

Sommaire

Les approches en coût global et leurs enjeux	11	2.4	Les coûts des travaux d'amélioration.....	49
1. Définitions et approches en coût global	11	2.5	Les coûts de gestion.....	49
1.1 Les concepts de base	11	2.6	Les coûts de déconstruction ou la valeur résiduelle	49
1.2 Exemples d'approches en coût global	15	3.	Champ d'application du coût global élargi ..	50
2. Références complémentaires associées au coût global.....	18	3.1	Le coût initial élargi.....	50
2.1 Arrêté du 18 décembre 2007 sur les approvisionnements en énergie.....	18	3.2	Les coûts/économies différés élargis	50
2.2 La valeur verte	22	4.	Champ d'application du coût global partagé	51
3. Le coût global du cycle de vie, une opportunité encore difficile à saisir	26	4.1	Les externalités.....	51
4. Le poids économique de l'exploitation d'un bâtiment	27	4.2	Le coût initial partagé.....	52
		4.3	Les coûts différés partagés	52
Prendre en compte le coût global	31	Mise en œuvre du coût global dans un projet	57	
1. Utilisation du CG.....	31	1.	Les fondamentaux de la connaissance, les trois A (architecture, aléas, analyse documentée).....	57
1.1 L'optimisation des choix (analyse économique)	32	1.1	Architecture : empirisme et vision.....	58
1.2 La prévision des coûts (analyse financière)...	35	1.2	Aléas : la maîtrise de l'incertitude	59
1.3 Le coût global pendant le projet.....	36	1.3	Analyse documentée : principes d'arbitrage et indicateurs	60
2. Les facteurs de succès d'une conduite de projet en CG	37	2.	Mise en œuvre en opération	61
2.1 Engagement du maître d'ouvrage et de sa hiérarchie	37	2.1	Un processus itératif et continu.....	61
2.2 L'implication des parties prenantes.....	38	2.2	Le raisonnement en coût global en phase pré-opérationnelle	61
2.3 Les modalités de pilotage du projet	38	2.3	La phase programmation.....	63
2.4 L'organisation à mettre en place et l'intégration du CG dans la gestion du projet	38	2.4	La phase de conception.....	65
2.5 La connaissance de la démarche	39	2.5	Les travaux.....	67
2.6 La qualité et la disponibilité des données ...	39	2.6	La phase d'exploitation-maintenance	67
2.7 La maîtrise des méthodes et des outils.....	40	L'estimation du coût global	71	
Les composantes du coût global.....	43	1.	Méthodologie	71
1. Le coût initial élémentaire	43	1.1	Le besoin.....	72
1.1 La charge foncière	44	1.2	Le périmètre du projet	72
1.2 Les travaux.....	45	1.3	L'élaboration des scénarios	72
1.3 Études et accompagnement	46	1.4	La structure de coût global	73
1.4 Mobilier et équipements spécialisés	46	1.5	Les données.....	73
1.5 Financement et frais annexes.....	46	1.6	L'analyse de risques	74
2. Les coûts différés élémentaires	47	2.	Les méthodes de calcul	74
2.1 Les coûts d'exploitation	48	2.1	Les sources de données	74
2.2 Les coûts de maintenance courante.....	48	2.2	L'estimation par analogie.....	76
2.3 Les coûts de gros entretien, renouvellement	49	2.3	Les méthodes paramétriques.....	77
		2.4	L'approche analytique.....	78
		2.5	La simulation de Monte Carlo	80
		2.6	La simulation événementielle	82

2.3	Somme de plusieurs variables continues indépendantes	171	2.3	Obsolescence du système ou de certains de ses composants	187
3.	Exemples de lois discrètes	172	2.4	Dommages et dégradation	187
3.1	Loi de Bernoulli	172	2.5	Estimation des coûts d'exploitation et de maintenance	188
3.2	Loi binaire	172	2.6	Renégociation de contrats de location ou de soutien	188
3.3	Loi binomiale $B(n, p)$	173	2.7	Retard de renouvellement de contrats de location ou de soutien	188
3.4	Loi de Poisson $P(\lambda)$	173	2.8	Réversibilité de tout ou partie des prestations	189
3.5	Loi empirique ou non paramétrique	174	2.9	Valeur résiduelle des installations et équipements	189
4.	Exemples de lois continues	174	3.	Risques transverses (programme, conception, travaux, exploitation/maintenance)	189
4.1	Loi uniforme sur $[a ; b]$	174	3.1	Évolution des besoins du maître d'ouvrage	189
4.2	Loi triangulaire	174	3.2	Évolutions proposées par l'attributaire	190
4.3	Loi exponentielle de paramètre λ	175	3.3	Interface entre intervenants sur le projet	191
4.4	Loi Normale (ou de Laplace-Gauss)	175	3.4	Interface avec les projets connexes	191
	Liste générique de risques	179	3.5	Sûreté et sécurité	192
1.	Risques afférents à la conception/réalisation	179	3.6	Non-respect d'engagements contractuels d'ordre technique	192
1.1	Mauvaise définition des besoins et/ou des spécifications par le maître d'ouvrage ..	179	3.7	Non-respect des engagements de la maîtrise d'ouvrage	192
1.2	Mauvaise appréciation des besoins et/ou des spécifications par l'attributaire du contrat	180	4.	Risques économiques et financiers	193
1.3	Désaccord sur l'état de l'existant avant la reprise par l'attributaire du contrat	180	4.1	Écart entre inflation réelle et indices retenus pour les révisions de prix	193
1.4	Défaillance de l'existant repris par l'attributaire, y compris vices cachés	181	4.2	Risques de taux	193
1.5	Pollution	181	4.3	Couverture	194
1.6	Problèmes de construction liés à l'état du sol et du sous-sol	182	4.4	Modification de la réglementation fiscale ..	194
1.7	Mise à disposition par le maître d'ouvrage des équipements et installations nécessaires	182	4.5	Variation des coûts d'assurances	194
1.8	Risques technologiques	183	4.6	Disponibilité budgétaire ou financière	195
1.9	Dommages occasionnés lors des activités des travaux	183	4.7	Évolutions économiques, financières et fiscales avant la notification	195
1.10	Compatibilité entre les installations et/ou équipements	183	5.	Risques juridiques, contractuels, réglementaires et administratifs	196
1.11	Estimation des coûts de conception et construction	184	5.1	Retard de notification du marché	196
1.12	Estimation des délais (programme, conception, travaux)	184	5.2	Difficultés dans l'obtention des autorisations administratives requises	196
1.13	Conception/réalisation présentant des défauts ou des faiblesses	185	5.3	Modifications législatives, réglementaires ou normatives non spécifiques au secteur concerné	197
2.	Risques afférents à l'exploitation/maintenance	186	5.4	Modifications législatives, réglementaires ou normatives spécifiques au secteur concerné	197
2.1	Non-atteinte des performances contractuelles	186	5.5	Contentieux juridique	197
2.2	Disponibilité	186	5.6	Non-respect des engagements de confidentialité	198

5.7	Défaillance du constructeur ou de sous-traitants en conception/réalisation.....	198
5.8	Défaillance du contractant privé ou de sous-traitants en phase d'exploitation.....	199
5.9	Résiliation du fait de la personne publique...	199
5.10	Résiliation pour motif d'intérêt général ou force majeure.....	199
5.11	Résiliation pour faute du titulaire	200
6.	Autres risques	200
6.1	Risques météorologiques et climatiques ...	200
6.2	Catastrophes naturelles.....	200
6.3	Incendie.....	201
6.4	Grève	201
6.5	Force majeure et autres risques non assurables	201
	Modèles paramétriques	205
1.	Construction d'un modèle	205
2.	Amélioration du modèle	206
3.	Recherche d'un autre modèle	207
4.	Utilisation du modèle pour la prévision.....	207
	Sigles et abréviations.....	209

Les composantes du coût global

Le coût global d'un bâtiment est défini à partir des composantes suivantes : les études, la conception, la construction, l'exploitation (dont fluides et énergie), la maintenance (dont gros entretien, renouvellement), la fin de vie, les recettes éventuelles, les intangibles tels que la qualité d'usage ou l'image et les externalités. Ces composantes permettent d'aboutir à plusieurs définitions du coût global (CG). Le CG élémentaire regroupe l'ensemble des coûts/bénéfices immobiliers portés par le propriétaire ou l'utilisateur. En y ajoutant les intangibles tels que l'image ou la productivité des utilisateurs, on obtient le CG élargi qui s'étend au CG partagé lorsqu'on inclut les externalités (impact sur l'environnement).

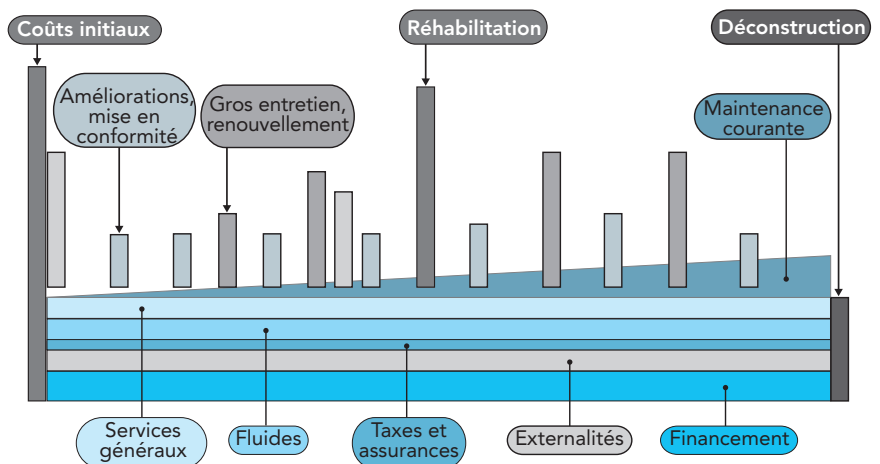


Figure 1 : Coûts immobiliers constatés sur le cycle de vie

1. Le coût initial élémentaire

Pour établir le coût initial d'un projet immobilier, il convient de prendre en compte la réalisation des travaux ainsi que les coûts d'approche (études, accompagnement et financement) et la charge foncière. Les différents postes du coût initial élémentaire sont les suivants :

- la charge foncière ;
- les travaux ;
- les missions d'études et d'accompagnement ;
- le coût du mobilier et des équipements spécialisés ;
- le financement et les frais divers.

Les travaux ne représentent d'ailleurs parfois que 50 % de l'enveloppe financière hors foncier d'un projet.

Questionnements coût global en phase programme

Les orientations globales dans lesquelles s'inscrit le projet (efficacité environnementale, confort vert, maintenance, etc.) sont-elles chiffrables ?

Les composants et les ouvrages devant faire l'objet d'un calcul en coût global sont-ils précisés ?

Les contraintes et opportunités de l'opération sont-elles suffisamment explicites pour être traduites par l'équipe de maîtrise d'œuvre ?

La complexité de l'exploitation des installations en regard des exigences de qualité de service et de sensibilité de l'activité est-elle explorée dans le programme ?

Les niveaux de qualité de service sont-ils explicités, spécifiés de manière objective et mesurable au moyen d'indicateurs (confort, rendement de surface, qualité d'exploitation et de maintenance, unité d'œuvre fonctionnelle, flexibilité, accessibilité, etc.) ?

Les scénarios d'occupation indiquent-ils la capacité et le taux d'occupation attendus, les horaires et les modes de fonctionnement ? Les secteurs d'usage homogènes sont-ils identifiés afin d'en estimer le coût d'exploitation ?

Un programme de surface détaille-t-il le nombre, la distribution et le dimensionnement des locaux (différenciation des accès, des flux et des parcours des différentes familles d'utilisateurs) ?

Les locaux sont-ils hiérarchisés suivant les niveaux de qualité de prestations de service (nettoyage, fréquence des réfections, etc.) ?

Les espaces et les composants sont-ils traités sous l'angle des risques spécifiques (par exemple surutilisation, vandalisme, etc.) ?

Les contraintes de disponibilité des équipements (marche normale, fonctionnement dégradé, etc.) sont-elles analysées ?

Au cours de la programmation :

- les scénarios envisagés initialement ont été précisés et détaillés. Par exemple, les estimations de coût global ont été utilisées pour aider le maître d'ouvrage à exprimer ses exigences en matière d'exploitation et de maintenance. Les études de coûts ont éventuellement permis de proposer d'autres options permettant de compléter ou de modifier les scénarios ;
- les données ont été enrichies, en volume et en qualité ;
- des méthodes de calcul adaptées aux nouvelles données ont éventuellement été mises en œuvre ;
- les analyses de risques ont permis d'identifier les points sensibles, et d'en valoriser les impacts potentiels.

À l'issue de la programmation, un nouveau cadrage du coût global est réalisé pour le (ou les) scénario(s) retenu(s). Ce coût global, auquel est associée une marge raisonnable, constitue un objectif pour la suite du projet.

Exemples de coûts annuels d'exploitation/maintenance par unité fonctionnelle

Bâtiment de santé

Coût annuel moyen d'exploitation/maintenance d'un lit de médecine, chirurgie, obstétrique : 9 300 € HT.

Coût annuel moyen d'exploitation/maintenance d'un lit de soin de suite et réadaptation : 4 580 € HT.

Bâtiment d'enseignement

Coût annuel moyen d'exploitation/maintenance d'une classe de collège : 17 600 € HT.

Bâtiment de bureaux haute fonctionnalité technique

Coût annuel moyen d'exploitation/maintenance du poste de travail : 1 952 € HT.

5. Comparaison entre deux politiques de maintenance

Ce cas, qui porte sur la comparaison entre deux politiques de maintenance préventive d'une installation de chauffage, a pour objet d'illustrer plusieurs points présentés dans le guide, en particulier :

- l'approche analytique pour estimer les coûts de maintenance ;
- les notions de durée de vie, de remplacement et de valeur résiduelle ;
- l'impact de la maintenance préventive sur les caractéristiques (durée de vie, fiabilité, etc.) des systèmes ;
- la simulation événementielle ;
- la prise en compte des risques ;
- l'actualisation.

5.1 Présentation du cas

Le système étudié est identique à celui qui est utilisé pour aborder la modélisation de la maintenance. Seuls quelques rappels sont faits ici ainsi que la présentation de données complémentaires.

La chaudière à condensation et ventilo-convecteurs (CVC) constitue l'élément principal (EP). Il est décomposé en 10 éléments secondaires (ES).

Liste des 10 éléments secondaires de l'élément principal CVC :

PDC	Production de chaleur	RGV	Régulation ventilation
REC	Réseau d'eau chaude	AIN	Air neuf
CAL	Calorifugeage	ELE	Électricité
VEC	Ventilo-convecteur	RAC	Rideau d'air chaud
RGE	Régulation eau chaude	VMC	VMC sanitaires

Les éléments secondaires sont considérés en série, c'est-à-dire que la défaillance de l'un d'eux génère une défaillance de l'élément principal ou un mode dégradé s'il n'est pas essentiel.

5.1.1 Les scénarios

Tableau 27 : Calendrier

	Début	Durée
Période d'étude	01/01/2013	180 mois, soit 15 ans
Les études	01/01/2013	1 mois
Les travaux	01/02/2013	4 mois
La mise en service	01/06/2013	Jusqu'à la fin de la période d'étude

Le coût global est limité aux rubriques suivantes : les investissements et frais financiers, l'énergie (gaz et électricité), la maintenance préventive (ou planifiée), la maintenance curative (ou corrective), les remplacements pour fin de vie, la valeur résiduelle et les risques de toutes natures.

Les investissements couvrent les études, les travaux et la mise en service. Par hypothèse, 50 % des investissements sont financés sur fonds propres et le reste par de la dette (durée d'emprunt 33 mois). Les paiements, mensuels, sont couverts par des tirages intermédiaires, l'emprunt débutant à la date de mise en service.

Le système de chauffage fonctionne 50 semaines x 6 jours x 10 heures.

Deux politiques de maintenance préventive sont envisagées. Le scénario S1 correspond à une maintenance préventive renforcée alors que S2 repose sur une maintenance préventive réduite au minimum. Les investissements étant identiques dans les deux scénarios, ils sont sans effet sur la comparaison. Ils sont cependant pris en compte afin d'obtenir une estimation du coût global de l'installation de chauffage. L'étude a donc deux finalités : choisir entre deux politiques de maintenance et fournir une estimation du coût global de la meilleure solution.

5.1.2 Les données

A. L'élément principal (EP)

Les coûts correspondant à l'installation de chauffage sont définis dans le tableau 28. Le coût des travaux, qui inclut les pièces et la main d'œuvre, est estimé à 130 k€ avec une incertitude définie par les valeurs Min et Max.

Tableau 28 : Les données de l'élément principal

	Loi	Min	Ref	Max
Études (k€)	cte		5	
Travaux (k€)	tri	120	130	150
Mise en service (k€)	cte		1,5	
Abonnement (€/an)	cte		850	
Consommation gaz (€/an) S1	uni	2 120	2 120	2 332
Consommation gaz (€/an) S2	uni	2 120	2 120	3 816
Électricité (€/an)	cte		715	

Loi
 Ligne cte : la valeur est une constante. Il n'y a pas d'incertitude.
 Ligne uni : loi uniforme
 Ligne tri : loi triangulaire

La consommation en gaz estimée à 2 120 €/an peut varier de +10 % dans S1 et de +80 % dans S2 du fait du moins bon entretien préventif. Dans les deux cas, des lois uniformes sont retenues.

B. Les éléments secondaires (ES)

Certaines données ont déjà été définies :

- PU : prix unitaire en k€ ;
- Proba : probabilité qu'il y ait une panne (ou plus) par an. Cette donnée permet de calculer le nombre moyen de pannes par an (Lda/an) ;
- Dvie : durée de vie en années.

Deux données complémentaires sont ici prises en compte. Il s'agit de l'essentialité de chaque ES et du (ou des) risque(s) d'incident pouvant survenir en cas de panne de l'élément :

- tous les ES sont essentiels (Ess = 100 %), c'est-à-dire que la panne d'un élément se traduit par une panne de l'installation de chauffage. Cette information est utilisée pour calculer la disponibilité de l'installation ;
- certaines pannes peuvent occasionner des incidents ou des accidents causant des dommages sur les biens ou les personnes. Ces événements sont définis dans le paragraphe décrivant les risques.

D'autres données ne sont pas renseignées ici car elles sont sans objet dans l'analyse : il s'agit du nombre d'exemplaires de chaque élément,

5.2 Résultats pour le scénario 1

5.2.1 Échéancier des coûts

L'échéancier des coûts moyens calculé par le modèle pour le scénario S1 est présenté tableau 32.

Tableau 32 : Échéancier des coûts moyens pour le scénario S1

		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Investissements	140	139,9														
Fond propres	70	69,9														
Annuités	73	13,3	26,7	26,7	6,7											
CVC																
Études	5,0	5														
Travaux	133,4	133,4														
Mise en service	1,5	1,5														
Coûts d'exploitation	55	2,2	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Abonnement	12	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Consommation gaz	32	1,3	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Électricité	10	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Maintenance planifiée	64		4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55
Externe	64		4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55
Personnel																
Recharges																
Consommables,annexes																
Maintenance curative	114	4,41	7,62	7,63	7,62	7,63	7,63	7,62	7,64	7,63	7,64	10,63	7,65	7,56	7,64	7,68
Externe	114	4,4	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	10,6	7,7	7,6	7,6	7,7
Personnel																
Recharges																
Consommables,annexes																
Risques	12,01	0,3	0,54	0,54	0,54	0,57	0,55	0,53	1,56	2,56	1,56	0,53	0,56	0,56	0,56	0,54
Valeur résiduelle	38															37,7
Coût global moyen € constants																
Sans risque	338,8	89,9	42,6	42,6	22,6	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	19,0	16,0	15,9	16,0	-21,7
Avec risques	350,8	90,2	43,2	43,2	23,2	16,5	16,5	16,5	17,5	18,5	17,5	19,5	16,5	16,5	16,5	-21,1
Coût global moyen € courants																
Sans risque	364,1	89,9	42,9	43,3	23,6	17,3	17,6	18,0	18,4	18,7	19,1	23,1	19,9	20,2	20,7	-28,6
Avec risques	378,0	90,2	43,5	43,8	24,2	17,9	18,2	18,6	20,1	21,7	21,0	23,8	20,6	20,9	21,4	-27,9

- Le financement (fonds propres + annuités) est supérieur aux investissements car il inclut les intérêts d'emprunt (50 % des investissements sont financés par la dette).
- Dans les coûts d'exploitation, la consommation annuelle moyenne de gaz est égale à 2,2 k€. C'est la valeur moyenne de la loi uniforme [2,12 ; 2,33].
- Les maintenances étant externalisées, seuls les postes « Externe » sont renseignés. La maintenance curative inclut en 2023 le remplacement pour fin de vie de l'élément CAL qui vaut 3 k€.
- Les risques d'obsolescence, dont la valeur moyenne est égale à 4 k€, sont répartis sur les années 2020 à 2022. À noter que la valeur moyenne du risque de valeur résiduelle pour S1 est égale à zéro.
- La valeur résiduelle, calculée à partir des durées de vie résiduelles en fin de projet, est imputée à l'année 2027. Elle intervient en négatif dans le calcul du coût global.
- La dernière partie du tableau présente les échéanciers en euros courants.

5.2.2 Les coûts de maintenance

La figure 9 montre la répartition du coût moyen annuel de maintenance préventive (64 k€) et curative (114 k€). Le code maintenance est construit en ajoutant « p » (préventive) ou « c » (curative) au code de l'élément. Sur 21 interventions de maintenance, les 9 premières représentent 77 % des coûts. Cette analyse des résultats permet d'identifier les éléments les plus pénalisants pour les coûts de maintenance, ce qui peut amener à orienter les choix vers des éléments plus fiables ou plus faciles à maintenir.

Les valeurs présentées dans l'échéancier tableau 32 sont des coûts moyens obtenus en effectuant 50 000 tours de simulation. En fait, le coût de la maintenance curative au cours de la période étudiée dépend du nombre de pannes qui surviennent au cours de cette période, qui peut varier d'une simulation à l'autre. Le coût de maintenance curative est donc défini par la distribution de probabilité présentée sur la figure 10. Le coût moyen est égal à 114 k€ et la VaR à 148,4 k€ (dans 95 % des cas, le coût de curatif est inférieur à la VaR).

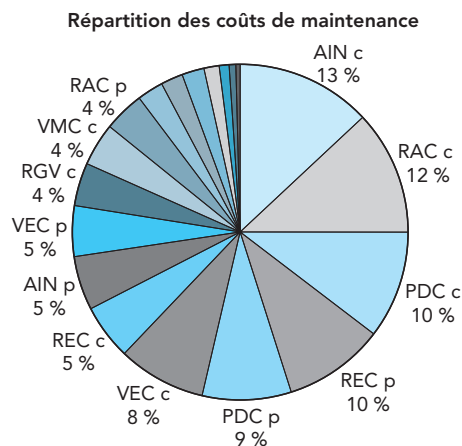


Figure 9 : Répartition du coût moyen annuel de maintenance préventive et curative

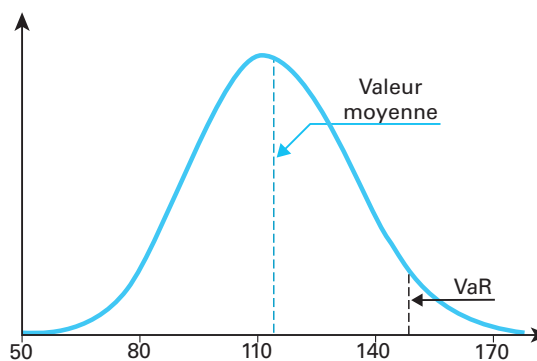


Figure 10 : Distribution de probabilité du coût de maintenance curative