



# **Justification du Plan Pluriannuel de renouvellement/rénovation basée sur un arbitrage Risques/Coûts**

## **Justification of the renewal/renovation plan based on a Risk/Cost trade-off.**

Jean Michel GUILLEMOT

ASSETSMAN, Directeur Opérationnel/CCO  
Versailles

[jmguillemot@assetsman.com](mailto:jmguillemot@assetsman.com)

**Mots clés :** Pluriannuel de renouvellement/rénovation, risques, coûts, gestion d'actifs, Life Cycle Costing

### **Résumé :**

Ce document présente les enjeux pour l'État et les concessionnaires dans la préservation et la pérennité des infrastructures en France, avec un accent particulier sur les secteurs de l'eau, du transport ferroviaire et l'énergie.

Nous évoquerons les démarches mises en place pour la discipline de la gestion d'actifs (ou gestion du patrimoine) permettant de supporter les décisions ou de justifier des priorités dans des secteurs où les contraintes sont énormes face aux enjeux sécuritaires, financiers, environnementaux ou plus généralement des ressources disponibles pour faire.

Ensuite, nous proposons d'apporter des éléments de discussions relatifs à la mise en œuvre de l'approche dans les secteurs industriels et celui des infrastructures pour finir par une conclusion générale.

Le document s'intéresse principalement aux enjeux opérationnels de la démarche ; c'est-à-dire relevant des besoins de pragmatisme des décisions du monde des infrastructures basées sur des approches relevant d'applications pratiques de la recherche fondamentale effectuée dans les différents laboratoires universitaires.

**Keywords:** Renewal/renovation Plan, risks, costs, asset management

### **Summary:**

This document presents the challenges for the State and concessionaires in the preservation and sustainability of infrastructure in France, with particular emphasis on the water, rail transport and energy sectors.

We will discuss the approaches put in place for the discipline of asset management (or asset management) to support decisions or justify priorities in sectors where the constraints are enormous in the face of security, financial, environmental, or more issues. generally, resources available to do.

Then, we propose to bring elements of discussion relating to the implementation of the approach in the industrial and infrastructure sectors to end with a general conclusion.

The document mainly focuses on the operational issues of the approach; relating to the needs for pragmatism of decisions in the world of infrastructures based on approaches relating to practical applications of fundamental research carried out in the various university laboratories.

## LE CONSTAT

### **Le vieillissement des infrastructures en France (rèf 1)**

La grande majorité des infrastructures en France dans les secteurs du transport, de l'énergie, des télécommunications ont été construites tout au long du XXe siècle et plus massivement dans sa deuxième moitié de ce siècle avec des investissements massifs.

Malheureusement, le constat est sans appel, en France, depuis les années 1990, la baisse des financements publics et les privatisations ont fortement impacté la gouvernance, la gestion et l'entretien de ces grandes infrastructures, qu'elles soient ferroviaires, routières ou électriques.

Les besoins annuels de maintenance et de renouvellement/rénovation s'élèvent à plusieurs dizaines de milliards d'euros par an et ce de manière récurrente. La préservation et la modernisation des infrastructures nécessite donc des investissements significatifs chaque année qui nécessite une planification efficace, un financement durable et une gestion rigoureuse pour garantir la viabilité et la pérennité de ces infrastructures sur le long terme.

### **Les plans pluriannuels de renouvellement/rénovation (rèf 1)**

Un plan pluriannuel de renouvellement/rénovation est donc essentiel pour assurer la pérennité des installations. Les besoins sont multiples et un accent particulier doit être porté sur les réseaux d'eau vieillissant, les réseaux ferrés et les routes nationales notamment.

Les acteurs sont confrontés également au défi d'investir dans le renouvellement/rénovation tout en minimisant les risques financiers. Les projets de grande envergure impliquent souvent des risques liés à la complexité technique, aux retards d'exécution et aux fluctuations des coûts. Selon des estimations faites, le risque financier total associé aux projets d'infrastructures s'élève à une dizaine de milliards d'euros par an.

Ce risque est porté par les investisseurs avec des sources de financements diverses y compris les budgets publics, les subventions, les partenariats public-privés, les emprunts. En moyenne, le gouvernement contribue à hauteur de 60 % des investissements ainsi que les partenariats public-privé contribuent pour 20 % environ.

## LES DEFIS

### **Le besoin d'une vision long terme**

Les principaux acteurs impliqués dans le financement et la gestion des infrastructures comprennent les gouvernances locales, nationales, les agences de régulation, les entreprises de construction, les acteurs de service publics, les institutions financières, les investissements privés et les organismes de financements européens. Chacun de ces acteurs joue un rôle crucial dans la planification, le financement et la mise en œuvre des projets d'infrastructures.

De la visibilité est demandée. Une vision court-termiste trop longtemps a pris le pas sans réelle volonté affichée d'une maîtrise sur le long terme mais la réalité a vite repris le pas avec des incidents voire des catastrophes liées aux vieillissements des infrastructures mal maîtrisés avec des conséquences significatives.

### **La dette grise**

Ce qui est nommé la dette grise correspond à l'estimation du risque valorisé économiquement de ne pas rénover/remplacer au moment opportun.

Cette dette grise (autrement nommé « tas de sable ») donne une représentation d'un retard cumulé et donc d'une augmentation du risque global issu des contraintes budgétaires d'investissement mais aussi d'un cumul porté par un manque d'anticipation.

Les différents acteurs de ces secteurs et ce à tous les niveaux mènent (ou sont en train de mener) une estimation de la dette grise. Bien évidemment le chiffre brut est très important et montre à qui veut le voir le résultat des politiques court-termistes issu des pressions économiques (on tire sur les prix), des DSP de 3 à 5 ans (comment

responsabiliser le délégataire sur une vision long terme) et plus globalement pour répondre au besoin de compétitivité.

### **Imaginer l'avenir**

Notre expérience nous permet de prendre des décisions au regard de notre vécu. C'est la raison pour laquelle, identifier les besoins de renouvellement/rénovation d'équipements avec des durées de vie de quelques années semble aisé et peut ne faire appel qu'à des logiques de collecte purement déclarative et parfois suffisante pour construire une planification.

Or les actifs des infrastructures ont des durées de vie de plusieurs dizaines d'année (ou moins pour les éléments structurels) ce qui implique de caractériser objectivement les lois de vieillissement des composants et donc ce qui nécessite des modélisations plus ou moins complexes avec toutes les notions d'incertitude associées.

Ne pas modéliser les comportements à long terme de ces éléments d'infrastructure implique de ne pas comprendre ce que nous n'avons pas encore forcément vécu et nous mettrait devant le fait accompli, ce qui rentre en contradiction avec une démarche durable techniquement et économique sur la gestion de la pérennité de ce type de patrimoine.

## LES ELEMENTS D'ANALYSE

### **Connaitre l'état du patrimoine et estimer les durées de vie**

Les besoins de planification des besoins de renouvellement/rénovation reposent donc sur une cartographie de l'état du patrimoine. L'état de l'art sur ce sujet présente deux grandes tendances.

La première repose sur une projection de durée de vie théorique, basée sur l'utilisation de référentiels disponibles sur le marché sans correction notable. Cette approche, basée sur l'utilisation de données standards permet donc de projeter les besoins de renouvellement/rénovation à la fois quasi automatiquement sur la base de la connaissance du patrimoine (inventaire) et ainsi permet de disposer d'une visibilité des montants nécessaires dont les échéances sont néanmoins discutables.

La seconde tendance propose la mise à jour des durées de vie théoriques par des facteurs de correction liés à l'utilisation, la sollicitation, des facteurs environnementaux et autres. Dans cette catégorie, il existe également des approches alternatives reposant sur des auscultations du patrimoine visant à corriger un état théorique avec un état réelle observable sur le terrain.

Enfin, dans les solutions les plus abouties du marché, on retrouve des approches qui se basent sur des modélisations probabilistes en tenant compte d'une part des informations disponibles (bases de données notamment), de la formalisation de la connaissance (élicitation d'avis d'expert) source des corrections des données de durée de vie théorique.

### **État du patrimoine et probabilité de défaillance**

Il s'agit là d'un des enjeux majeurs dans le besoin de projection de renouvellement/rénovation du patrimoine. En effet, les approches plutôt déterministes (qui repose sur la projection des durées de vie) montrent facilement leurs limites. L'expérience montre qu'il apparaît rapidement un décalage entre les besoins théoriques et les besoins réels, raison pour lesquelles les auscultations régulières du patrimoine sont mise en place pour corriger les moments de ces besoins de renouvellement/rénovation mais qui annule toute idée même de planification long terme et d'adhésion des directions industriels à des résultats peu robustes.

Les enjeux reposent donc sur une estimation plus précise des moments des besoins de renouvellement/rénovation sur la base de la modélisation des densités de probabilité de défaillance.

## Projection des durées de vie

Comme évoqué, les modèles les plus innovants dans la détermination des besoins de rénovation sur le long terme prennent en compte la distribution de la durée de vie complétée par une technique de gestion des incertitudes ce qui est reconnue comme un apport indéniable pour les décideurs dont la seule préoccupation réside dans l'estimation du risque d'une décision.

Dans les modèles d'aide à la décision, simples et pragmatiques, on retient quasi exclusivement la loi de Weibull comme outil de modélisation de la durée de vie pour des raisons évidentes que la littérature a déjà largement expliquée qui grâce à sa flexibilité, comme dit précédemment, permet de représenter au moins approximativement une infinité de lois de probabilité.

La modélisation de la probabilité de défaillance doit tenir compte des phénomènes de dégradation (voire de mode de défaillance) différents sur le cycle de vie ce qui a amené à associer des formes de lois différentes pour disposer d'une représentation la plus fidèle possible de l'évolution de la probabilité de défaillance en fonction de l'âge des équipements.

Pour disposer d'une modélisation fidèle évoqué ci-dessous, les techniques les plus pragmatique repose sur l'association de différentes lois de Weibull (nous parlons ici de somme) pour disposer ainsi d'une loi complète prenant en compte des phénomènes de dégradation différents sur le cycle de vie. Les éléments de modélisation sont présentés ci-après

### LES ELEMENTS DE MODELISATION

#### La modélisation des durées de vie : La loi de Weibull (rèf 2)

La fiabilité peut être modélisée par plusieurs lois, la loi de Weibull est une loi tri-paramétrique qui peut à elle seule modéliser de nombreuses lois.

Pour rappel, la fonction de répartition de la loi de Weibull est :

$$F(x, \alpha, \beta, \theta') = 1 - e^{-\left(\frac{x-\theta'}{\alpha}\right)^\beta}$$

Où :

- $\alpha$  : paramètre d'échelle de la distribution ( $> 0$ ).
- $\beta$  : paramètre de forme de la distribution ( $> 0$ ).
- $\theta'$  : paramètre de position de la distribution.

Dans notre cas, le but est de modéliser le profil de dégradation d'équipements industriels.  $\theta'$  est le paramètre de position de la distribution. Soit le décalage temporel entre le début de la dégradation et le moment de mise en service de l'équipement.

D'où, il y a trois situations :

- Si  $\theta'$  est inférieur à 0, la dégradation commence avant la mise en service de l'équipement.
- Si  $\theta'$  est supérieur à 0, cela veut dire, que pendant le temps allant de 0 à  $\theta'$ , il n'y a aucune dégradation de l'équipement.
- Si  $\theta'$  est égal à 0, les dégradations de l'équipement commence au moment de sa mise en service.

Comme, pour un équipement industriel le premier cas est impossible, donc  $\theta'$  est supérieur ou égal à 0.

Un équipement industriel à trois périodes de vie :

- La période de vie infantile ou déverminage (taux de défaillance décroissant).
- La période de vie utile (taux de défaillance constant).
- La période d'usure (taux de défaillance croissant).

Donc, une seule loi n'est pas suffisante pour modéliser toute la vie d'un équipement.

D'où, il faut l'addition de trois lois mais la répartition des défaillances doit être égale à 100%.

$$F \text{ globale} = \left(1 - e^{-\left(\frac{x \cdot \theta}{\alpha 1}\right)^{\beta 1}}\right) x T1 + \left(1 - e^{-\left(\frac{x \cdot \theta}{\alpha 2}\right)^{\beta 2}}\right) x T2 + \left(1 - e^{-\left(\frac{x \cdot \theta}{\alpha 3}\right)^{\beta 3}}\right) x T3$$

où :

- T1 : pourcentage de défaillance pendant la période infantile.
- T2 : pourcentage de défaillance pendant la période de vie utile.
- T3 : pourcentage de défaillance pendant la période d'usure.
- $\alpha 1$  : durée moyenne de la période infantile
- $\alpha 2$  : durée moyenne de la vie utile
- $\alpha 3$  : durée de vie moyenne de l'actif
- $\theta$  : fonction de rajeunissement
- $\beta 1$  : paramètre de forme de la distribution, comme on est dans la période infantile,  $\beta 1$  est inférieur à 1 (taux de défaillance décroissant).
- $\beta 2$  : paramètre de forme de la distribution, comme on est dans la période de vie utile,  $\beta 2$  est égal à 1 (taux de défaillance constant).
- $\beta 3$  : paramètre de forme de la distribution, comme on est dans la période d'usure,  $\beta 3$  est supérieur ou égal à 1 (taux de défaillance croissant).
- $T1 + T2 + T3 = 100\%$ .

A partir de la fonction de répartition sont calculés toutes les autres fonctions.

- $R(x) = 1 - F(x)$ , fonction de survie.
- $f(x) = \frac{\partial F(x)}{\partial x}$ , fonction de densité de probabilité de défaillances.
- $\lambda(x) = f(x) / R(x)$ , taux de défaillance instantané.
- $H(x) = \int_0^{x-t} \lambda(x) \cdot dx$ , taux de défaillance cumulé.

L'estimation des coûts de la défaillance requiert à ce stade deux dimensions ; la probabilité cumulée de défaillances à un âge donné de cette défaillance, et dans le cas d'une gestion d'actifs, le manque à gagner en tenant compte de:

- Coûts directs de défaillance par an =  $H(x) \times$  coût direct / x.
- Coûts indirects de défaillance par an =  $H(x) \times$  coût indirect / x.
- Risque monétisé par an = Coûts directs de défaillance + Coûts indirects de défaillance

### Déterminer le moment opportun de rennovation/renouvellement

La décision quant au besoin de renouvellement/rennovation des actifs repose sur la construction d'un coût global de possession qui implique une évaluation approfondie de tous les coûts du cycle de vie associés à l'achat d'un actif

Plus globalement, la projection du coût global de possession permet :

- **Identifier tous les coûts associés à l'achat ou à l'utilisation** d'un bien ou d'un service, y compris les coûts directs et indirects, tels que les coûts d'achat, les coûts de maintenance, les coûts de formation, les coûts d'installation, les coûts d'utilisation, etc.
- **Estimer la durée de vie du bien** ou du service, en fonction de la fréquence d'utilisation et de l'obsolescence technologique.
- **Évaluer la valeur résiduelle du bien** ou du service, c'est-à-dire sa valeur de revente ou sa valeur de récupération à la fin de sa durée de vie.
- **Actualiser tous les coûts en** utilisant un taux d'actualisation pour prendre en compte la valeur temporelle de l'argent.
- **Ajouter tous les coûts pour obtenir le coût total** sur la durée de vie du bien ou du service.

Avec :

- Facteur d'actualisation  $(t) = \left(\frac{1}{1+i}\right)^t$
- Dépenses actualisées  $(t)$  : Dépenses $(t)$  x Facteur d'actualisation $(t)$
- $LCC(t) = \sum_{k=0}^t \text{Dépenses actualisées } (t)$

Le but ici est multiple :

- **Savoir dans combien de temps il faut remplacer l'actif actuel.**
- **Connaitre le montant de la « pénalité », d'anticipation ou de retard de remplacement de l'actif actuel par l'actif candidat.**
- **Pouvoir comparer des scénarios de remplacement, entre plusieurs candidats au remplacement.**
- **La pénalité est en euros.**

Le NPV $(t)$  du scénario de remplacement est l'addition des dépenses restantes de l'actif actuel jusqu'au remplacement, et du NPV min du l'actif candidat projeté à l'infini

NPV $(t)$  scénario de remplacement = Dépenses restantes actualisées actif actuel + NPV min $(t)$  actif candidat.

### **L'estimation de la dette grise : pénalité de ne pas faire au bon moment**

Pénalité de remplacement = NPV $(x)$  scénario de remplacement - NPV $(t)$  minimum scénario de remplacement.

La pénalité permet de savoir quelle est la meilleure année de remplacement (quand la pénalité est égale à 0), et permet aussi de connaitre de combien est la pénalité de retarder ou anticiper le remplacement.

Dans l'approche, l'estimation de cette pénalité est l'élément clef d'aide à la décision pour définir le besoin de financement de renouvellement/rénovation mais aussi de la maîtrise des risques sur le long terme.

## **UN EXEMPLE DE PROJECTION DES BESOINS DE RENOVATION/RENOUVELLEMENT**

Ce paragraphe présente une illustration de la démarche.

La détermination d'une bonne stratégie de renouvellement/rénovation qui répond aux contraintes budgétaires repose donc sur l'estimation de la dette grise acceptable.

Prenons comme exemple : 10 actifs pour lesquels le processus global de définition des moments opportuns de renouvellement/rénovation est défini.

Le processus se résume comme suit :

- Collecte des données d'entrée
- Établissement de la stratégie de remplacement à l'optimum individuel de chaque actif (simulation)
- Calcul de la stratégie collective optimale, de remplacement pluriannuel des actifs, à budget annuel maximum et à pénalités minimales.
- Prise en compte les contraintes budgétaires d'investissement annuel pour la définition de scénarios alternatifs et d'estimation de la dette grise.

## Les résultats obtenus en stratégie optimale (individuel et collectif)

Projection des besoins de renouvellement/rénovation sur 30 ans

- 10 besoins analysés (équipement en fin de vie)
- Coûts des besoins de rénovation/renouvellement projetés sur 30 ans = 3,8 M€
- Si réalisation au moment opportun : pas de dette grise (pénalités économiques de non-réalisation au moment opportun)

Limite budgétaire annuel de Capex (%)			OPTIMUMS ET PÉNALITÉS SUR UNE PÉRIODE 30 ANS																																			
120000		Année(s)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050									
TABLEAU DES PROJETS		Via Economique Candidat	CAPEX CANDIDAT																																			
Actif actuel	Actif candidat		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Actif n-1	Actif n-1 Identique	11	10K	8K	22K	77K	147K	241K	387K	513K	621K	714K	796K	869K	935K	995K	1050K	1101K	1149K	1194K	1237K	1278K	1317K	1354K	1389K	1423K	1456K	1488K	1519K	1549K	1578K	1606K	1634K	1661K	1688K	1715K		
Actif n-2	Actif n-2 Identique	13	80K	6K	6K	23K	40K	55K	70K	84K	98K	112K	126K	140K	154K	168K	182K	196K	210K	224K	238K	252K	266K	280K	294K	308K	322K	336K	350K	364K	378K	392K	406K	420K	434K	448K	462K	
Actif n-3	Actif n-3 Identique	14	70K	8K	30K	50K	70K	90K	110K	130K	150K	170K	190K	210K	230K	250K	270K	290K	310K	330K	350K	370K	390K	410K	430K	450K	470K	490K	510K	530K	550K	570K	590K	610K	630K	650K	670K	
Actif n-4	Actif n-4 Identique	15	70K	10K	13K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	
Actif n-5	Actif n-5 Identique	16	80K	11K	14K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	
Actif n-6	Actif n-6 Identique	17	90K	13K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	112K	
Actif n-7	Actif n-7 Identique	18	95K	14K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	113K	
Actif n-8	Actif n-8 Identique	19	100K	15K	18K	21K	24K	27K	30K	33K	36K	39K	42K	45K	48K	51K	54K	57K	60K	63K	66K	69K	72K	75K	78K	81K	84K	87K	90K	93K	96K	99K	102K	105K	108K	111K	114K	
Actif n-9	Actif n-9 Identique	20	110K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	112K	115K	118K
Actif n-10	Actif n-10 Identique	21	120K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	113K	116K	119K

Stratégie optimale

## Prise en compte des contraintes budgétaire et estimation de la dette grise associée

Dans cette première analyse, il est supposé que le montant maximum d'investissement disponible par an s'élève à de 120 kEuros.

On peut observer alors :

- Le décalage des moments de réalisation
- 1 seul actif est remplacé au moment optimum
- (en bleu)
- Tous les autres sont retardés (en rouge)
- Coût sur 30 ans = 8,1 M€
- Dette Grise = 4,3 M€

Limite budgétaire annuel de Capex (%)			OPTIMUMS ET PÉNALITÉS SUR UNE PÉRIODE 30 ANS																																			
120000		Année(s)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050									
TABLEAU DES PROJETS		Via Economique Candidat	CAPEX CANDIDAT																																			
Actif actuel	Actif candidat		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30					
Actif n-1	Actif n-1 Identique	11	10K	8K	22K	77K	147K	241K	387K	513K	621K	714K	796K	869K	935K	995K	1050K	1101K	1149K	1194K	1237K	1278K	1317K	1354K	1389K	1423K	1456K	1488K	1519K	1549K	1578K	1606K	1634K	1661K	1688K	1715K		
Actif n-2	Actif n-2 Identique	13	80K	6K	6K	23K	40K	55K	70K	84K	98K	112K	126K	140K	154K	168K	182K	196K	210K	224K	238K	252K	266K	280K	294K	308K	322K	336K	350K	364K	378K	392K	406K	420K	434K	448K	462K	
Actif n-3	Actif n-3 Identique	14	70K	8K	30K	50K	70K	90K	110K	130K	150K	170K	190K	210K	230K	250K	270K	290K	310K	330K	350K	370K	390K	410K	430K	450K	470K	490K	510K	530K	550K	570K	590K	610K	630K	650K	670K	
Actif n-4	Actif n-4 Identique	15	70K	10K	13K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	
Actif n-5	Actif n-5 Identique	16	80K	11K	14K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	
Actif n-6	Actif n-6 Identique	17	90K	13K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	112K	
Actif n-7	Actif n-7 Identique	18	95K	14K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	113K	
Actif n-8	Actif n-8 Identique	19	100K	15K	18K	21K	24K	27K	30K	33K	36K	39K	42K	45K	48K	51K	54K	57K	60K	63K	66K	69K	72K	75K	78K	81K	84K	87K	90K	93K	96K	99K	102K	105K	108K	111K	114K	
Actif n-9	Actif n-9 Identique	20	110K	16K	19K	22K	25K	28K	31K	34K	37K	40K	43K	46K	49K	52K	55K	58K	61K	64K	67K	70K	73K	76K	79K	82K	85K	88K	91K	94K	97K	100K	103K	106K	109K	112K	115K	118K
Actif n-10	Actif n-10 Identique	21	120K	17K	20K	23K	26K	29K	32K	35K	38K	41K	44K	47K	50K	53K	56K	59K	62K	65K	68K	71K	74K	77K	80K	83K	86K	89K	92K	95K	98K	101K	104K	107K	110K	113K	116K	119K

Stratégie sous contrainte budgétaire de 120 kEuros/an

Dans cette deuxième analyse, il est supposé que le montant disponible annuel s'élève à 160 kEuros

On peut observer alors :

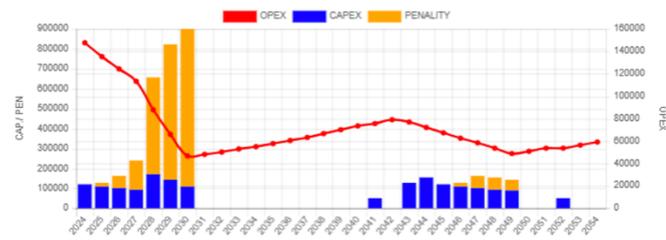
- Coût sur 30 ans = 6,3 M€
- Dette Grise = 2,6 M€
- Soit une réduction de la dette grise de 1,7 M€ par rapport à la situation précédente

Limite budgétaire annuel de Capex		OPTIMISMS ET PÉNALITÉS SUR UNE PÉRIODE 30 ANS																																															
100000		Année(s)	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043	2044	2045			
TABLEAU DES PROJETS		Vie Economique Candidat	CAPEX CANDIDAT																																														
Actif actuel	Actif candidat		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
Actif n-1	Actif n-1 Identique		11	50K	0	8.1K	32.2K	77.6K	147.9K	244.1K	307.4K	335.9K	355.4K	365.4K	366K	358K	341K	316K	284K	247K	207K	165K	123K	81K	40K	0	8.1K	32.2K	77.6K	147.9K	244.1K	307.4K	335.9K	355.4K	365.4K	366K	358K	341K	316K	284K	247K	207K	165K	123K	81K	40K			
Actif n-2	Actif n-2 Identique		13	60K	0	8.8K	32.8K	84.2K	165.1K	277.8K	432.8K	567.6K	787.8K	98K	124K	148K	174K	198K	214K	224K	228K	224K	214K	198K	174K	0	8.8K	32.8K	84.2K	165.1K	277.8K	432.8K	567.6K	787.8K	98K	124K	148K	174K	198K	214K	224K	228K	224K	214K	198K	174K	150K	126K	
Actif n-3	Actif n-3 Identique		14	70K	0	8.7K	30.6K	100.1K	194.9K	328.7K	485.9K	700.3K	934K	124K	154K	184K	214K	244K	274K	294K	304K	304K	294K	274K	244K	0	8.7K	30.6K	100.1K	194.9K	328.7K	485.9K	700.3K	934K	124K	154K	184K	214K	244K	274K	294K	304K	304K	294K	274K	244K	214K	184K	
Actif n-4	Actif n-4 Identique		15	75K	0	10K	43.8K	109.2K	211.3K	363K	631.7K	754K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	0	10K	43.8K	109.2K	211.3K	363K	631.7K	754K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K	784K
Actif n-5	Actif n-5 Identique		16	80K	0	11.8K	48.2K	118.8K	228K	378.8K	621.7K	827.9K	1044K	1244K	1444K	1644K	1844K	2044K	2244K	2444K	2644K	2844K	3044K	3244K	3444K	0	11.8K	48.2K	118.8K	228K	378.8K	621.7K	827.9K	1044K	1244K	1444K	1644K	1844K	2044K	2244K	2444K	2644K	2844K	3044K	3244K	3444K	3644K	3844K	4044K
Actif n-6	Actif n-6 Identique		17	90K	0	13.7K	58.7K	138.8K	269.3K	430.3K	646.2K	838K	1024K	1204K	1384K	1564K	1744K	1924K	2104K	2284K	2464K	2644K	2824K	3004K	3184K	0	13.7K	58.7K	138.8K	269.3K	430.3K	646.2K	838K	1024K	1204K	1384K	1564K	1744K	1924K	2104K	2284K	2464K	2644K	2824K	3004K	3184K	3364K	3544K	3724K
Actif n-7	Actif n-7 Identique		18	95K	0	15.3K	69.5K	145.4K	276.6K	457.7K	689.3K	834K	984K	1134K	1284K	1434K	1584K	1734K	1884K	2034K	2184K	2334K	2484K	2634K	2784K	0	15.3K	69.5K	145.4K	276.6K	457.7K	689.3K	834K	984K	1134K	1284K	1434K	1584K	1734K	1884K	2034K	2184K	2334K	2484K	2634K	2784K	2934K	3084K	3234K
Actif n-8	Actif n-8 Identique		19	100K	0	17K	81.5K	165.4K	294.1K	485.1K	729.6K	944K	1144K	1344K	1544K	1744K	1944K	2144K	2344K	2544K	2744K	2944K	3144K	3344K	3544K	0	17K	81.5K	165.4K	294.1K	485.1K	729.6K	944K	1144K	1344K	1544K	1744K	1944K	2144K	2344K	2544K	2744K	2944K	3144K	3344K	3544K	3744K	3944K	4144K
Actif n-9	Actif n-9 Identique		20	105K	0	18.4K	94.6K	175.4K	328.8K	537.1K	807.8K	1044K	1244K	1444K	1644K	1844K	2044K	2244K	2444K	2644K	2844K	3044K	3244K	3444K	3644K	0	18.4K	94.6K	175.4K	328.8K	537.1K	807.8K	1044K	1244K	1444K	1644K	1844K	2044K	2244K	2444K	2644K	2844K	3044K	3244K	3444K	3644K	3844K	4044K	4244K
Actif n-10	Actif n-10 Identique	21	120K	0	22.4K	113.2K	191.8K	359.8K	593.8K	885.2K	1244K	1544K	1844K	2144K	2444K	2744K	3044K	3344K	3644K	3944K	4244K	4544K	4844K	5144K	0	22.4K	113.2K	191.8K	359.8K	593.8K	885.2K	1244K	1544K	1844K	2144K	2444K	2744K	3044K	3344K	3644K	3944K	4244K	4544K	4844K	5144K	5444K	5744K	6044K	

Stratégie sous contrainte budgétaire de 160 kEuros/an

### Comparaison des résultats :

Pour cette analyse, les deux graphiques ci-dessous donnent une visualisation des enjeux économiques des deux stratégies de gestion de la dette grise (nommé ci-dessous pénalité) et des OPEX maintenance qui en résultent :



Comparaisons des projections de coûts des deux stratégies

Ce cas repose sur l'utilisation d'un outil de simulation basée sur l'aide à la décision basée sur une approche risques/coûts : **ASSETSVALUE**

## EVALUATION DU RISQUE DE LA DECISION

### Évaluer le dette grise

Les représentations, ci-dessus, font ressortir l'impact des contraintes budgétaires sur la projection des besoins d'investissements et notamment par la représentation de la dette grise (pénalités).

Cette dette grise (cumul des pénalités de chaque besoin) est une traduction économique du risque de ne pas pouvoir réaliser les investissements au moment opportun.

## ELEMENTS DE DISCUSSION

### La maintenance ne peut pas tout faire

Un classement des équipements selon leur état permet de séparer ceux pour lesquels la maintenance permet de rétablir la performance à des coûts raisonnables et ceux pour lesquels elle essaye d'agir pour des équipements en fin de vie ; c'est-à-dire ayant une efficacité très relative au regard des actions faites et les coûts associés pour rétablir la performance.

L'expérience montre que les acteurs du monde industriel et des infrastructures essaient encore trop souvent de rétablir des performances avec des OPEX (avec des budgets annuels) alors que seule une action de renouvellement/rénovation complète semble efficace au regard des performances technico-économiques attendues.

Il peut s'agir d'un défaut de gouvernance ; c'est-à-dire un regard global du maintien de la performance essentiellement centrée sur les acteurs du monde technique et ceux de la finance.

### La rentabilité des industries versus la pérennité des infrastructures

Deux modèles complètement différents sont à prendre en compte pour garantir le maintien d'une création de valeur. En effet d'un côté, la recherche constante de compétitivité tend à prendre des décisions visant à faire croître la rentabilité de l'entreprise et donc favorisant des décisions sur le court terme et d'un autre côté garantir la pérennité d'une infrastructure sur le très long terme visant à assurer la satisfaction de la qualité de service à tout le plus faible possible bien évidemment.

## CONCLUSION

Cette communication visait, à travers mes mots, à donner une vision des différents enjeux liés à la maîtrise de la pérennité des infrastructures en France et de donner une piste de réflexion à la fois innovante et pragmatique de la démarche mise en œuvre pour construire les scénarios de renouvellement/rénovation de celles-ci.

Les besoins sont immenses au regard des enjeux économiques et le contexte actuel nécessite de disposer des éléments de décision à deux vitesses.

A moyen terme, il semble évident que les démarches de projection de ces besoins de renouvellement/rénovation doivent prendre en compte les dimensions économiques et les contraintes sous-jacentes mais également la matérialisation de l'exposition au risque de faire ou de reporter.

A long terme, la discipline doit mettre à disposition des modèles permettant de donner de la visibilité à long terme, c'est-à-dire se poser la question de la dégradation des équipements dont les cinétiques de dégradation sont extrêmement lentes et pour lesquels la seule interrogation des experts ou le traitement de base de données ne peut y répondre que partiellement.

La perspective de donner de la visibilité des enjeux économiques sur le long terme (nous parlons ici des besoins financiers pour le maintien du patrimoine) est la base de la construction des planifications stratégiques. Cette perspective est un levier d'amélioration important pour donner des éléments de décisions d'une stratégie globale incluant les besoins multiples ; répondre au besoin de développement économique, à la transition énergétique, à la transition écologique, aux enjeux du climat....

« On ne peut pas tout faire à la fois. Gouverner, c'est choisir, si difficiles que soient les choix. **(Pierre Mendès-France)** »

## BIBLIOGRAPHIE

### (1) Références du contexte :

- Rapports annuels des concessionnaires
- Données gouvernementales sur les budgets d'investissement
- Études sectorielles sur les infrastructures publiées par des institutions spécialisées
- Publications académiques sur le financement des infrastructures et la gestion des risques

 \_p\_Gestion patrimoniale des réseaux d'eau potable et d'assainissement \_ les apports des guides Astee\_\_p\_.pdf

 Créteil lance un plan pluriannuel d'investissement de 106 millions d'euros.pdf

 Les outils de planification locale dans le contexte de la transition énergétique.pdf

### (2) Références techniques

 00 Bayesian estimation for parameters and reliability characteristic of the Weibull Rayleigh distribution.pdf

 00 Estimation of constant-stress accelerated life test for Weibull distribution with nonconstant shape parameter.pdf

 00 fitting the three-parameter Weibull distribution with Cross Entropy.pdf

 00 Progressive stress accelerated life test for inverse Weibull failure model\_A parametric inference.pdf

 Estimation of the reliability parameter for three-parameter.pdf