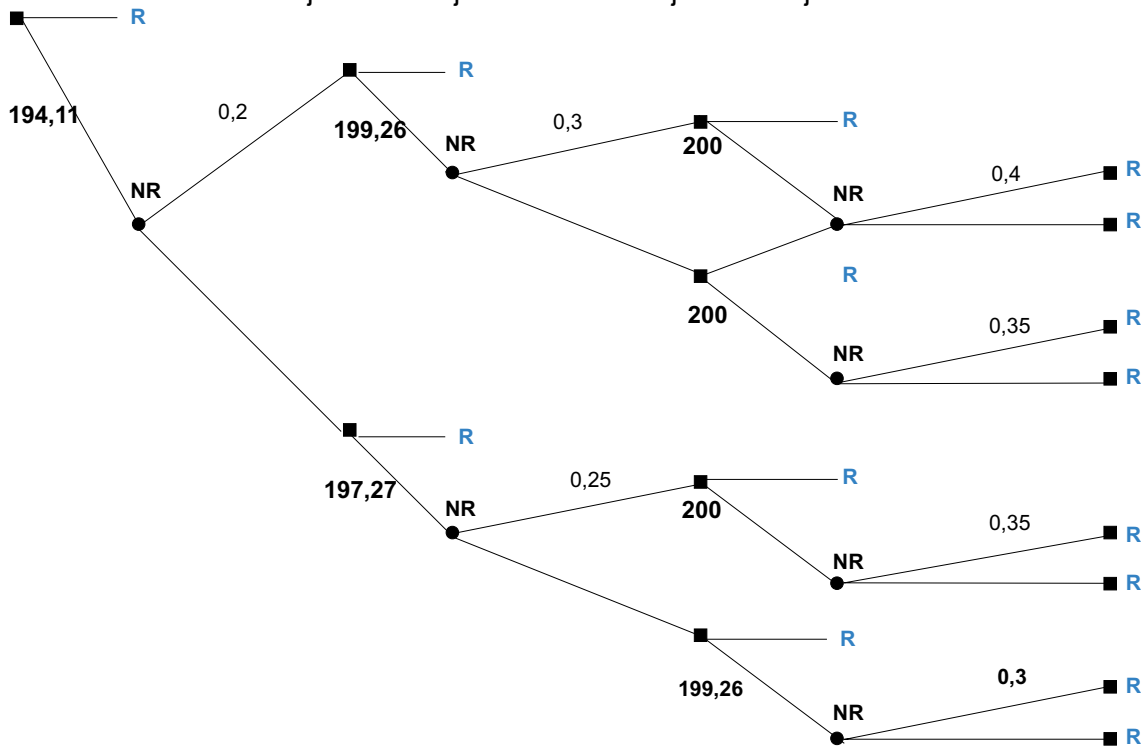
a : taux d'actualisation

La probabilité de transition de l'état $x_j[\alpha + t - 1, D_j + d_j, \mu]$ à l'état $x_j[\alpha + t, D_j + d_j + 1, (\delta + 1)_j]$ est donnée par $p_j(t, D_j + d_j + 1, \mu)$: **branche « up »**, avec $(\delta + 1)_j = \alpha + t - 1/2$.

Exemple avec $T = 3$



Application numérique : $R_j = 200$ m $m_j = 50$ $a = 0,05$ $D_j = 0$ $\alpha_j = j$



La probabilité de transition de l'état $x_j(\alpha + t - 1, D_j + d_j, \mu)$ à l'état $x_j(\alpha + t, D_j + d_j, \mu)$ est donnée par $[1 - p_j(t, D_j + d_j + 1, \mu)]$: **branche « down »**, avec $\mu = \Delta_j$ si $d_j = 0$, sinon $\mu = \delta_j$

$p_j(t, D_j + d_j + 1, \mu)$ est aussi la probabilité que sur le tronçon j , la $(D_j + d_j + 1)^e$ défaillance ait lieu durant la période t , sachant que la $(D_j + d_j)^e$ défaillance a eu lieu à μ avec $\mu = \Delta_j$ si $d_j = 0$, sinon $\mu = \delta_j$

Le modèle donne pour chaque état $x_j(\alpha + t - 1, D_j + d_j + 1, \delta_j)$ le coût optimal $C_j^*(\alpha + t - 1, D_j + d_j + 1, \delta_j)$ et ce jusqu'à $C_j^*(\alpha, D_j, \Delta_j)$ ($t \in [1, T]$)

et

$$C_j^*[x_j(\alpha + t - 1, D_j + d_j, \delta_j)] = \min \left[\begin{array}{l} R_j \quad ; \quad p_j(t, D_j + d_j + 1, \delta_j) \cdot \frac{m_j}{\sqrt{(1+a)}} \\ + p_j(t, D_j + d_j + 1, \delta_j) \cdot \frac{C_j^*[x_j(\alpha + t, D_j + d_j + 1, (\delta + 1)_j = \alpha + t - 1/2)]}{(1+a)} \\ + (1 - p_j(t, D_j + d_j + 1, \delta_j)) \cdot \frac{C_j^*[x_j(\alpha + t, D_j + d_j, \delta_j)]}{(1+a)} \end{array} \right]$$

et

$$C_j^*[x_j(\alpha, D_j, \Delta_j)] = \min \left[\begin{array}{l} R_j \quad ; \quad p_j(t, D_j + 1, \Delta_j) \cdot \left(\frac{m_j}{\sqrt{(1+a)}} + \frac{C_j^*[x_j(\alpha + 1, D_j + 1, \alpha + 1/2)]}{(1+a)} \right) \\ + (1 - p_j(t, D_j + 1, \Delta_j)) \cdot \frac{C_j^*[x_j(\alpha + 1, D_j, \Delta_j)]}{(1+a)} \end{array} \right]$$

Si $C_j^*(\alpha, D_j, D_j) = R_j$, cela signifie que le tronçon j doit être remplacé de suite, c'est-à-dire durant la période 1.

Si $C_j^*(\alpha, D_j, \Delta_j) < R_j$, la décision de renouvellement peut être différée d'un an et la décision optimale dépendra de l'état qui sera atteint $\alpha + 1$ et du résultat en ce point.

Un exemple avec $T = 3$ est présenté sur la page suivante. L'hypothèse a été faite que si une défaillance a lieu, la probabilité d'avoir la défaillance suivante augmente plus vite que si la défaillance n'a pas eu lieu.

Comment évaluer les paramètres du modèle ? Quelles sont les informations nécessaires ?

L'évaluation des différents paramètres sera donnée par une analyse des coûts, pour les coûts de maintenance et de renouvellement. Une analyse de données ou des coûts standards peuvent être utilisés. L'auteur s'est appuyé sur des coûts standards pour les coûts de réparation et un coût

moyen pour le coût de renouvellement qui inclut également le remplacement des branchements.

La spécificité des consommateurs sera traduite en prenant en compte les coûts sociaux tels que la perte d'activité économique, les dommages à tiers, les nuisances... L'influence de ces coûts sur la date de renouvellement a déjà été établie (Clarck, 1982 ; Kennel, 1992 ; Elnaboulsi, 1993 ; Drane, 1997).

Pour les probabilités, c'est un calage de fonctions de survie qui sera mis en œuvre, à partir des données caractéristiques de la conduite (diamètre, matériau, date de pose, longueur...) des données d'environnement immédiat (trafic, position sous

chaussée ou sous trottoir) et de l'historique de défaillances (nombre de défaillances et date de la dernière défaillance).

Résultats

L'exemple numérique donne les informations suivantes :

– À la date α : $C_j^*(\alpha, D_j, \Delta_j) = 194,11$ signifie que le tronçon peut être maintenu en place et le renouvellement.

– À $\alpha + 1$: $C_j^*(\alpha + 1, D_j + 1, \alpha + 1/2) = 199,26$ et $C_j^*(\alpha + 1, D_j, \Delta_j) = 197,27$, là encore, le renouvellement peut attendre.

– À $\alpha + 2$, seul $C_j^*(\alpha + 2, D_j, \Delta_j)$ est différent de R_j , ce qui signifie que le renouvellement est préconisé à $\alpha + 2$, sauf si aucune défaillance n'est survenue depuis α . Dans ce dernier cas, le renouvellement peut encore être différé d'un an.

Les décisions de renouvellement optimal apparaissent en caractère gras sur l'exemple.

Test sur des données de Strasbourg

Une évaluation des coûts et le test du modèle ont été réalisés sur six rues d'un quartier comprenant une partie avec des maisons individuelles, des immeubles, des commerces et des services et une autre partie avec des activités industrielles.

Les données pour le modèle sont présentées dans les tableaux 1, 2 et 3.

Le test sur dix ans donne les résultats précisés au tableau 3 pour C_j^* (α , D_j , Δ_j), ($a = 5\%$).

Ces résultats indiquent que seul le tronçon 42-43 doit être renouvelé de suite. En examinant l'en-

Tronçon j	Nb déf. D_j	Date déf. Δ_j de Pose	Année	Diamètre	Épaisseur	Longueur	Matériau
75.102	0		1993	150	6,3	220	GSr
75.103	0		1964	150	8	132	GLCr
77.78	2	1-juil-85	1904	100	9,6	312	GLM
76.77	0		1934	100	9,6	100	GLM
74.76	1	8-févr-89	1960	100	7,2	308	GLCr
69.70	0		1944	200	8,8	340	GLC
34.71	2	1-oct-93	1917	100	9,6	112	GLM
71.72	0		1930	100	9,6	32	GLM
34.70	0		1917	200	11,9	360	GLM
96.99	2	21-déc-91	1930	100	9,6	100	GLM
76.99	4	14-janv-92	1930	100	9,6	404	GLM
48.38	0		1965	150	8	520	GLCr
39-42	0		1922	150	9,6	460	GLM
42-43	0		1913	150	9,6	252	GLM

◀ Tableau 1 – Strasbourg – données techniques.

GLM = fonte à graphite lamellaire moulée – GLC = fonte à graphite lamellaire centrifugée
– GLCr = fonte à graphite lamellaire centrifugée revêtue – GS = fonte à graphite sphéroïdal – GSr = fonte à graphite sphéroïdal revêtue.

▼ Tableau 2 – Strasbourg – données socio-économiques.

Tronçon	s. domestique	s. commerce	s. industriel	Coût social	Coût réparation	Coût en maintien service	nb branchements	longueur (m)	Coût renouvellement
75.102	7,35 kF			7,35 kF	12,50 kF	19,85 kF	220,00	4	343,00 kF
75.103	0,15 kF	12,24 kF		12,39 kF	12,50 kF	24,89 kF	132,00	2	196,80 kF
77.78	18,45 kF	3,94 kF		22,39 kF	8,70 kF	31,09 kF	312,00	24	639,00 kF
76.77	0,30 kF			0,30 kF	8,70 kF	9,00 kF	100,00	2	105,00 kF
74.76	23,75 kF	1,36 kF		25,11 kF	12,25 kF	37,36 kF	308,00	11	471,00 kF
69.70	6,90 kF	20,18 kF		27,08 kF	12,25 kF	39,33 kF	340,00	44	675,00 kF
34.71	3,15 kF			3,15 kF	8,70 kF	11,85 kF	112,00	5	174,00 kF
71.72	4,80 kF	1,48 kF		6,28 kF	8,70 kF	14,98 kF	100,00	10	240,00 kF
34.70	29,50 kF			29,50 kF	12,25 kF	41,75 kF	360,00	28	849,00 kF
96.99	1,95 kF			1,95 kF	8,70 kF	10,65 kF	312,00	3	279,00 kF
76.99a	8,05 kF			8,05 kF	8,70 kF	16,75 kF	404,00	15	543,00 kF
48.38			41,49 kF	41,49 kF	12,25 kF	53,74 kF	520,00	14	615,00 kF
39-42			54,78 kF	54,78 kF	12,25 kF	67,03 kF	460,00	10	525,00 kF
42-43			474,65 kF	474,65 kF	12,25 kF	486,90 kF	252,00	5	279,00 kF

▼ Tableau 3 – Strasbourg – résultats.

Tronçon	75,102	75,103	77,78	76,77	74,76	69,7	34,71	71,72	34,70	96,99	76,99	43,38	39,42	42,43
C_j^*	240,4	149,1	426,9	77,14	332,3	444,3	116,1	162,9	551,9	188	376	459,9	407	279
Décision	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	NR	R

semble de l'arbre de décision sur les dix ans, aucune décision de renouvellement n'est proposée pour les treize autres tronçons. Le même résultats est obtenu par un test sur vingt ans. Ce résultat peut être expliqué par l'évolution lente du processus de vieillissement mais aussi, sauf pour le tronçon 42-43 par la faible valeur des coûts sociaux et donc des coûts de maintien en service comparés aux coûts de renouvellement. Les consommateurs industriels ont des coûts sociaux plus élevés que les autres consommateurs. Mais, le fait de tenir compte d'autres coûts sociaux tels que les risques de dommages dans un parking souterrain ou pour la circulation d'un tramway, ou même les bouchons pour les automobilistes, peut également entraîner des coûts sociaux élevés. Dans cette application seuls les coûts sociaux affectant les consommateurs d'eau potable ont été pris en compte.

sa forte valeur des coûts sociaux et parce qu'il n'y encore pas eu de défaillances sur ce tronçon, le tronçon 76-99 qui a subi quatre défaillances.

Ces tableaux présentent un extrait de l'arbre de décision pour le test sur dix ans, correspondant au début de l'arbre. La partie gauche présente les probabilités et celle de droite les résultats de l'optimisation. La différence dans le processus de vieillissement entre les deux conduites est perceptible sur les valeurs des probabilités. Autre fait à remarquer : les probabilités sur les branches les plus basses de l'arbre ont les valeurs les plus élevées. Cela traduit l'effet de la durée sans défaillance depuis la dernière défaillance réelle : le risque d'avoir la prochaine défaillance est ici plus élevé que sur le haut de l'arbre, où la durée entre deux défaillances successives est de 1 an, mais où par ailleurs le nombre de défaillances augmente chaque année. La durée entre deux défaillances successives semble avoir plus d'effet que le nombre de défaillances.

▼ Tableau 4 – Strasbourg – tronçon 43-42.

Les résultats de deux tronçons sont détaillés dans les tableaux 4 et 5 : le tronçon 42-43, à cause de

Tronçons	42-43	0 défaillances(s)		R = 279 kF		M = 487,15 kF	
Probabilités				Optimisation	coûts (10 ans)		
	0,028211						279
		0,026062	0,031228		278,1	279	
	0,022802		0,024669		276,22		277,43
		0,027331	0,030301		278,66	279	
0,082217			0,024669	279			277,43
		0,215567	0,025854		274,96	277,95	
	0,083487		0,020411		279		273,32
		0,084698	0,085857			279	279
[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	t = 0	t = 1	t = 2	t = 3

▼ Tableau 5 – Strasbourg – tronçon 76-99.

Tronçon	76-99	4 défaillances(s)		R = 543 kF		M = 16,75 kF	
Probabilités				Optimisation	coûtst (10 ans)		
			0,138732				419,49
		0,139501	0,165149			402,37	420,19
	0,138141		0,130829		385,92		418,78
		0,164729	0,181156			402,9	420,51
0,293567			0,130829	376,02			418,78
		0,130369	0,154494			401,45	419,36
	0,302698		0,122223		391,39	417,99	
		0,310872	0,318269			407,64	424,81
[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	t = 0	t = 1	t = 2	t = 3

Test sur des données de Charente-Maritime

Les données utilisées et les résultats de l'optimisation sont donnés dans les tableaux 6 et 7.

Le tronçon 4 doit être renouvelé tout de suite, pour les autres, le renouvellement peut attendre.

Toutes ces conduites sont en fonte à graphite lamellaire ou fonte grise. Sur les données de Strasbourg, une seule fonction de survie a été calée regroupant les tronçon avec ou sans défaillances. Sur les données de Charente, deux fonctions de survie différentes ont été mises en œuvre : l'une pour les tronçon avec défaillances l'autre pour ceux sans défaillance. Les tableaux 7 et 8 présentent un exemple dans chaque catégorie.

Ces tableaux montrent que lorsqu'un tronçon a déjà subi des défaillances, l'évolution des proba-

bilités est différente que lorsqu'aucune défaillance n'est survenue. Dans le premier cas, le modèle est influencé par le nombre de défaillances ce qui a pour effet de rendre les coûts de maintien en service plus élevés dans le haut de l'arbre de décision. Dans le second cas, c'est la durée jusqu'à la première défaillance qui influe et rend donc le bas de l'arbre plus réactif.

Conclusion

Ce modèle RENCANA est une étape pour une méthode complète de programmation. Il permet au gestionnaire de connaître l'état de son réseau et de décider quels tronçons sont à renouveler à un niveau optimal, en fonction du processus de vieillissement et de la spécificité des consommateurs. Il sera complété par la prise en compte du rôle hydraulique du tronçon. □

Tronçon j	Nb Def. D_j	Date def Δ_j	Année pose	Diamètre	Longueur	Trafic	Acidité	Humidité	rocher
3	5	22/11/1996	1927	125	2 500	1	0,5	1	0
4	3	25/07/1996	1931	40	300	0	0	0	1
5	10	28/08/1992	1927	60	2 000	1	0,5	1	0
7	0		1963	300	2 100	1	0	0	0
8	0		1927	100	370	0	0,5	1	0
9	0		1961	60	2 600	0	0	0	0,5
11	0		1963	300	3 600	0	0	0	0
12	1	20/2/1991	1950	100	1 350	0	0	0	0
13	0		1931	175	400	0	0	1	0

▲ Tableau 6 – Charente – données techniques.

▼ Tableau 7 – Charente – données économiques et résultats.

Tronçon j	R_j	$C_j^*(\alpha, D_j, \Delta_j)$	$C_j(\alpha, D_j, \Delta_j)$	Décision				
					R_j	$C_j^*(\alpha, D_j, \Delta_j)$	$C_j(\alpha, D_j, \Delta_j)$	Décision
	Coûts faibles				Coûts élevés			
3	2 250,00 KF	1 561,79 KF	1 561,79 KF	NR	4 750,00 KF	3 730,88 KF	3 730,88 KF	NR
4	270,00 KF	270,00 KF	291,46 KF	R	420,00 KF	420,00 KF		R
5	1 800,00 KF	1 303,79 KF	1 303,79 KF	NR	2 375,00 KF	2 275,49 KF	2 392,58 KF	NR
7	1 890,00 KF	1 220,00 KF	1 220,00 KF	NR	2 490,00 KF	1 619,81 KF	1 619,81 KF	NR
8	333,00 KF	216,43 KF	216,43 KF	NR	500,50 KF	333,29 KF	333,29 KF	NR
9	2 340,00 KF	1 510,93 KF	1 510,93 KF	NR	3 065,00 KF	1 991,02 KF	1 991,02 KF	NR
11	3 240,00 KF	2 089,36 KF	2 089,36 KF	NR	4 215,00 KF	2 721,99 KF	2 721,99 KF	NR
12	1 215,00 KF	793,46 KF	793,46 KF	NR	1 627,50 KF	1 110,72 KF	1 110,72 KF	NR
13	360,00 KF	232,79 KF	232,79 KF	NR	535,00 KF	349,29 KF	349,29 KF	NR

Tronçon	5			10 défaillances				R = 1 800 kF	m = 68,70 kF			
Probabilités								Optimisation coûts (10 ans)				
0,240866	0,424799	0,424799	0,424799	0,331822	0,424799	1303,79	1377,53	1423,33	1471,28	1459,65	1471,28	1452,42
			0,286918									
	0,424799	0,331822	1303,79	1343,94	1423,33	1459,65	1471,28	1433,74				
	0,224569								0,211606	0,200946	1387,22	1471,28
	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	t = 0	t = 1	t = 2	t = 3				

▲ Tableau 8 – Charente – tronçon 5.

Tronçon	7			0 défaillance				R = 1 890,00 kF	m = 68,70 kF			
Probabilités								Optimisation coûts (10 ans)				
0,004354	0,001405	0,001378	0,001354	0,001883	0,001354	1220,76	1280,34	1344,13	1411,12	1411,24	1411,12	1411,34
			0,001849									
	0,001354	0,001378	0,01849	1220,76	1281,51	1344,13	1411,12	1411,24	1411,12			
	0,004537									0,00471	0,004875	1345,26
	[0,1]	[1,2]	[2,3]	[3,4]	t = 0	t = 1	t = 2	t = 3				

▲ Tableau 9 – Charente – tronçon 7.

Résumé

En France, la plupart des décisions de renouvellement tiennent compte du taux de défaillances et s'appuient sur la programmation des travaux de voirie. Il n'y a pas de gestion prévisionnelle à long terme. La communication présente un modèle d'optimisation basé sur l'arbitrage entre renouvellement et réparation et tenant compte du taux de défaillances. Il détermine une date de renouvellement économiquement optimale pour chaque conduite et l'espérance du coût de renouvellement sur plusieurs années : ceci constitue la première étape de l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour la programmation du renouvellement. Dans l'évaluation des coûts de renouvellement et de maintien en service (coûts directs de réparation + coûts sociaux), le modèle RENCANA prend en compte l'évolution des défaillances, les caractéristiques de la conduite et de son environnement, la sensibilité des consommateurs à une interruption de la fourniture d'eau et la position hydraulique de la conduite. Cette approche intègre des éléments d'ordre technique, social et économique.

Abstract

In France, most of the renewal decision are taken with regard to the failure rate and in relation with road works. There is no long term planning.

The paper presents an optimisation model helping the choice between renewing or repairing and incurring the risk of future failures. It provides the economically optimal renewal time for each pipe and the expected renewal budget on several years: it is the first step for working out a planning decision tool.

In the evaluating of renewal and repairing costs (direct and social costs), the model RENCANA takes into account the pipe's failure evolution, the characteristics and the local environment of the pipe, the sensitivity of the consumers facing a water delivery interruption and the hydraulic position of the pipe. It is an approach which takes into account technical, social and economic elements.

Bibliographie

- ANDREOU, S.A., *et al.*, 1987. A new methodology for modelling break failure patterns in deteriorating water distribution systems. *Advanced Water Resources*, 10, march 1987, p.2-20.
- BERTIN, S., 1994, *Indices de fiabilité d'un système de distribution d'eau potable*, DEA « Mécanique et ingénierie », ULP Strasbourg, 79 p.
- CLARCK, R.M. *et al.*, 1982. Water distribution systems: a spatial and cost evaluation. *Journal of the Water Resources Planning and Management Division*, 109, october 1982, p. 243-256.
- DIXIT, A. K. et PINDICK, R. S., 1994, *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, 455 p.
- DRANE, X., 1997, *Évaluation des coûts sociaux liés à une interruption de l'alimentation en eau potable*, rapport, 74 p.
- EISENBEIS, P., 1994, *Modélisation statistique de la prévision des défaillances sur les conduites d'eau potable*, Thèse de doctorat « Génie de l'environnement », ULP Strasbourg, 156 p. + annexes.
- ELNABOULSI, J., 1993, *Le renouvellement des réseaux d'eau potable : approche économique d'optimisation, modèle des risques proportionnels*, DESS « Économie Industrielle et Décentralisation », UFC Besançon, 171 p.+ annexes.
- ELNABOULSI, J., ALEXANDRE, O., 1997. Détermination de la date optimale de renouvellement des réseaux urbains d'eau potable. *Canadian Water Resources Journal*, vol 22, n° 3, p.327-349.
- ELNABOULSI, J., ALEXANDRE, O., 1998. Le renouvellement des réseaux urbains d'eau potable, une approche économique d'optimisation. *Ingénieries*, n° 15, p. 3-17.
- KENNEL, S., 1992, *Optimisation du renouvellement des canalisations d'eau potable : approche méthodologique*, DESS « Économie Industrielle et Décentralisation », UFC Besançon, 79 p.
- WEREY, C., 1994, *Programmation du renouvellement des réseaux d'eau potable, Optimisation de la date de renouvellement, Décision de renouvellement et risque*, DEA « Sciences de gestion », ULP Strasbourg, 112 p.
- WEREY, C., 2000, *Politiques de renouvellement des réseaux d'eau potable*, Thèse de doctorat « Sciences de gestion »- ULP Strasbourg, 162 p.