

Chapitre 2 :
ANALYSE DES COUTS DE MAINTENANCE

2.1 Introduction :

Les coûts de maintenance représentent l'ensemble des dépenses engagées pour maintenir en état de fonctionnement un système complexe. Bien souvent ils sont associés à des exigences de fonctionnement en termes de sécurité, de fiabilité ou encore de disponibilité.

Les coûts de maintenance représentent un poste de dépenses important et bien visible. Le fait que la maintenance, bien que génératrice de dépenses, soit en même temps un gisement de productivité devient de plus en plus un fait établi, mais moins visible.

En effet, certains coûts, conséquences d'une maintenance insuffisamment performante, s'évaporent de la comptabilité analytique, mais se retrouvent inexorablement dans les coûts de production.

L'analyse des coûts permet de :

- Suivre les dépenses et de respecter le budget,
- Vérifier l'efficacité de la maintenance (suivi de ratios),
- Renouveler des coûts de maintenance :

2.2 Importance de l'analyse des coûts :

2.2.1 Les coûts de maintenance entrent dans le prix de revient des produits fabriqués :

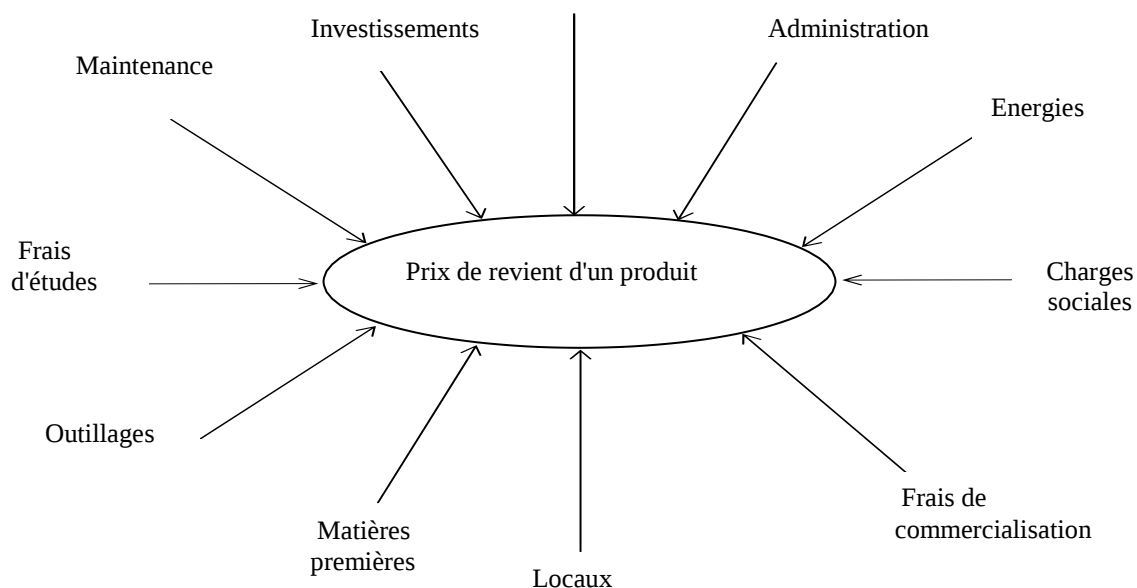


Figure 2.1 : Prix de revient d'un produit

Les actions menées au sein du service maintenance afin de diminuer les coûts permettent d'augmenter la marge bénéficiaire de l'entreprise.

2.2.2 L'analyse des coûts est un outil de gestion essentiel :

En effet l'analyse des coûts permet au responsable de la politique de maintenance d'effectuer des choix cruciaux du type :

- Budget annuel
- Suivi des dépenses en accord avec le budget
- Vérifier l'efficacité des actions de maintenance.
- Décider d'une intervention de la part d'une sous-traitance
- renouvellement du matériel :
 - Remplacement à l'identique ou non
 - Remise à niveau
 - reconstruction

Il est évident que les critères de choix ne seront pas uniquement économiques, ils seront aussi technologiques.

L'outil de gestion mettra en œuvre des « ratios » , permettant la création d'un « tableau de bord » de gestion.

2.2.3 Estimation des coûts de maintenance :

Il est évident que les coûts abordés aux méthodes de maintenance n'auront pas la précision et la même importance que pour le service comptabilité.

Ils seront estimés par :

- les agents de maîtrise,
- au bureau des méthodes,
- à partir d'éléments collectés jour après jour sur les documents internes (OT etc...)

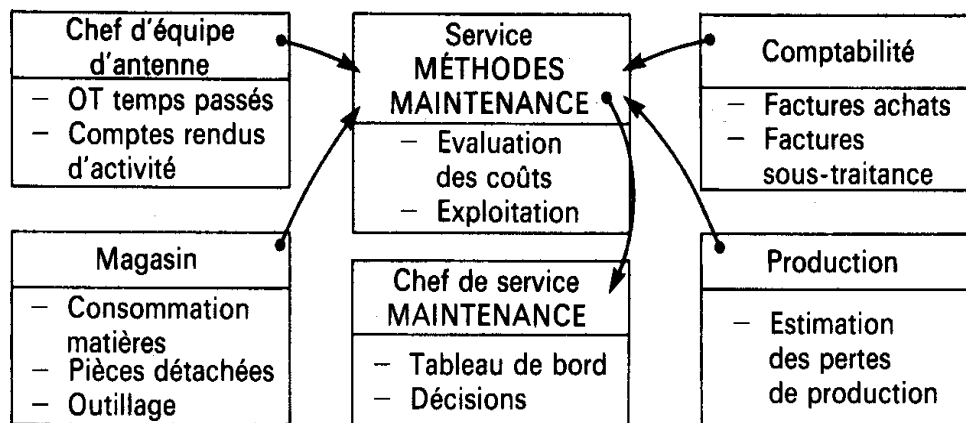


Figure 2.2 : Estimation des coûts de maintenance

2.2.4 Exploitation des coûts :

L'exploitation de l'analyse des coûts peut être ventilée :

- par corps de métiers,
- par secteurs ou chaînes de productions,
- par types de matériels,
- par nature des coûts (correctif, préventif, révisions etc...).

- Remarques :

Afin de rester compétitives, les entreprises réduisent de plus en plus le délai de retour sur investissement

- **Exemple** : la S.N.C.F. et la R.A.T.P. ont passé la période d'amortissement de 40 à 10 ans.

Plus les délais d'amortissement sont courts plus les taux d'amortissements ramenés à l'unité de production sont élevés

Exemple : le coût d'arrêt de production sur une chaîne automobile = 18000 €/minute

2.3 Les coûts directs de maintenance :

Notations : Les dépenses directes de maintenance sont notées D_M

Les coûts directs de maintenance sont notés C_M ou parfois p dans le cas d'une intervention.

2.3.1 Coûts de main-d'œuvre :

C'est le produit du « temps passé » x taux horaire.

-**Temps passés** : ils sont normalement saisis sur les BT honnêtement complétés, ou fournis par les chefs d'équipes.

Taux horaires : ils sont fournis par le service « comptable », Relatifs à une qualification professionnelle (ex : OP3), ils intègrent, outre le salaire horaire, l'ensemble des charges sociales.

Ces taux varient de 23 € à 66 €/h pour les techniciens d'intervention, suivant la politique de l'entreprise.

- Il ne faut pas confondre « coût horaire » et « salaire horaire ».

2.3.2 Frais généraux du service maintenance :

Ce sont des frais **fixes** du service de maintenance, calculés au mois et ramenés à l'heure d'activité (parfois estimés en % de D_M)

Ils se composent des :

- appointements des cadres, employés de bureau...
- loyers, assurances, impôts direct...
- frais de chauffage, éclairage, téléphone, véhicules de services...

2.3.3 Coûts de possession des stocks, des outillages des machines :

Ces coûts sont caractérisés par :

- Un taux d'amortissement.
- Une évaluation des pertes et dépréciations dues au stockage.
- Frais de magasinage

2.3.4 Consommation de matières, de fournitures, de produits :

Coût d'achat + frais de transport + coût de passation de commande

Il faut faire attention à l'actualisation des prix de certains consommables, en stock depuis plusieurs années !

2.3.5 Coûts des contrats de maintenance :

ils sont soit estimés soit établis par lecture des factures :

- Clauses économiques (coût moyen forfaitaire) permettent l'estimation révisionnelle de ces coûts directs.
- Les factures du ou des prestataires permettent la saisie

2.3.6 Coûts des contrats des travaux sous-traités :

Ils sont saisis sur les factures des prestataires et l'on peut majorer ces frais par un coefficient de « participation du service »: renseignements, prêts de matériels, contrôles...

Synthèse :

Comment calcule-t-on D_M , les dépenses directes d'entretien. c'est la somme des différents frais :

$$\begin{aligned}
 & D_{MO} && \text{dépenses de main-d'œuvre} \\
 + & D_F && \text{dépenses fixes du service entretien} \\
 + & D_C && \text{dépenses en consommables (matières et rechanges)} \\
 + & \underline{D_E} && \text{dépenses des marchés extérieurs} \\
 = & D_M
 \end{aligned}$$

Allure de la courbe du coût direct d'intervention (notée C_M): $C_M=f(TTR)$

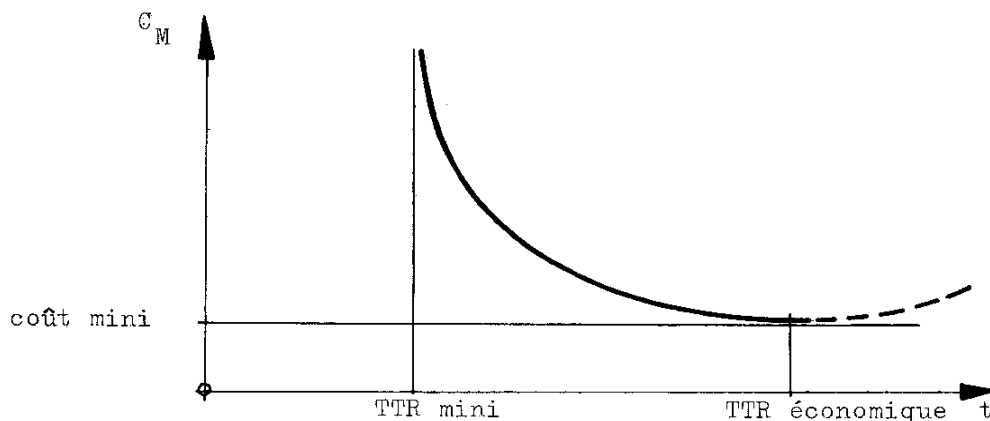


Figure 2.3 : courbe du cout direct d'intervention

Le coût des moyens mis en œuvre, tels que niveau de préparation, nombre et qualification des agents, logistique spéciale..., conditionne évidemment la durée d'intervention.

En fait, c'est l'analyse des contraintes, telles que le délai et les coûts indirects induits qui permettent le choix des moyens.

L'objectif possible du moindre coût entraîne l'utilisation des moyens banalisés disponibles, donc une durée d'intervention importante.

2.4 Les coûts indirects d'arrêt de production :

Notations : Les coûts indirects de maintenance sont des coûts de perte de production (non production) et sont notés C_P ou parfois P dans le cas d'une intervention.

On distinguera lorsque l'on définit le TA (temps d'arrêt production), les TA_M imputables à la maintenance, des TA_F imputables à la fabrication.

2.4.1 Coûts de perte de production : Il contient

- Coûts de perte des produits non fabriqués, des matières premières en cours de transformation, perte de qualité, perte des produits déclassés. Ces coûts sont à adapter au contexte industriel, et sont nommés « coûts de déclassements ».
- Coûts de main-d'œuvre (de fabrication) inoccupé.
- Coûts d'amortissement du matériel arrêté.
- Frais induits : délais non tenus (pénalités de retard, perte de clients, image de marque ternie...) et perte de qualité de fabrication.
- Frais de remise en route du processus de production.

2.4.2 Estimation des C_P :

Ils sont plus délicats à saisir que les coûts directs, car, par exemple, comment évaluer objectivement l'impact d'un arrêt fortuit de la production sur l'image de marque auprès des clients ?

Cependant ce coût peut être estimé :

Le produit des « **heures d'arrêt** » x « **taux horaire d'arrêt** »

Heures d'arrêt : TA ou TA_M suivant l'analyse faite.

Taux horaire d'arrêt : il doit intégrer tous les coûts précédents et se présente sous la forme :

τ = x francs/heure d'arrêt On peut l'estimer à partir de résultats antérieurs par :

$$\tau = \frac{\text{perte de production annuelle}}{\text{nombre d'heures de production}}$$

$$C_{\bar{P}} = \tau \cdot TA_M$$

Imputable à la maintenance

$$C_{\bar{P}} = \tau \cdot TA$$

Imputable à la fabrication et à la maintenance

Il est important pour un responsable maintenance, de pouvoir justifier, par la distinction ci-dessus, des pertes « non imputables à la maintenance »

2.5 Les coûts de défaillance :

2.5.1 Notation :

Ils sont notés C_D et ils représentent la somme des coûts directs et indirects attachés à une défaillance ou attachés à l'activité d'un service entretien.

$$C_D = D_M + C_{\bar{P}}$$

Pour une intervention corrective, on note le coût d'une défaillance

$$C_D = p + P$$

Une confusion se trouve souvent dans les articles entre le coût de défaillance et le coût de perte de production.

- Remarques :

Il est facile à un gestionnaire de savoir ce que coûte un service d'entretien.

Il lui est possible d'estimer ce que coûte une défaillance (C_D), mais il lui est plus difficile d'évaluer les coûts de défaillances évités !

Il faut avoir à l'esprit que des défaillances techniquement « mineures » peuvent avoir des conséquences économiquement « majeures » ou catastrophiques.

2.5.2 Calcul des coûts de défaillance :

Un bilan mensuel, relatif à un équipement donné, est possible, suivant le modèle de la page ci-après.

TABLEAU DE RECENSEMENT DES COÛTS DE DÉFAILLANCE

Machines	Nombre d'heures d'arrêt de production			Coûts d'arrêt de production	Coûts d'amortissement des machines	Coûts des produits déclassés	Coûts de main-d'œuvre maintenance	Coûts des rechanges et matières	Coûts indirects de perte de production	Coûts directs de maintenance	Coûts de défaillance	Ratio (tableau de bord)
Rep	TA	Taux horaires		Coûts indirects			Coûts directs		C _p	C _M	C _D	C _{M/C_D}
		d'arrêt	d'amortis.	C arrêt	C amortis.	C déclas.	C M.-d'œuv.	C Rechange				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Mois de Service MAINTENANCE								TOTAUX :				

Tableaux 2.1 : recensement des coûts de défaillance

2.5.3 Suivi d'un matériel :

Voici un exemple de graphe d'évolution du suivi des coûts de défaillance :

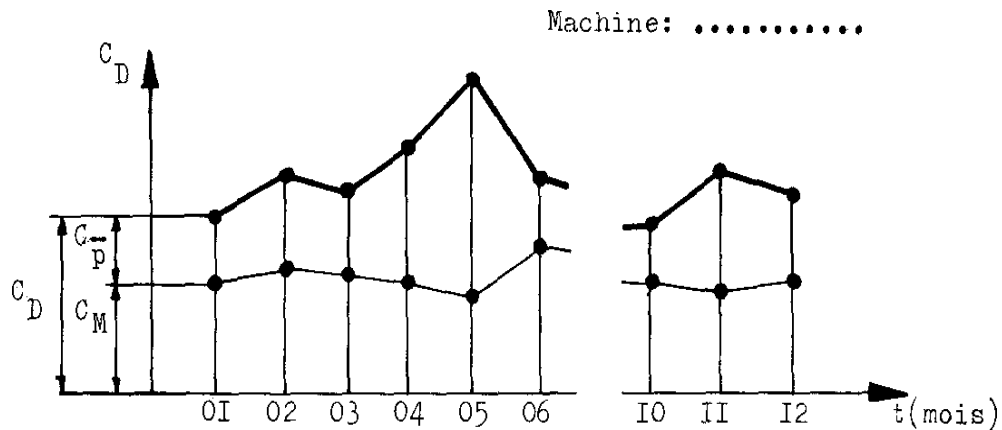


Figure 2.4 : évolution du suivi de défaillance

L'analyse des « écarts » permettra de gérer les corrections à apporter.

2.5.4 Optimisation des C_D :

D_M et C_P évoluent de façon inverse : on doit espérer que l'augmentation des dépenses de maintenance à pour effet la diminution des temps d'arrêts fortuits...

Il est donc possible de détecter un « niveau d'entretien » optimisant les coûts de défaillance d'un équipement.

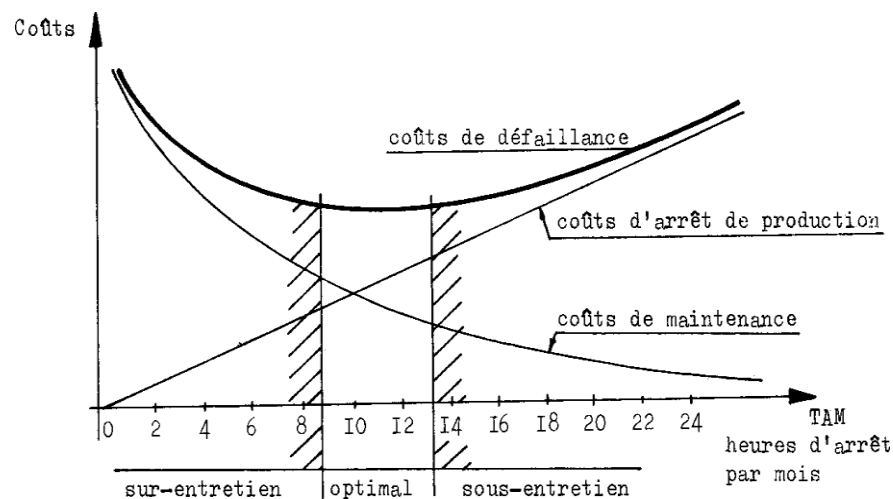


Figure 2.5 : optimisation des couts de défaillance d'un produit

Dans cet exemple, l'analyse des CD montre que la politique de maintenance à mettre en œuvre doit maîtriser les temps d'arrêts de façon que : $8h < TA < 11h$

Si un objectif prioritaire de « disponibilité » impose des TA plus faibles, ce sera au détriment de l'objectif économique.

2.6 les coûts de possession d'un matériel :

Noté habituellement Lcc car venant de l'anglais (life cycle cost).

2.6.1 constitution du Lcc :

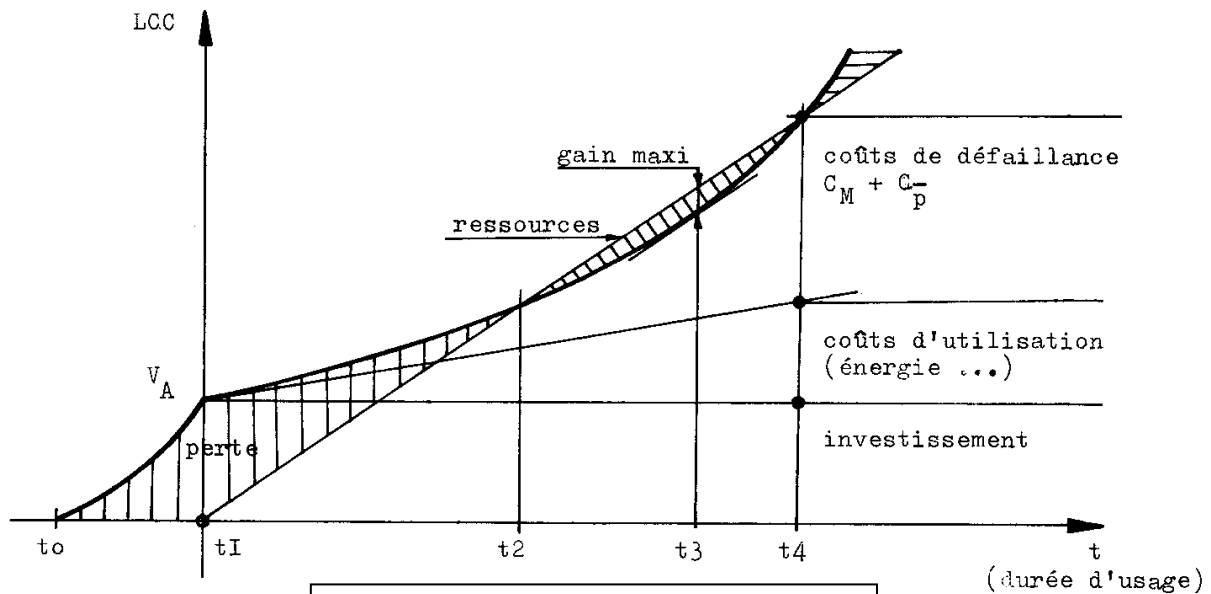


Figure 2.6 : constitution du LCC

t0: date de décision d'achat

t4: arrêt de la maintenance au-delà, survie coûteuse

t1: date de mise en service

(t2, t4): zone de rentabilité de l'équipement

t2: date d'amortissement

t3: période optimale économique

2.6.2 intérêt du Lcc :

Le Lcc visualise le déroulement de tous les événements économiques survenant au long des heures cumulées de service d'un matériel.

C'est un bon outil de gestion, à condition d'avoir un système de saisie « analytique » des coûts, et de les actualiser.

- recettes : faciles à connaître si le service rendu est facturé, plus difficiles dans les autres cas.
- dépenses ; les coûts d'exploitation sont supposés linéaires par rapport au temps, à l'exemple des consommations d'énergie. les coûts de défaillances sont dépendants du temps, car dépendants de la « défiabilité »

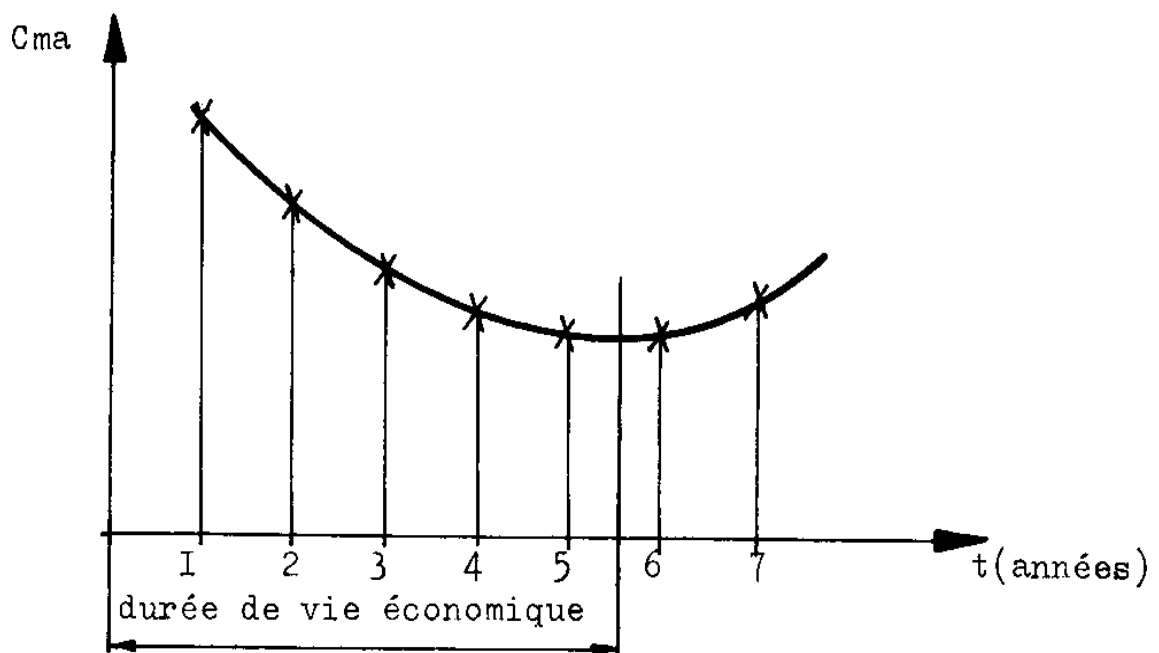
2.7 Les coûts moyens annuels de maintenance (d'un matériel) :

2.7.1 Notation Cma :

Ou plus généralement notés Cmu: coûts moyens par unité d'usage.

Ils permettent de détecter de façon simple la durée optimale d'exploitation d'un Matériel, donc le moment de cessation des actions de maintenance préventive, ou le Moment de remplacement.

En effet, la courbe $Cma = f(t)$ passe par un minimum correspondant à la « durée de vie économique



2.7.2 Calcul des Cma :

A tout instant un équipement possède :

- une valeur d'investissement, notée VA (étude + achat + installation);
- un cumul des coûts de défaillance ΣCD ;
- une éventuelle valeur de revente, notée RV (offre de demande).

Le coût moyen annuel, la $n^{\text{ième}}$ année, est donné par:

$$Cma(n) = \frac{VA + \sum_1^n CD - RV}{N}$$

Si une rénovation est faite sur le matériel, l'expression devient :

$$Cmf(n) = \frac{P \text{ achat} + \text{Entretien cumulé} + C \text{ rénovation} - Re \text{ vente}}{N}$$

2.7.3 Coût moyen annuel de fonctionnement :

On le notera **Cmf**. Il prend en compte le cumul des frais d'exploitation **DF** (énergies Consommées, par exemple), la somme représentant le coût de **possession** de L'équipement.

$$Cmf(n) = Cma(n) + \frac{\sum_1^n DF}{N} = \frac{VA + \sum_1^n CD + \sum_1^n DF - RV}{N}$$

En fait, dans l'optique de la recherche de la période de remplacement, ce terme supplémentaire est inutile dans la mesure où il est constant dans le temps.

$$\frac{\sum_1^n DF}{N} \quad \text{si} \quad DF = Cst. \frac{NDF}{N} \quad \text{alors} \quad Cmf(n) = Cma(n) + DF$$

2.7.4 Problème d'actualisation :

l'établissement de ces calculs entraîne, l'addition de francs d'années différentes, admissible avec une érosion monétaire faible, mais entraînant des écarts importants avec les taux d'inflation des années 1980. d'où l'intérêt de l'**actualisation**.

2.8 Le problème de l'actualisation des coûts :

2.8.1 Taux d'intérêt de l'argent constant (noté **i**, utilisé en prévision) :

si l'on prend 1 franc à l'origine, sa valeur va évoluer les années suivantes suivant le modèle :

0	1 franc		1 franc
1 an	1 + i	Si i =0.08	1,08
2 ans	(1 + i)²	(8 %)	1,17
3 ans	(1 + i)³		1,26
N ans	(1 + i)ⁿ		1,58(n=6)

$$k = \frac{1}{(1 + i)^n}$$

On peut définir un coefficient d'actualisation (noté k) tel que

Intérêt de k : soit i un taux d'inflation prévisionnel et S_0 une somme disponible aujourd'hui.
Dans n années, elle vaudra :

$$S_n = \frac{S_0}{k}$$

2.8.2 Cma actualisés :

La formule du coût moyen actualisé devient :

$$Cma(n) = \frac{VA \cdot (1 + i)^n + \sum_{x=1}^n [CD \times (1 + i)^{n-x}] - RV}{N}$$

avec Cd_x : dépenses d'entretien directes ou indirectes de la $x^{ième}$ année.

2.8.3 Taux d'intérêt de l'argent variable (noté j) :

Les indices de références sont :

- l'indice des prix de PIB (production intérieure brute),
- l'indice des prix de l'INSEE (à la consommation).

Année	Taux j	Valeurs de 100 F
1974	13,7 %	100,0 F
1975	11,8 %	111,8
1976	9,5	122,4
1977	9,5	134,0
1978	9,0	146,1
1979	10,7	161,8
1980	13,6	183,8
1981	13,2	208,5
1982	11,8	233,1
1983	9,6	255,5
1984	7,0	273,4
1985		243,9
1986		222,8
		203,4
		186,6
		168,6
		148,4
		131,1
		117,3
		107,0

Tableaux 2.2 : Taux d'intérêt de l'argent variable

Valeurs de l'indice INSEE sur 10 années: on calcul l'actualisation d'une somme S_0 par :

$$S_{\text{actuelle}} = S_0 \cdot (1+j_1) \cdot (1+j_2) \cdot (1+j_3) \cdot \dots \cdot (1+j_n)$$

Évolution de l'indice j depuis 1970:

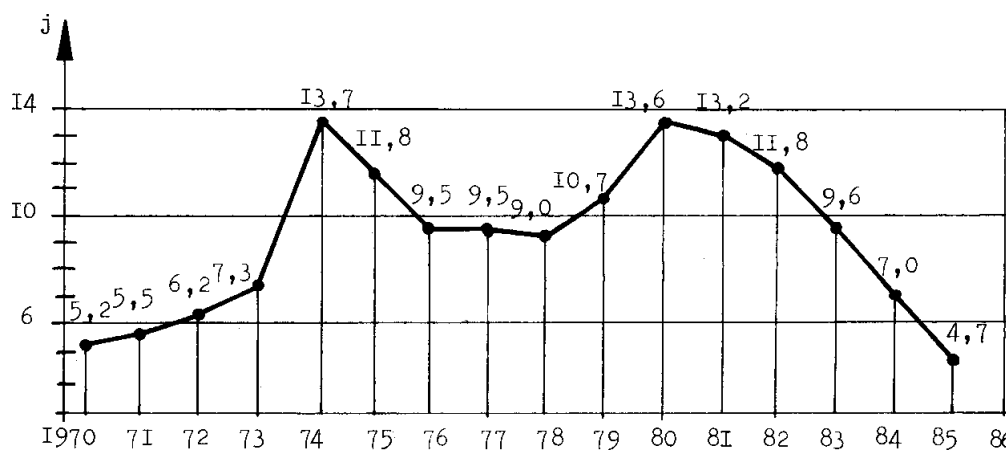


Figure 2.8 : Evolution de l'indice j depuis 1970

2.9 Modèle d'analyse d'amortissement :

2.9.1 Situation du problème :

De façon générale, au sein d'une entreprise, à tout investissement en matériel correspond un « espoir » de recette sous forme de service rendu.

Le LCC nous a montré :

- la difficulté d'estimer cette recette,
- l'existence d'une date d'amortissement,
- l'existence d'une période de rentabilité.

De façon plus spécifique, tout agent des méthodes proposant une modification doit justifier le « bien-fondé » par une étude économique d'amortissement.

2.9.2 Modèles graphiques d'étude :

Cas d'un équipement neuf:

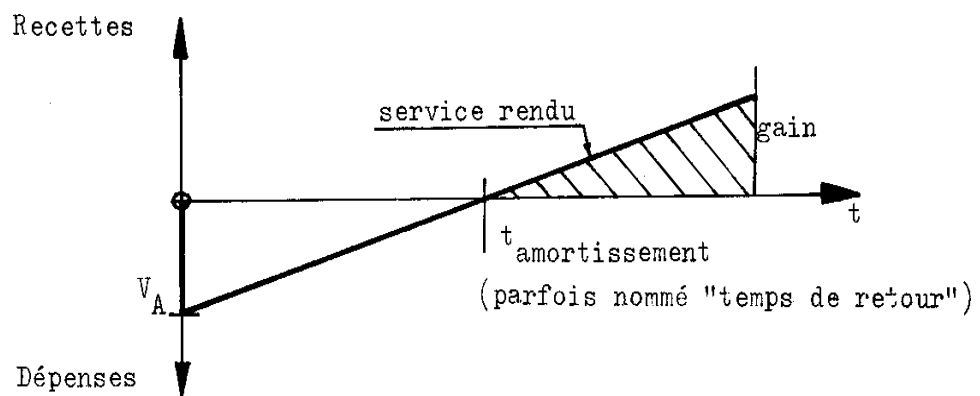


Figure 2.9 : représentation linéaire des dépenses et recettes

Forme équivalente, plus pratique à construire:

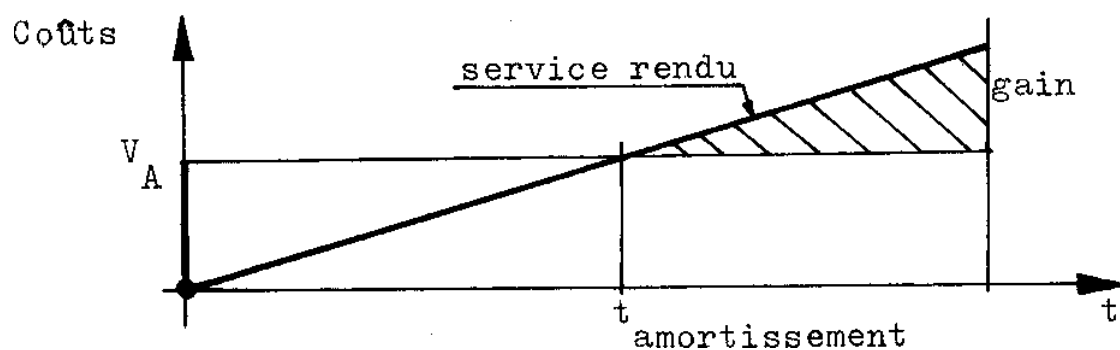


Figure 2.10 : représentation linéaire de temps d'amortissement

Cas d'une modification:

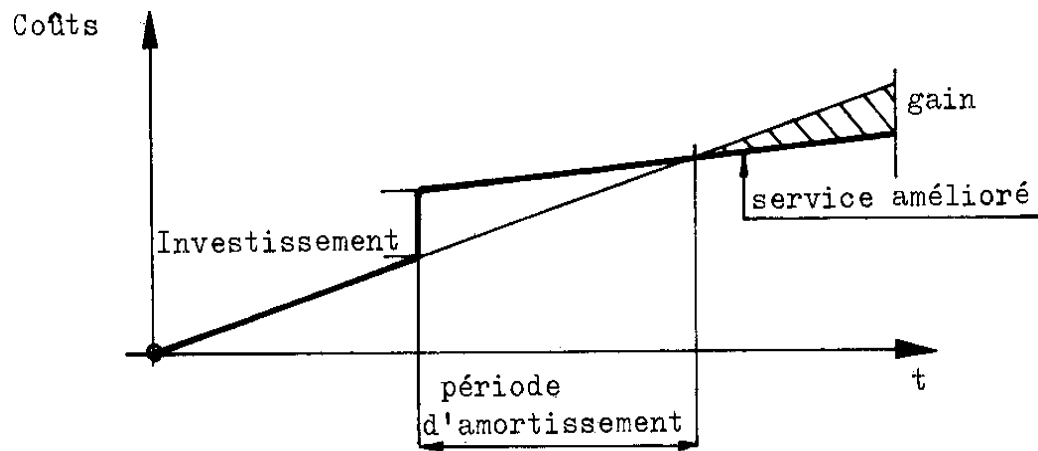


Figure 2.11 : courbe d'investissement

Des exploitations graphiques, trigonométriques ou analytiques sont possibles à partir de ces graphes simplifiés (investissements « ponctuels », représentation linéaire des dépenses et recettes).

2.9.3 Autre forme du LCC donnant l'amortissement et la période de rentabilité :

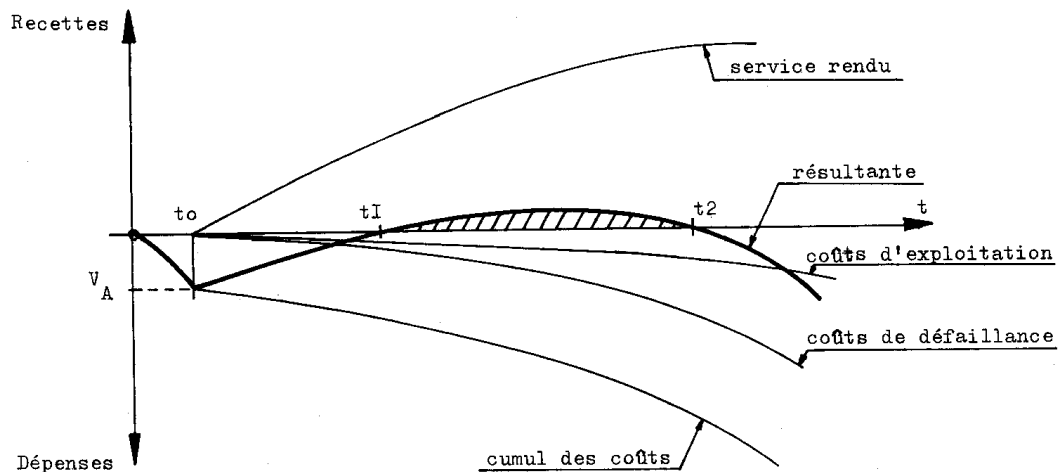


Figure 2.12 : Autre forme du LCC (l'amortissement et la rentabilité)

t_0 : mise en service.

t_1 : date d'amortissement. t_1-t_2 : période de rentabilité. t_2 : seuil de déficit.

2.10 Différents coûts suivant les types de maintenance :

2.10.1 Maintenance corrective :

- Coût total moyen/heure d'une intervention corrective:

Soit λ le taux de défaillance horaire (supposé constant), C_{Mc} le coût direct d'intervention corrective :

$$C_T = (C_{Mc} + C_P) \cdot \lambda$$

$$C_{T1} = (C_{Mc} + C_P) \cdot \lambda \cdot T$$

- Coût total pendant une durée T de fonctionnement:

2.10.2 Maintenance systématique

Soit t la périodicité des interventions, λ' le taux de défaillance résiduel, C_{Ms} le coût direct d'une intervention systématique.

- Coût préventif : $\frac{T}{t} \cdot C_{Ms}$

- Coût du correctif résiduel:

$$\lambda' \cdot T \cdot (C_{Mc} + C_P)$$

- Coût global :

$$C_{T2} = \frac{T}{t} \cdot C_{Ms} + \lambda' \cdot T \cdot (C_{Mc} + C_P)$$

2.10.3 Choix de la mise en place d'une maintenance systématique ?

On mettra en place une maintenance systématique si :

$$CT_1 > CT_2$$

donc si :

$$(\mathbf{CMc} + \mathbf{CP}).\lambda.T > \frac{T}{t}.C_{MS} + \lambda'.T.(\mathbf{CMc} + \mathbf{CP})$$

ou écrit différemment :

$$(\mathbf{CMc} + \mathbf{CP}).(\lambda - \lambda') > \frac{C_{MS}}{t}$$

$$(\lambda - \lambda') > \frac{C_{MS}}{t.(\mathbf{CMc} + \mathbf{CP})}$$

Si $C_d = \mathbf{CMc} + \mathbf{CP}$ (coût de défaillance)

$$t.(\lambda - \lambda') > \frac{C_{MS}}{C_d}$$

2.11 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini les différents couts de maintenances et leur estimation, dans le chapitre suivant nous avons donné une application dans un cas réel.