

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Chap. 7**

**Design pour l'abordabilité  
(Life Cycle Cost)**

**COURS 11 Mardi 19.01.2010**

© **Abdellatif MEGNOUNIF** FSI-Tlemcen

# 1. Introduction

Plusieurs systèmes ont été conçus, produits et fonctionnent en **négligeant** la partie économique et son **cout**.

Même en tenant compte, les couts étaient considérés séparément sans tenir compte de l'**intégralité** du système.

Couts associés à la recherche, design, testing, production, utilisation et support et mise hors service (Life-Cycle cost).

D'où la nécessité d'un design pour l'abordabilité et la notion d'analyse en cycle de vie du système (LCCA: life cycle cost analysis).

# Introduction (Suite)

## 1.1 Estimation du cycle de vie.

- **Actuellement, les systèmes deviennent de plus en plus complexes. De nouvelles technologies sont introduites à la base de l'amélioration continue.**
- **Ça prend moins de temps pour avoir un système, la compétitivité l'exige.**
- **Les tendances actuelles vont vers un déséquilibre entre le cout global des systèmes et leurs efficacité. (voir figure)**

## Cout Cycle de vie

- Recherche et développement
- Production et construction
- Maintenance et support
- Mort et mise hors service

## Efficacité du système

- Performance et efficacité
- Fiabilité, Maintenabilité et supportabilité
- Productibilité et mise hors service
- Qualité du système



## Introduction (Suite) Estimation du cycle de vie.

- L'expérience montre que non seulement les **coûts d'acquisition** associés aux **nouveaux systèmes augmentent** mais aussi les **coûts de fonctionnement et de maintenance** de systèmes **existants**.
- Du surtout à la combinaison de l'**inflation** et de la **croissance** du **coût** due aux causes suivantes:
  1. **Croissance de coût due aux changements engineering pendant le design et le développement (pour améliorer la performance).**
  2. **Croissance de coût due aux changements de fournisseurs.**
  3. **Croissance de coût due aux changements dans la production ou construction du système.**
  4. **Croissance de coût due aux changements de la capacité de support logistique.**
  5. **Croissance de coût due aux erreurs d'estimation initiale.**
  6. **Croissance de coût due à des pbs surprises.**

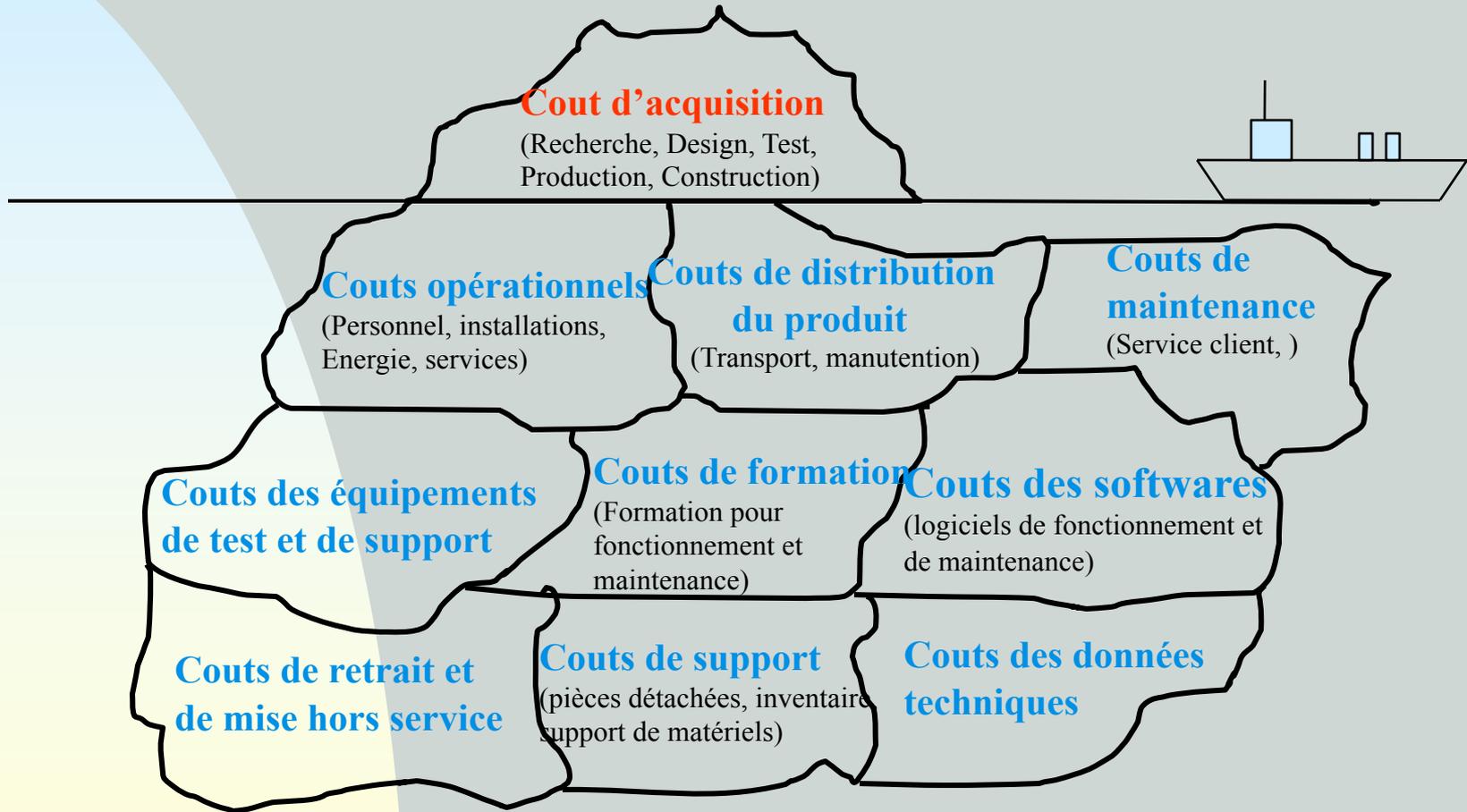


## Introduction (Suite) Estimation du cycle de vie.

- La situation économique actuelle est plus compliquée par des pbs liés à la détermination actuelle du cout du système ou du produit.
- 1. **Effet de l'Iceberg**: Cout total du système n'est pas souvent visible. Il faut non seulement considérer le cout de l'acquisition mais aussi les autres couts (voir figure).
- 2. En estimation de cout, des facteurs individuels sont souvent **mal appliqués**. Cout variable traité comme cout fixe; cout indirect considéré comme cout direct...
- 3. Les procédures de comptabilité **défaillantes** quand à l'évaluation des couts totaux.
- 4. La budgétisation est souvent **rigide et inflexible**, ne facilitant pas les améliorations dans l'acquisition et l'utilisation des systèmes.

# Introduction (Suite) Estimation du cycle de vie.

## Effet de l'Iceberg



## Introduction (Suite) Estimation du cycle de vie.

➤ **Cout du cycle de vie** concerne tous les coûts associés au système comme appliqué au cycle de vie défini. Ça inclut généralement:

- 1. *Cout de recherche et de développement.*** Planning initial; études de faisabilité; recherche du produit; design engineering; documentation du design; logiciels; test et évaluation des modèles engineering et fonctions managériales associées.
- 2. *Cout de production et de construction.*** Fabrication, assemblage et tests; construction d'installation (usines); développement de procès; opérations de production; control qualité; exigences de support logistique initiales.
- 3. *Cout de support et opérationnels.*** Opérations de l'utilisateur ou client du système en site; distribution du produit (marketing, vente, transport, manutention); support logistique.
- 4. *Cout de retrait et de mise hors service.*** Mise hors service des pièces non réparables le long du cycle de vie; retrait du système/produit; recyclage.



## Introduction (Suite) Estimation du cycle de vie.

- **Cout du cycle de vie est déterminé par identification des fonctions applicables en chaque phase du cycle de vie, estimer le cout de ces fonctions, appliquer les couts appropriés par fonction sur une programmation d'année en année et puis cumuler tous les couts le long du cycle de vie.**
- **Cout de cycle de vie inclut tous les producteurs, fournisseurs, utilisateurs, maintenanciers et couts liés.**
- **Il faut noter qu'il est difficile d'estimer, de prédire et de mesurer les couts de cycle de vie. Certains couts directes causés par des effets d'interaction d'un système sur un autre, couts sociaux...sont difficiles à quantifier.**

## 2. Cout dans le cycle de vie du système

Les couts associés avec les différentes phases du cycle de vie sont **inter reliés** et n'importe quelle décision prise dans une phase affecte les autres phases.

Aussi, les couts associés avec les activités des clients, des producteurs et des fournisseurs sont **inter reliés**.

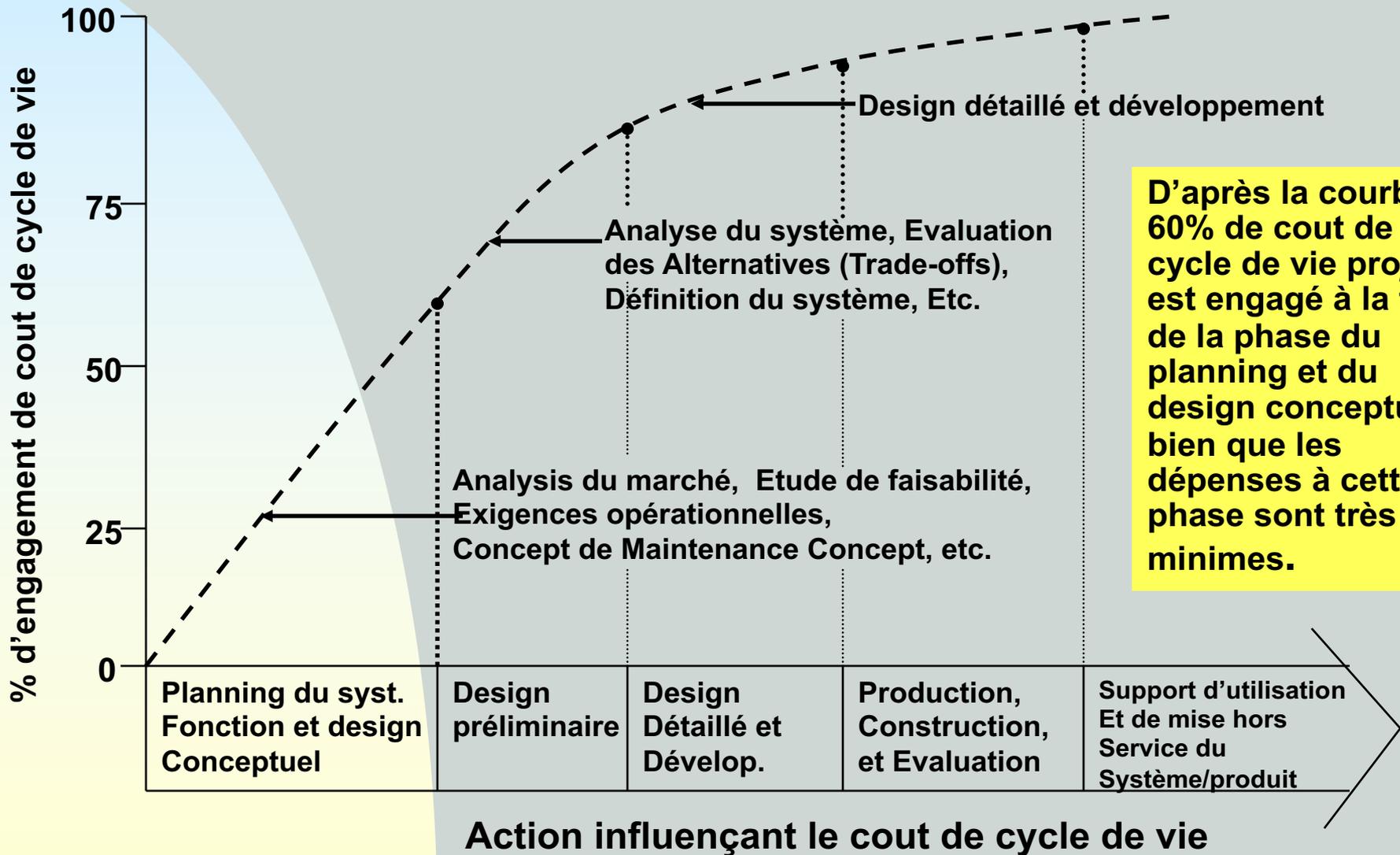
D'où la nécessité de tenir compte du cout total le long du cycle de vie et particulièrement pendant le design conceptuel.

Pour tenir des caractéristiques (comme en design) un **cout cible peut** :

1. Etre spécifié initialement ( design to cost TPM).
2. Alloué aux niveaux inférieurs des sous systèmes et éléments.
3. Mesuré pour l'évaluation du système en progressant le long du cycle de vie.

L'accent est mis sur le cout de cycle de vie total et non pas seulement les éléments de cout individuels.

# Courbe d'engagement de cout.



# 3. Cycle de vie du système

1

## Design Conceptuel

- Etude de faisabilité
- Exigences opérationnel du système
- Concept maintenance du système
- Analyse fonctionnelle

Lifecycle Cost/Design  
Aux cibles couts ou Goals

## Research

2

## Design préliminaire du système

### Analyse du Système

- fonctions de maintenance et opérations du système
- Allocation des exigences Qualitatives et Quantitatives

Allocation  
Cost Cible/Goal du cout

### Optimization-système

- Evaluation des configurations de design alternatives
- Evaluation des exigences de support logistique

Analyse de cout cycle de vie et modélisation

### Synthèse du système et Définition

- Design préliminaire et analyse de la configuration choisie
- définition du système (Spécifications/Plans)

Prédictions, Analyses, Modélisation, LCC/DTC Evaluations, Exigences

Feedback Loop

3

## Design détaillé système/produit

### Design Système/Produit

- Design détaillé du Système/Produit
- Design de la capacité du Support logistique
- Documentation de design
- Révision du Design

Prédictions, Analyses, Evaluations LCC/DTC, Documentation

### Développement de modèle Engineering et de Prototype Test et Evaluation

- Développement de système prototype
- Test et Evaluation du Système et de la capacité de support logistique

Evaluation du cout cycle de Vie du système/produit

Feedback Loop

4

## Production/Construction

- Production/Construction du Système ou Produit
- Support logistique initial
- Evaluation du système/Produit

Collection données de cout, Analyse, et rapports; Evaluation de cout de Cycle de vie

Feedback

5

## Utilisation du système Et support cycle de vie

Collection données de cout, Analyse, et rapports; Evaluation de cout de Cycle de vie

6

## Retrait du système et mise hors service

## Cycle de vie du système (Suite)

### 3.1 Design conceptuel.

- Les décisions prises à cette phase (exigences opérationnelles, facteurs de performance et d'efficacité, concept de maintenance, configuration du système, qté d'articles à produire...) influent beaucoup sur le cout du système.
- Décisions faites à la base d'une étude de marché ou bien d'une étude de faisabilité du design.
- A ce niveau, il faut établir des figures-of-merit de cout quantitatif comme exigences avec lesquelles le système sera conçu, testé, produit, opéré et supporté.
- Des TPM design-to-cost (DTC) peuvent être établies comme exigences de design le long avec la performance, l'efficacité, la fiabilité, la maintenabilité, la supportabilité...
- Cout doit être adressé sur une base proactive au lieu d'un facteur résultant pendant le procès de design.

## Cycle de vie du système (Suite)

### 3.2 Design préliminaire.

- Une fois les exigences de cout quantitatives établies, les critères définis sont alloués aux différents segments du système pour établir des orientations pour le design ou l'acquisition des éléments.
  - Les facteurs projetés lors d'allocation, reflètent le cout cible par unité individuelle (i.e. produit unique dans une population totale) et sont basés sur les exigences opérationnelles et le concept de maintenance...
  - Plusieurs approches seront considérées pour arriver à la configuration choisie. L'analyse cout de cycle de vie est menée pour chaque alternative avec comme objectifs:
    1. S'assurer que le candidat choisi est compatible avec les cibles couts établies.
    2. Lequel de ces candidats sera préféré du point de vue efficacité cout global.
- Il faut des trade-offs pour arriver à la bonne alternative. Le processus est itératif.

### 3.3 Design détaillé.

- Les données de design sont disponibles et l'analyse de cout de cycle de vie comprend l'évaluation de caractéristiques de design spécifiques, la prédiction de variables générant des couts, les estimations des couts et la projection de cout de cycle de vie comme profile de cout.
- Les résultats sont comparés avec les exigences initiales et des actions correctives sont prises si nécessaire.
- Le processus est aussi itératif mais un niveau moindre que celui de la phase préliminaire.

## Cycle de vie du système (Suite)

### 3.4 Production/Construction, utilisation, Support, Retrait et mise hors service.

- **Cout liés aux fonctions de collection des données, d'analyse et d'évaluation.**
- **Ceux qui contribuent de façon importante au cout seront identifiés.**

#### **En résumé:**

- **Estimations sont applicables à toutes les étapes du cycle de vie.**
- **L'engagement est tôt, pendant le planning et le design conceptuel par l'établissement de facteurs de cout quantitatifs comme exigences.**
- **En avançant, les couts seront utilisés pour choisir la bonne configuration.**
- **Enfin, les couts seront comparés à ceux posés initialement pour déterminer le degré de conformité et prendre des actions correctives si nécessaire.**

# 4. Analyse du Cout de cycle de vie

Les grandes décisions se font au départ et influent directement sur le cout global du système. Il faut donc des méthodes d'analyse du cout du cycle de vie.

Ces méthodes peuvent être appliquées pour l'évaluation de ce qui suit:

- 1. Approches de technologie d'alternative pour accomplir une analyse de faisabilité.**
- 2. Scénarios de mission ou profils opérationnels du système d'alternative.**
- 3. Concepts de support logistique et de maintenance d'alternative.**
- 4. Approches d'alternative quand on considère plusieurs méthodes de design en réponse de l'analyse fonctionnelle.**
- 5. Configuration de design du système alternative relative aux schémas d'emballage, niveaux de réparation, diagnostic, sélection des composantes et standardisation, fiabilité Vs maintenabilité...**

## Analyse du Cout de cycle de vie (Suite)

- 6. Sources alternatives de fourniture et schémas d'acquisition.**
- 7. Approches de production alternative (Production continue Vs discontinue, quantité des lignes de production...)**
- 8. Canaux de distribution du produit de l'alternative, méthodes d'emballage, transport et manutention, locations de stockage...**
- 9. Politiques de support logistique et de maintenance de l'alternative. (i.e. niveaux de maintenance, inhouse ou maintenance contracté, politiques de garantie...)**
- 10. Politiques de retrait et de mise hors service du produit de l'alternative.**

## Analyse du Cout de cycle de vie (Suite)

### Etapes à suivre pour l'analyse LCC.

Pour la bonne démarche de l'analyse du cout du cycle de vie d'un système, il faut suivre les étapes suivantes:

- 1. Définir les exigences du système.** Exigences opérationnelles et de maintenance, identifier les TPM et décrire le système en termes fonctionnels (analyse fonctionnelle au niveau système)
- 2. Décrire le cycle de vie du système et identifier les activités de chaque phase.** Etablir une ligne de base pour la décomposition des couts (CBS: Cost breakdown structure) et l'estimation du cout pour chaque année du cycle de vie projeté.
- 3. Développer un CBS.** Structure Top-down/Bottom-Up pour inclure toutes les catégories de cout pour une allocation initiale des couts (top-down) et la collection des couts (bottom-up). Toutes les activités du cycle de vie sont concernées.
- 4. Identifier les exigences de l'input des données.** et les sources possibles d'où elles peuvent être exigées. Le type et la quantité de données dépendent de la nature du pb, la phase du cycle de vie et l'importance de l'analyse.

## Analyse du Cout de cycle de vie (Suite) **Etapes à suivre pour l'analyse LCC.**

- 5. *Etablir les couts pour chaque catégorie dans le CBS.*** Développer la relation cout-estimation et estimer les couts de chaque catégorie du CBS selon une base annuelle.
- 6. *Sélectionner un model de cout pour l'analyse et l'évaluation.*** De préférence un logiciel pour faciliter l'analyse des couts.
- 7. *Développer un profil de cout et sommaire.*** Construire un profile de cout montrant les écoulements des couts le long du cycle de vie et prévoir un sommaire (résumé) identifiant le cout de chaque catégorie du CBS et le pourcentage de contribution.
- 8. *Identifier les contributeurs de couts élevés et établir une relation cause-effet.*** Marquer les fonctions, éléments du système, qui peuvent être investit pour de possibles améliorations.
- 9. *Conduire une analyse de sensibilité.*** Evaluer le model, relation données input-output et les résultats de la ligne de base pour s'assurer que l'approche global LCC est valide et que le modèle est bien construit.

## Analyse du Cout de cycle de vie (Suite) **Etapes à suivre pour l'analyse LCC.**

- 10.** *Construire le diagramme Pareto et identifier les priorités pour la résolution des pbs.* (i.e. pbs qui nécessitent une attention managériale particulière).
- 11.** *Identifier les alternatives faisables pour l'évaluation du design.* En développant une approche pour l'évaluation LCC pour une certaine configuration, il est possible d'étendre l'analyse LCC à travers l'évaluation d'autres alternatives du design.
- 12.** *Evaluer les alternatives faisables et sélectionner l'approche choisi.* Développer un profile de cout pour chaque alternative évaluée, comparer les alternatives en considérant la valeur de l'argent dans le temps, construire une analyse break-even et sélectionner l'approche de design choisi.

On va essayer d'expliquer les différentes phases à travers un exemple (tiré de blanchard)

# 5. Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie

L'exemple est celui de 02 alternatives de système de communication pour satisfaire les besoins d'un client.

## **Etape 1.** Définir les exigences du système.

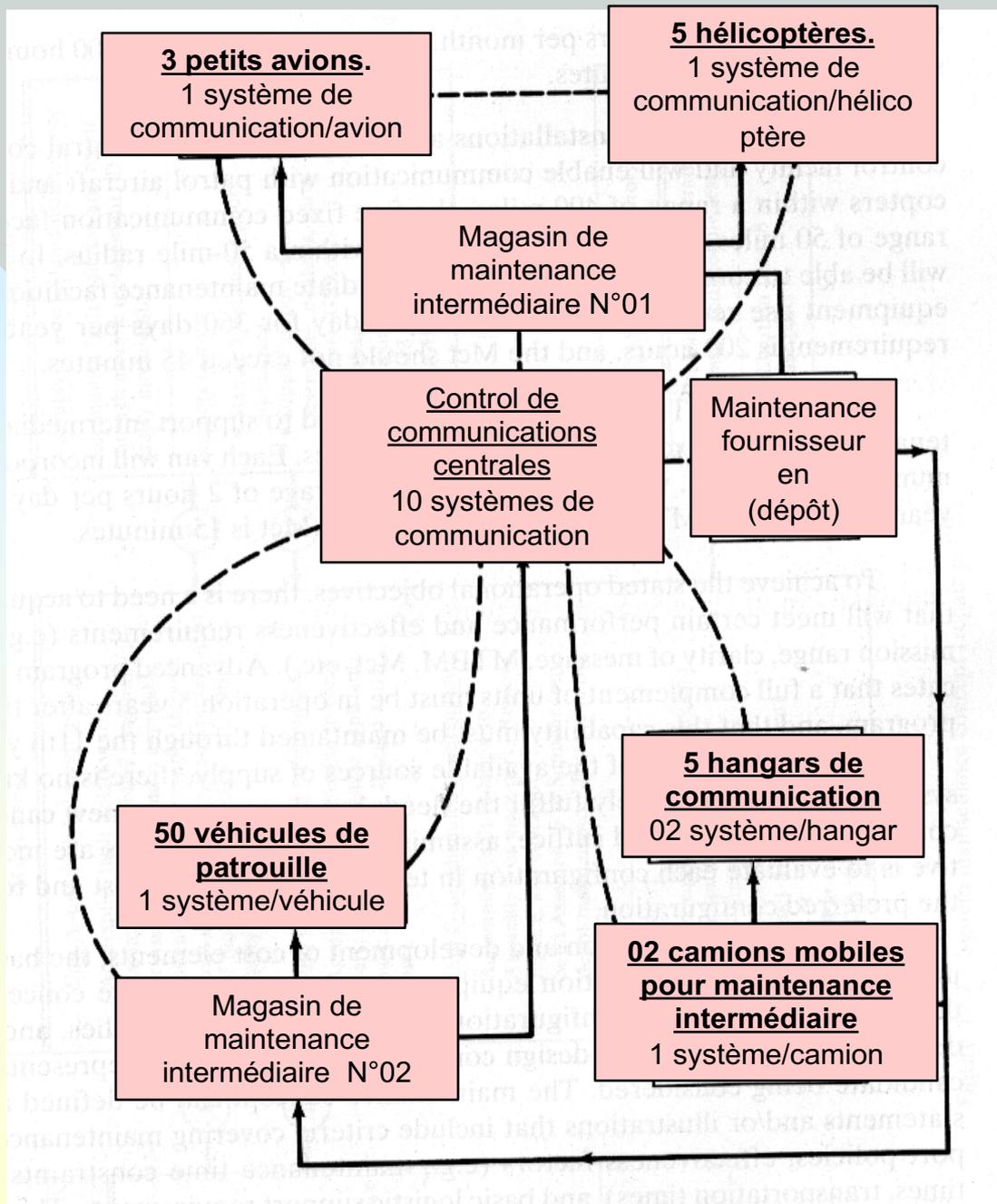
Une surface métropolitaine planifie pour actualiser son système de communication en achetant des équipements nouveaux pour les installer dans les avions de patrouille, hélicoptères, voitures et dans une centrale de communication de control. 02 alternatives ont été définies et évaluées.

L'objectif est de définir les exigences du système (opérationnelles et de maintenance) de façon à ce que l'alternative la moins couteuse (LCC) sera retenue.

Le réseau du système de communication est en figure suivante. Il ya 80 installations d'équipement. Le nouvel équipement doit etre adaptable à toutes les installations, et les seules différences sont dans les connections des interfaces.

Le nouvel équipement doit avoir 06 objectifs opérationnels qui sont:





## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 1.

**Objectif 1.** l'équipement est à installer sur 03 petits avions (basse altitude) pour pouvoir communiquer avec les hélicoptères dans un rayon de 300 km et avec le centre de control des communications. Chaque avion volera 15 fois par mois pour une durée moyenne de vol de 3 heures. Les exigences d'utilisation de l'équipement est de 1.1 heures de fonctionnement pour 1 h de fonctionnement d'avion (en vol et à terre). L'équipement doit avoir un MTBM d'au moins 500 heures et Mct max 15 mn.

**Objectif 2.** l'équipement est à installer sur les 05 hélicoptères et permet la communication avec l'avion de patrouille dans un rayon de 300 km, avec les autres hélicoptères dans un rayon de 80 km et avec la centrale. Chaque hélicoptère volera 25 fois par mois pour une durée de 2 heures. Exigence d'utilisation 0.9 h pour 1 h de vol. MTBM de 500 h et Mct max 15 mn.

**Objectif 3.** dans chacune des 50 voitures de patrouille et communique avec les autres véhicules dans un rayon de 40 km et avec la centrale dans un rayon de 80 km. Véhicule roulera 5 h par jour, et 5 jours par semaine. 100% d'utilisation. MTBM=400 h et Mct max 30 mn.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 1.

**Objectif 4.** 02 installations pour chacune des 05 hangars de communication. Communique avec les voitures de patrouille dans 40 km et la centrale dans 80 km. Exigence d'utilisation de l'équipement de 120 h par mois. MTBM=200 h et  $\overline{Mct}$  max 60 mn.

**Objectif 5.** 10 équipements dans la centrale pour communiquer avec les avions et les hélicoptères dans un rayon de 650 km, les hangars dans 80 km et les voitures dans 50 km. Exigence de 3 h par jour pour 360 jours par an. MTBM=200 h et  $\overline{Mct}$  max 45 mn.

**Objectif 6.** 02 camions mobile pour la maintenance intermédiaire aux 05 hangars. Chaque camion aura un système de communication à utiliser 2 h par jour pour 360 j par an. MTBM exigé est de 400 h et  $\overline{Mct}$  =15 mn.

Le système sera opérationnel 05 ans après le début du programme et doit être maintenu pour 11 ans.

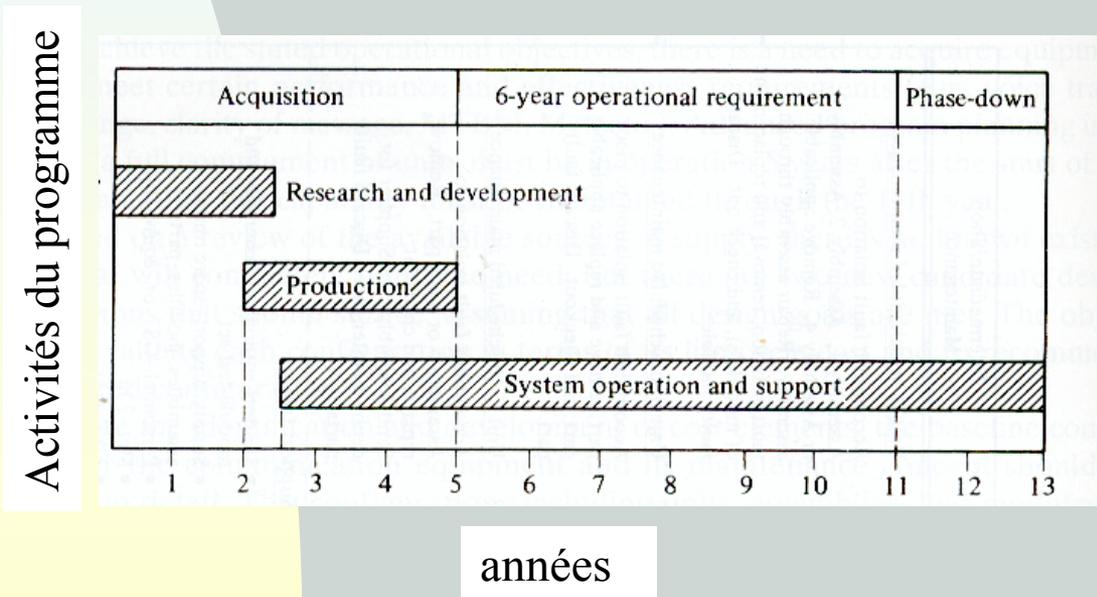
Il faut ensuite donner un concept de maintenance détaillé pour définir les exigences de maintenance pour évaluer les couts anticipés.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

**Etape 2.** Décrire le cycle de vie et identifier les activités de chaque phase.

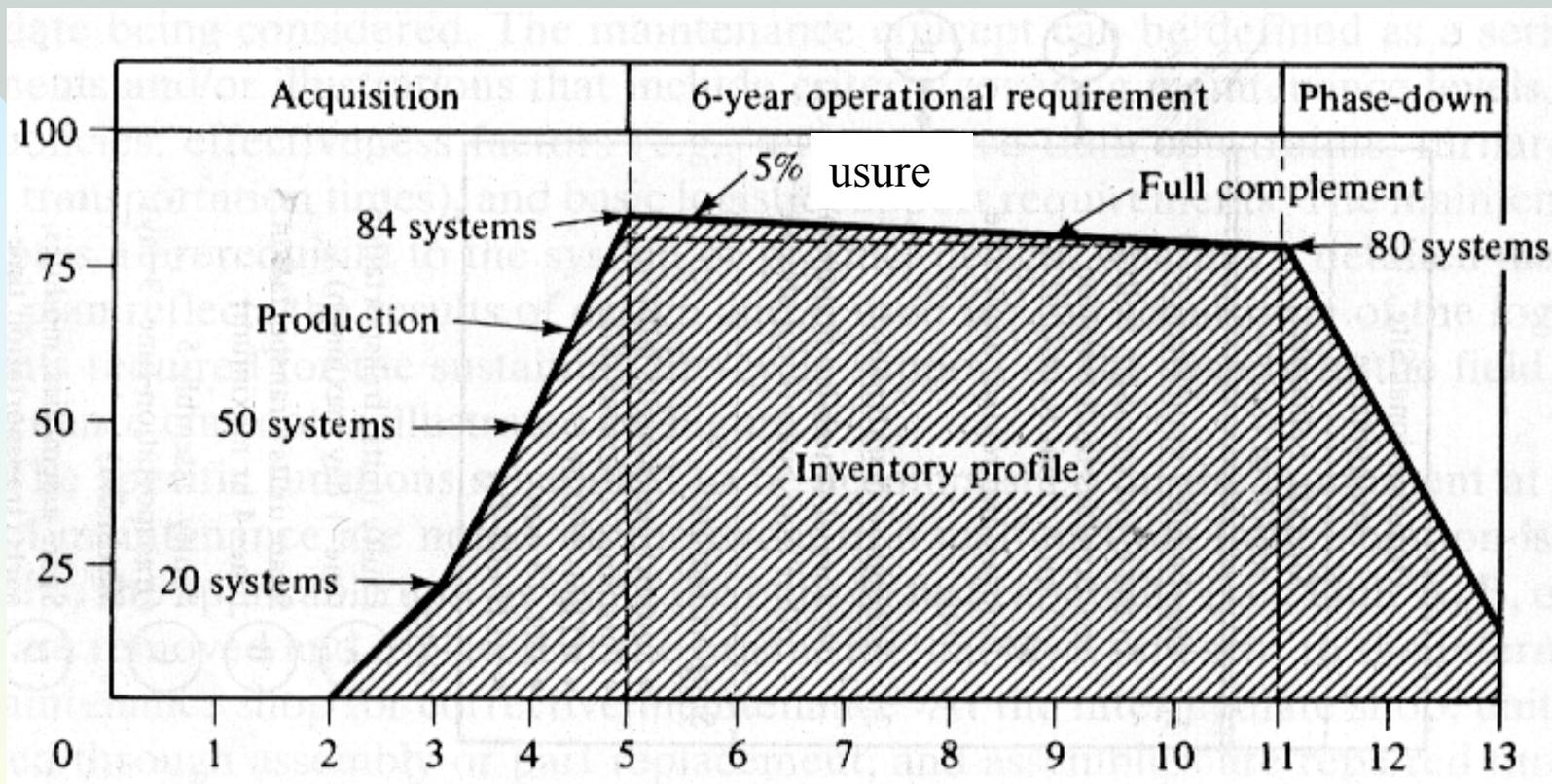
Ayant les exigences opérationnelles comme ligne de base, il faut ensuite décrire le cycle de vie et identifier les activités de chaque phase.

Pour notre système de communication, les activités principales et les milestones incluent recherche et développement, production, support du système et fonctionnement du système.



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 2.

Nbr de systèmes



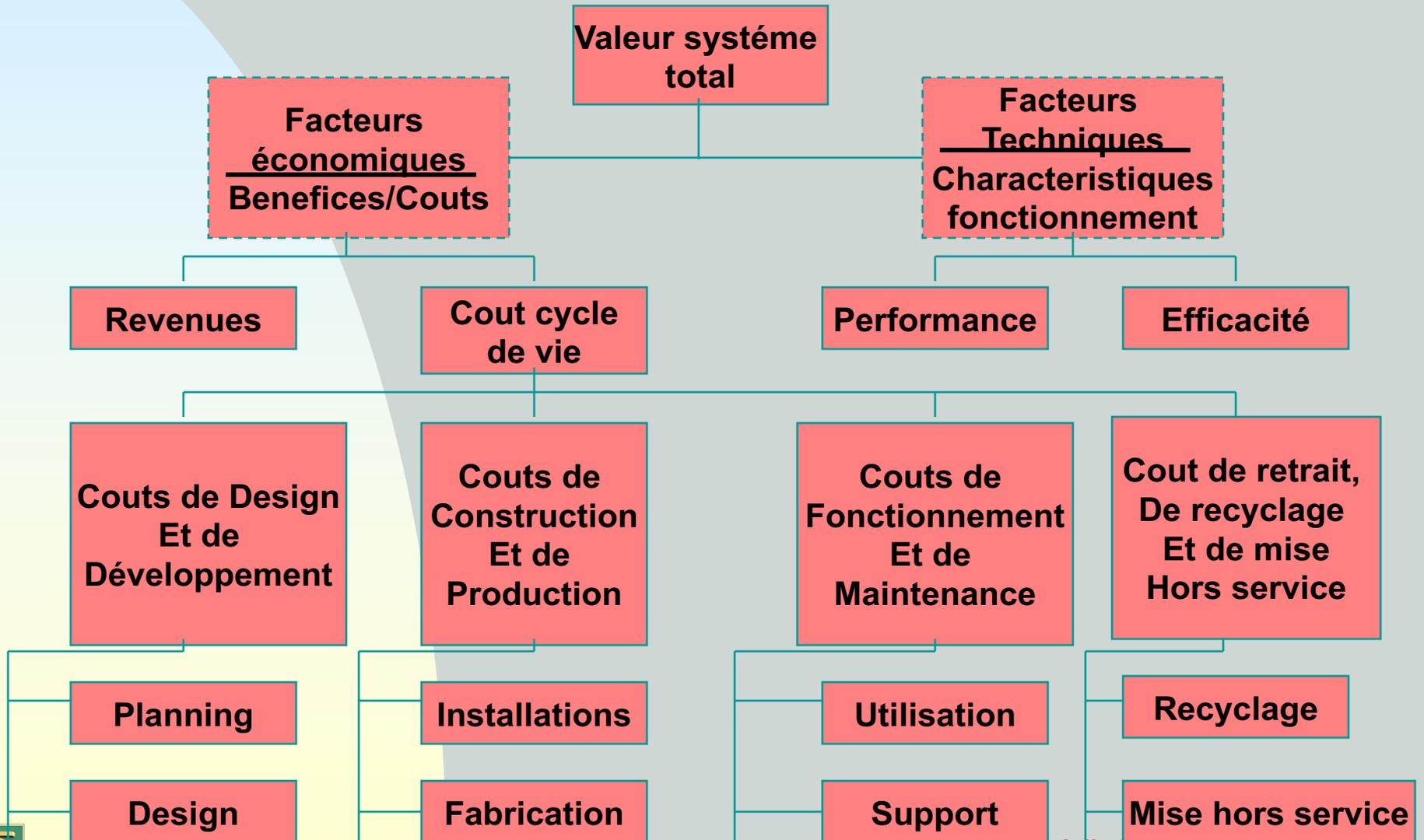
années

Profile du programme

# Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

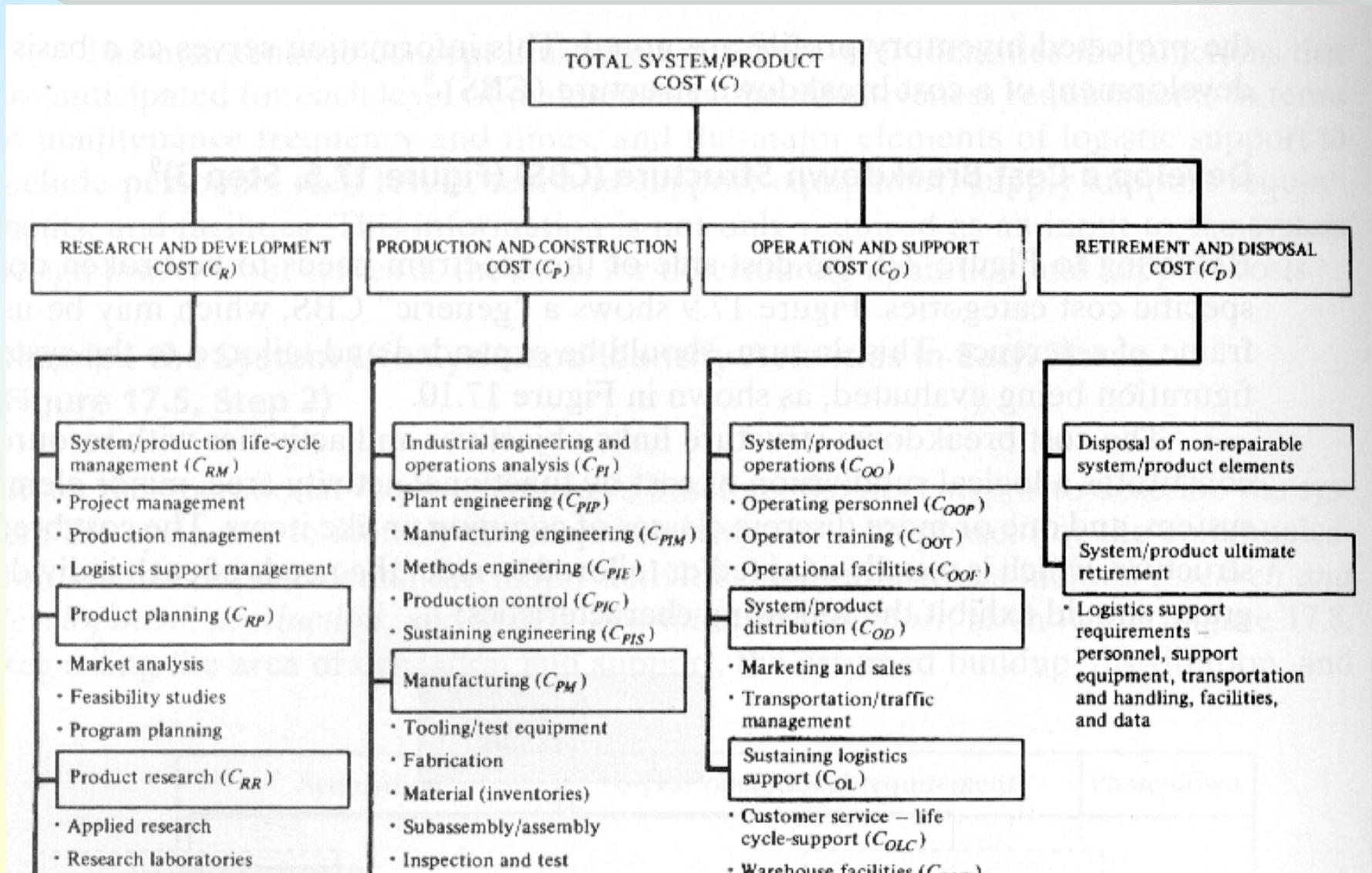
## Etape 3. Développer un CBS.

Comme exemple, on peut se baser sur ce qui suit:

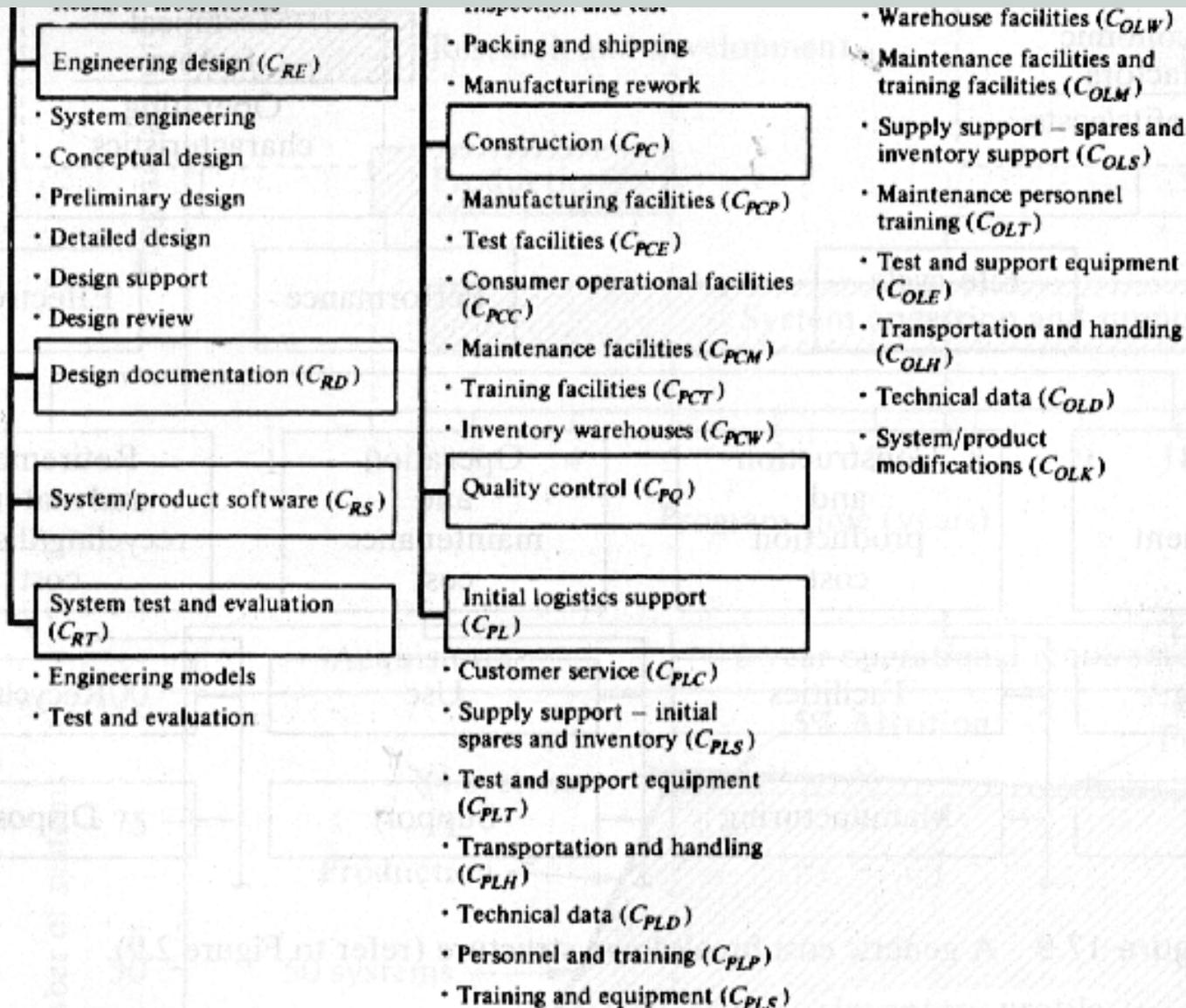


## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 3.

Pour notre système, on peut avoir:



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 3.



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

### **Etape 4.** Identifier les exigences de l'input des données.

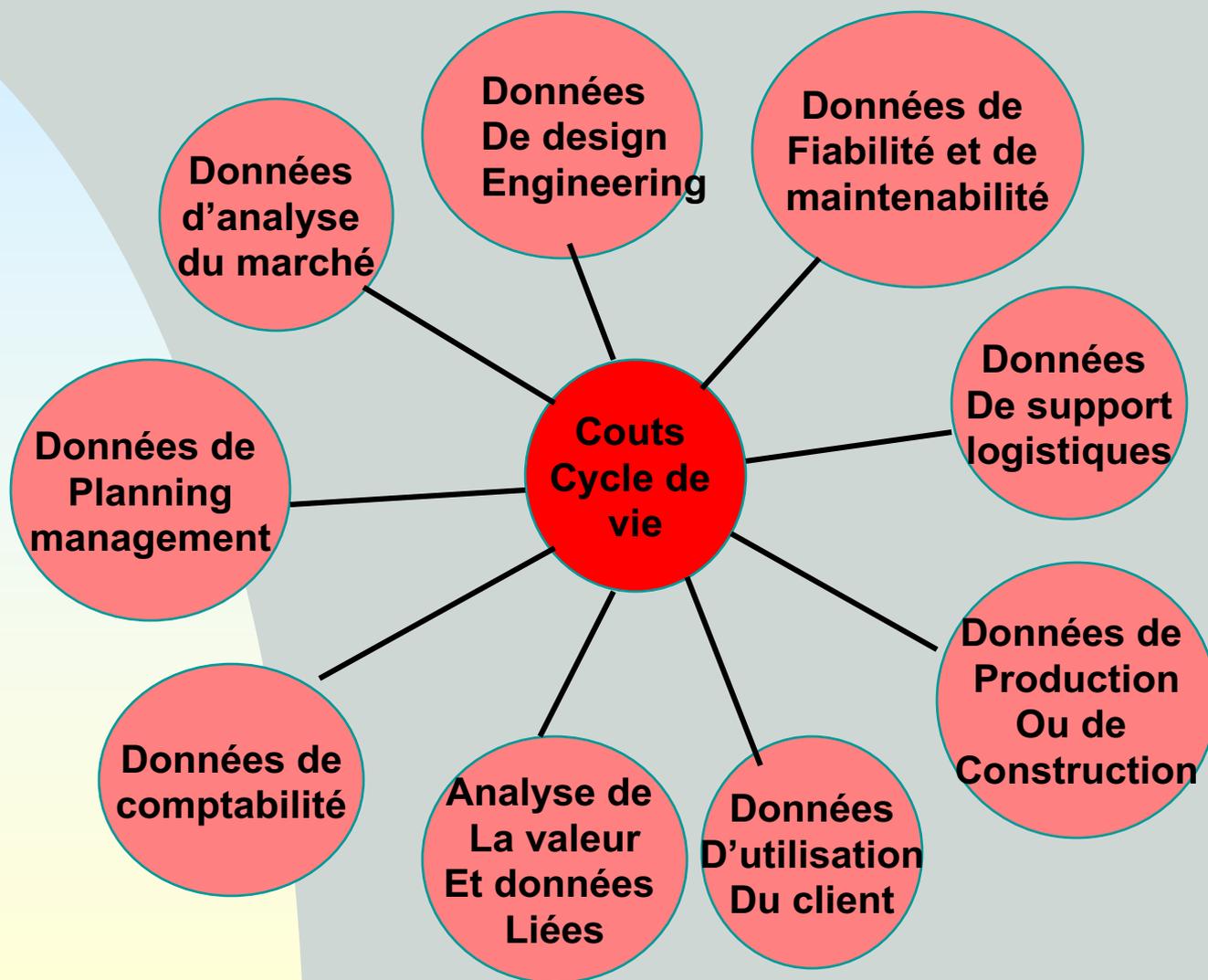
**En général , une analyse LCC utilise beaucoup de données.**

**A l'échelle du système (design conceptuel), l'analyste utilise généralement son expérience et son intuition pour faire des estimations plus ou moins objectives. Et plus, il avance dans le cycle de vie plus, il détaillera les couts en utilisant plus de données du système. Les exigences input de données deviennent plus étendues.**

**En général, il est plus approprié de solliciter des données de plusieurs sources différentes, d'accomplir une analyse en profondeur, d'étudier les inter relations entre les activités (ou éléments) du système et les couts et de développer certaines recommandations à travers un effort d'amélioration du procès/produit continu.**

**Dans ce cas, l'analyste peut solliciter les données de sources différentes comme le montre la figure.**

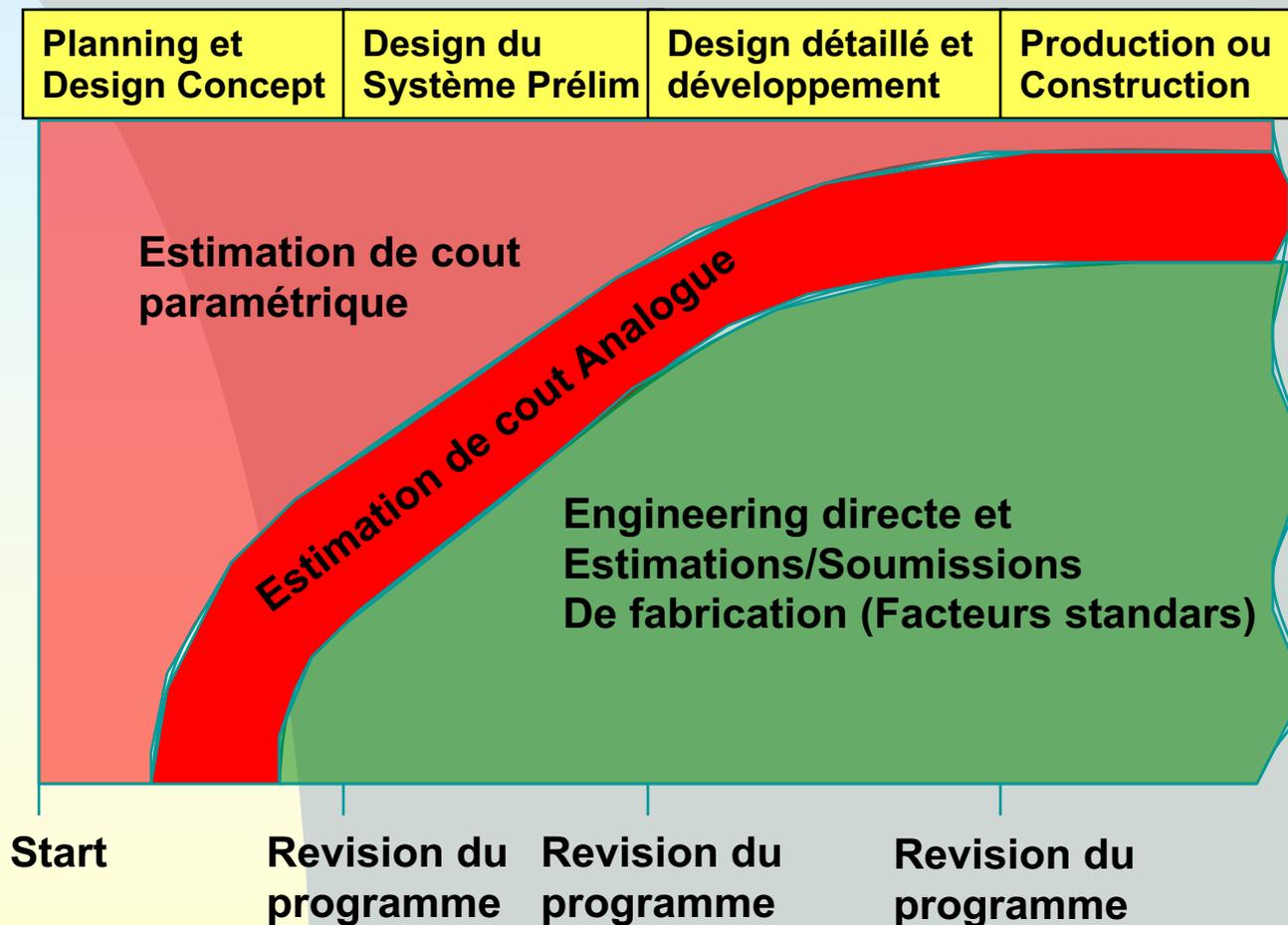
## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) **étape 4.**



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

### Etape 5. Etablir le cout pour chaque catégorie dans le CBS.

En général , pour développer des données de cout, il faut utiliser des techniques d'estimation de couts. (figure)



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) **Etape 5.**

**Méthode paramétrique:** Valable dans la phase tôt du cycle de vie. Les relations estimation-cout paramétriques sont développées de l'expérience du passé, qui relie plusieurs facteurs de couts à des variables explicatives qui reflètent les caractéristiques du système comme la performance, l'efficacité,...

Un facteur de cout peut être exprimé en termes d'unité de vitesse pour un véhicule, d'unité du poids par km pour un système de transport, d'unité d'espace pour une installation...

Les relations estimations-couts peuvent avoir plusieurs formes (continues ou non continues, mathématiques ou non mathématiques, linéaires ou non linéaires...).

**Méthode d'estimation analogue:** L'analyste compare les couts estimés de son système avec des systèmes similaires où des données historiques existantes.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 5.

### Estimation basée sur l'activité.

Pour être effectif dans le management des coûts totaux, il faut une visibilité totale du coût permettant la traçabilité de tous les coûts jusqu'aux activités, procès ou produits qui génèrent ces coûts.

On a donc introduit la notion d'estimation basée sur l'activité. (**ABC: activity-based Costing**).

C'est une méthodologie dirigée vers le détail et l'attribution de coûts aux articles qui causent leur apparition.

L'objectif est de rendre possible la traçabilité de tous les coûts appliqués au procès ou produit qui génèrent ces coûts.

### **Les principes de l'ABC sont:**

- 1.** Les coûts sont directement traçables aux procès de génération de coûts applicables, au produit ou bien à un objet lié. Des relations de cause-effet sont établies entre le facteur de coût et une activité ou procès spécifié.
- 2.** Pas de distinction entre les charges directes et indirectes. Les coûts non traçables (10% à 20%) sont alloués directement aux unités organisationnelles impliquées dans le projet.



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 5.

### Estimation basée sur l'activité.

- 3. Coûts peuvent être facilement alloués sur la base fonctionnelle. Facile de développer des relations estimation-coûts en termes de coût des activités par une certaine mesure de l'activité (i.e. coût par output de l'unité)**
- 4. Dans l'ABC, l'accent est mis sur la « consommation de la ressource (Vs Dépenser). Procès et produits consomment des activités et les activités consomment les ressources. Ça facilite l'évaluation des décisions jour-à-jour en termes de leurs impacts en aval de la consommation de ressources.**
- 5. ABC favorise l'établissement des relations cause-effet et permet l'identification des **contributeurs de coûts élevés**. Zones à risques sont alors identifiées .**
- 6. ABC tend à éliminer certaines doublures de coûts. Qui peuvent se produire lorsqu'on essaye de différencier entre ce qui est charge directes et ce qui est indirectes. N'ayant pas la visibilité nécessaire, il ya possibilité de se tromper et de considérer les coûts dans les 02 catégories.**

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 5.

### Développement de données de couts.

Pour développer des données de couts pour une analyse LCC, l'analyste doit d'abord investir toutes les sources de données possibles pour déterminer ce qui est directement applicables dans le support des objectifs de l'analyse. Si les données n'existent pas, la méthode paramétrique peut être utilisée.

En général, il faut d'abord voir dans :

1. **Banques de données existantes**: pour des systèmes similaires en configuration et fonction aux articles développés. On peut utiliser ces données avec certains ajustements pour tenir compte des différences de technologie, d'environnement... Dans cette catégorie, il ya les facteurs de couts standards pour des activités ou fonctions spécifiques (cout de formation, de transport, de carburants...)
2. **Données de planning du système/produit avancé**: généralement inclut données d'analyse du marché, de définition des exigences opérationnelles et de maintenance, des études de faisabilité et du management du programme.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 5.

### Développement de données de couts.

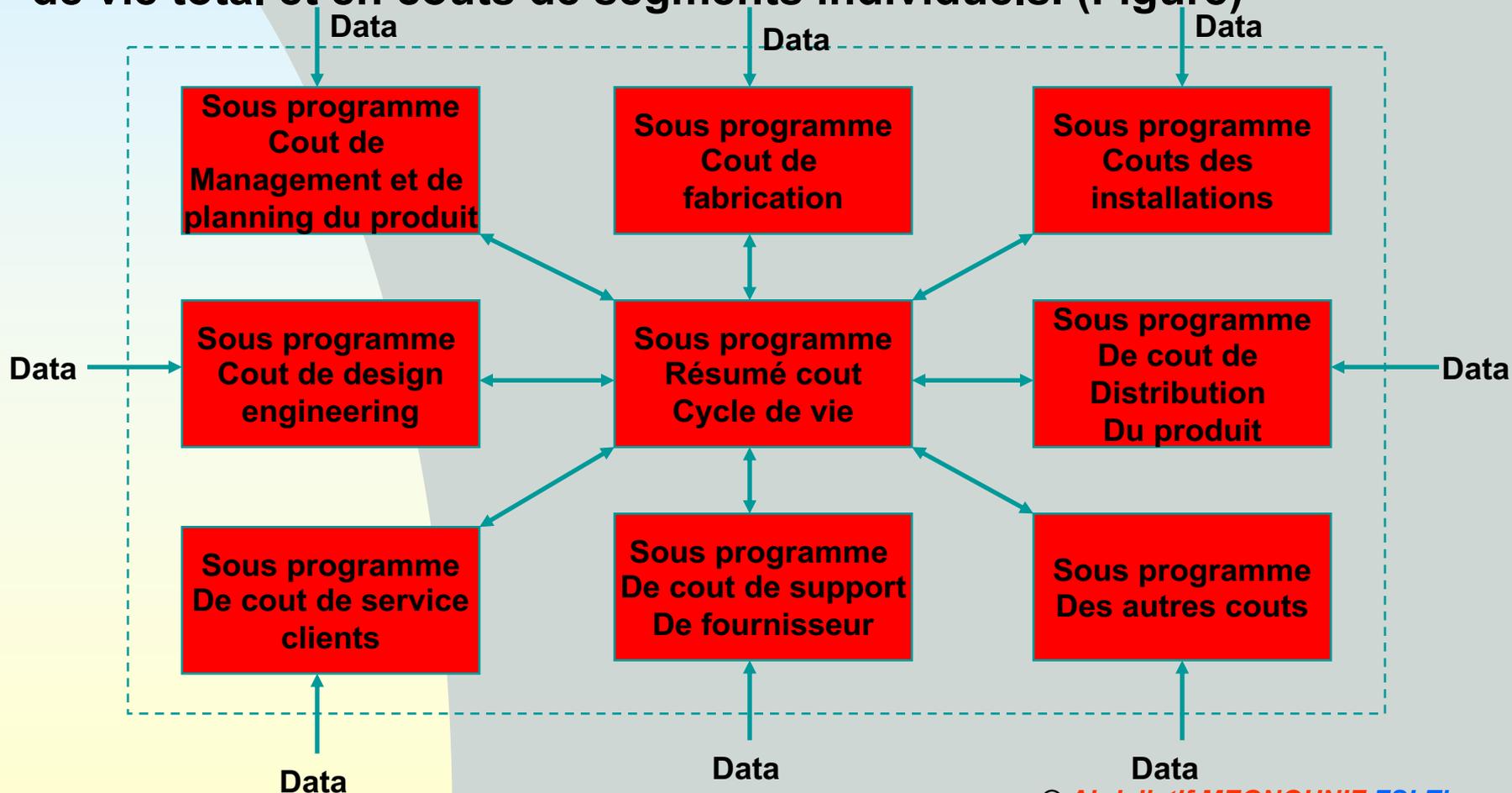
- 3. Estimations de couts individuelles, Prédications et analyses:** pour Le long des premières phase du programme, les estimations de cout sont généralement générées sur une base continue. Qui peuvent couvrir les activités de recherche et développement, les activités de production ou construction ou bien les activités de support et de fonctionnement du système.
- 4. Documentation du fournisseur:** Propositions, catalogues, données de design et les rapports d'études spéciales conduits par les fournisseurs peuvent être utilisées comme source de données.
- 5. Test engineering et données sur site:** Qd le système ou le produit est testé ou bien en phase d'utilisation, cette expérience représente la meilleure source de données pour l'analyse actuelle. Ces données sont collectées et utilisées comme données pour une analyse LCC.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

### Etape 6. Sélectionner un modèle de cout pour l'évaluation et l'analyse.

Après le CBS, il faut développer un modèle pour faciliter le procès d'évaluation de cout cycle de vie. Peut être simple ou complexe.

L'objectif d'utiliser le modèle est d'évaluer le système en cout de cycle de vie total et en couts de segments individuels. (Figure)



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

### **Etape 7.** Développer un profil de cout et un résumé.

Plusieurs approches existent pour développer un profil de couts, mais les étapes suivantes sont suggérées:

- 1.** Identifier toutes les activités le long du cycle de vie qui génèrent des couts. Inclut les fonctions associées au planning, recherche et développement, test et évaluation, production ou construction, distribution, utilisation et support, retrait et mise hors service.
- 2.** Relier chaque activité identifiée en 1. à la fonction spécifique (analyse fonctionnelle) et à la catégorie de cout spécifique dans le CBS.
- 3.** Développer un format pour enregistrer les couts pour chaque activité du CBS et pour chaque année du cycle de vie.
- 4.** En appliquant les méthodes d'estimation de couts (choisies) calculer les couts de chaque catégorie du CBS et pour chaque année du cycle de vie. Dans ce cas, il faut tenir compte des effets des courbes d'apprentissage, croissance de couts dues aux changements de fournisseurs, changements dans les niveaux des prix d'acquisition...

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 7.

5. Pour chaque catégorie dans le CBS, les éléments de couts individuels sont ensuite projetés pour inclure les facteurs d'inflation. Les valeurs modifiées constituent les couts réels.
6. Construire un troisième profile en considérant « la valeur de l'argent dans le temps » ou bien la présentation des couts en termes de l'équivalence présente (PE).

### Application des courbes d'apprentissage

En répétant l'activité ou le procès, il y'aura apprentissage et donc une réduction du cout. Le vrai impact de l'apprentissage sur le cout est réalisé dans la production de grande quantité d'un article donnée.

Le cout du 1<sup>er</sup> article est plus élevé de celui du 25<sup>ème</sup> article qui est lui aussi élevé que celui du 50<sup>ème</sup> article etc...

En utilisant la courbe d'apprentissage, il faut s'assurer que le procès de production est continu, sans changement dans le design, dans la fabrication, ou dans l'organisation. Ça élimine l'effet de l'apprentissage.



### Inflation

**En développant les profiles de cout par phases de temps, il faut tenir compte de l'inflation pour chaque année future dans le cycle de vie.**

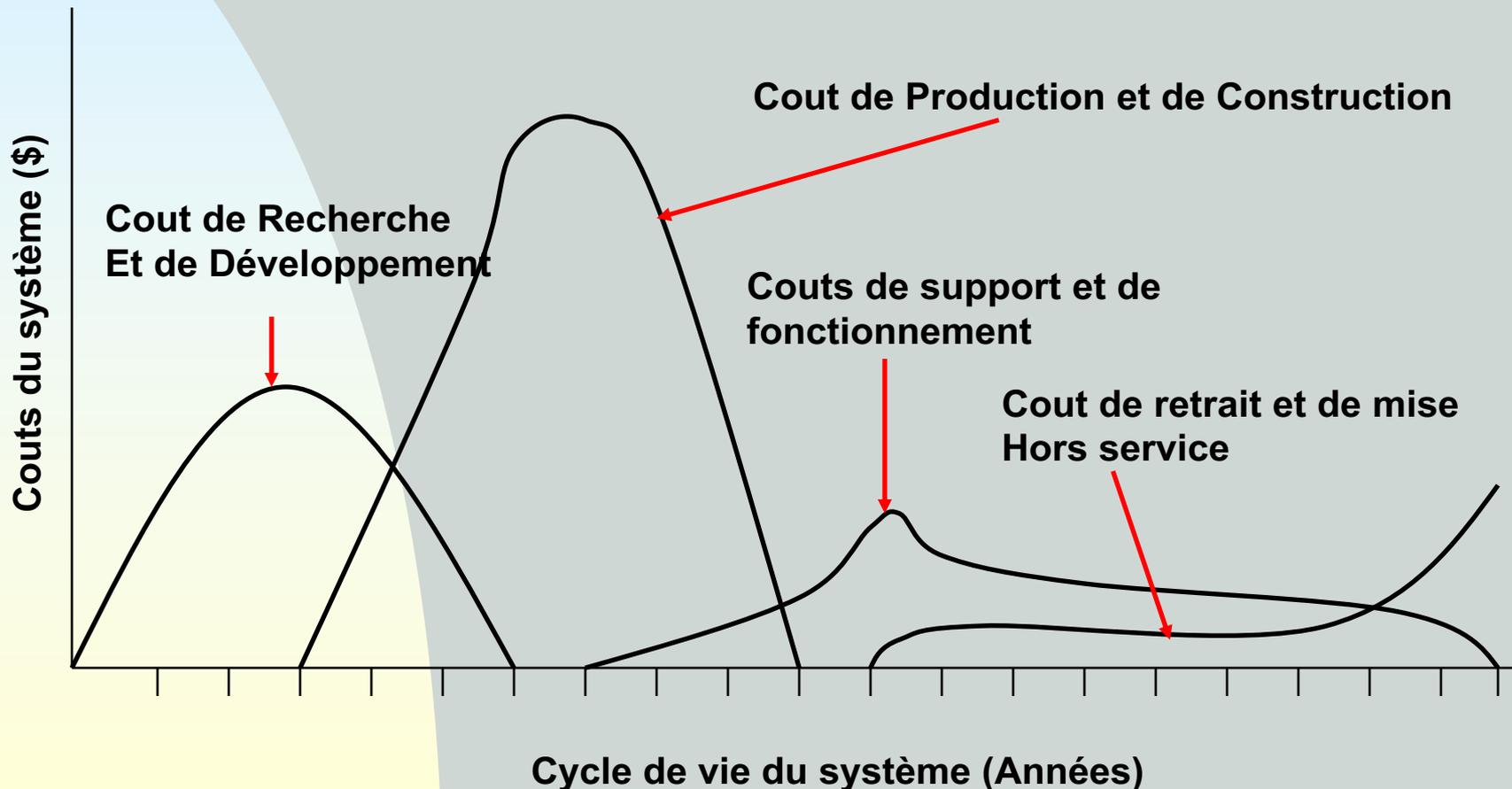
**L'inflation représente l'augmentation du prix unitaire d'un produit ou activité et est généralement liée aux couts de matériaux et de main d'œuvre;**

- 1. Facteurs d'inflation appliqués aux couts de main d'œuvre sont dus aux augmentations de salaires, des niveaux de vie et des charges. Ces facteurs doivent être déterminés pour différentes catégories de travail (engineering, techniciens, fabricants, construction, service...)**
- 2. Facteurs d'inflation appliqués aux couts de matériaux sont dus à la disponibilité des matériaux (ou indisponibilité), aux caractéristiques de demande et d'offre, aux augmentations des couts de matériaux brutes, aux couts de transport et manutentions... Ces facteurs varient avec chaque type de matériaux et doivent être estimés pour chaque année du cycle de vie.**

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) **Etape 7.**

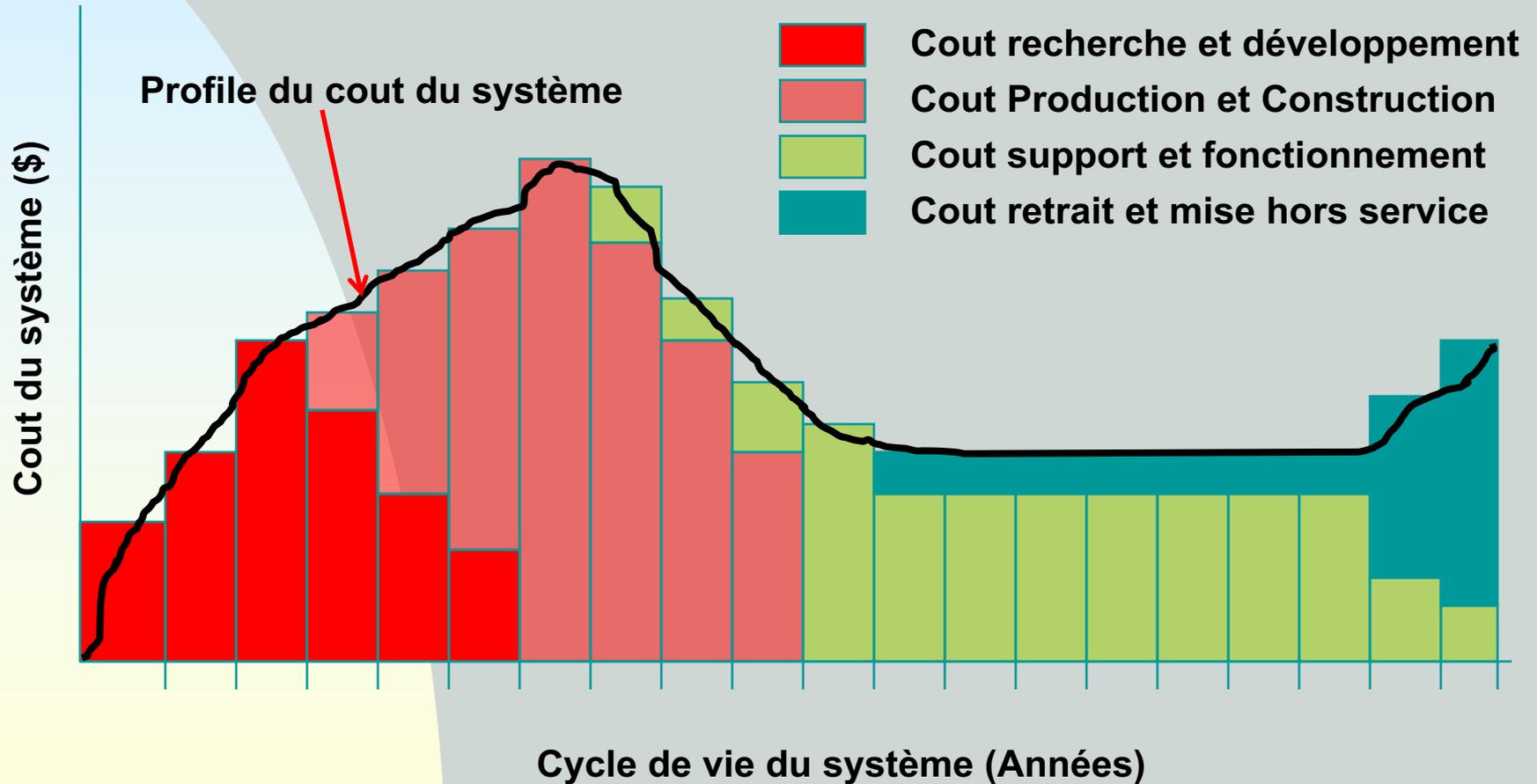
### Résumé des couts

Les résultats de collecter et de résumer les couts enregistrés peuvent être présentés selon les graphes suivants:



# Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) **Etape 7.**

## Résumé des couts



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

**Etape 8.** Identifier les contributeurs de couts élevés et établir les relations cause-effet.

Certaines catégories de couts sont des contributeurs de couts élevés. Il faut donc savoir les causes majeurs de ces couts élevés.

Avec la traçabilité, on peut le faire. Un élément qui consomme beaucoup de ressources pour le maintenir, un procès qui exige des gens avec un degré élevé de compétence...

L'objectif est d'identifier les caractéristiques liées au design spécifiques qui tendent à influencer sur les couts du système dans une perspective de cycle de vie.

En identifiant les causes, il faut voir s'il ya d'autres alternatives avec les memes caractéristiques et à un cout global moins élevé.

### **Etape 9.** Conduire une analyse de sensibilité.

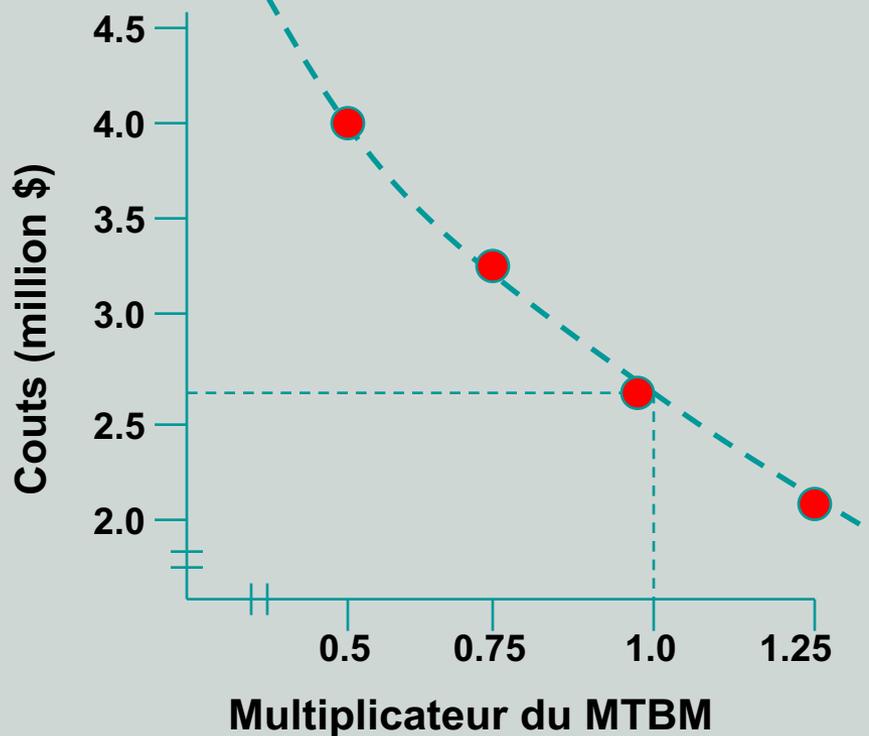
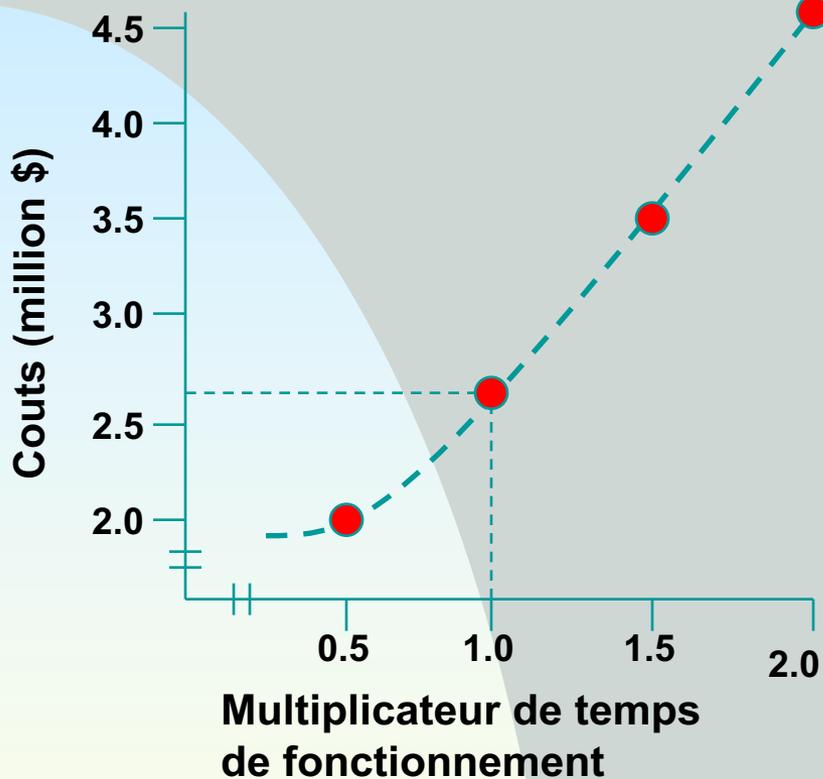
Généralement les données en input sont inadéquates, les données de prédictions sont faibles, les hypothèses sont plus ou moins fausses au début... ce qui conduit à des données généralement incertaines.

Il faut donc faire une analyse de sensibilité et savoir la sensibilité des résultats par rapport aux variations possibles des facteurs incertains.

Ainsi, l'analyste doit sélectionner les contributeurs élevés, identifier les facteurs input critiques qui impactent les couts, changer certains de ces facteurs à l'étape d'input et déterminer les changements dans le cout à l'output.

**Exemple,** si on considère le temps de fonctionnement du système et le MTBM, en utilisant un modèle de cout de cycle de vie, une légère variation entraine une variation dans le cout. On peut représenter ça en graphe.

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite) Etape 9



**Une petite variation de temps et du MTBM conduit à une grande variation de couts. C'est un indicateur de l'importance du risque associé avec les décisions prises à la base des résultats.**

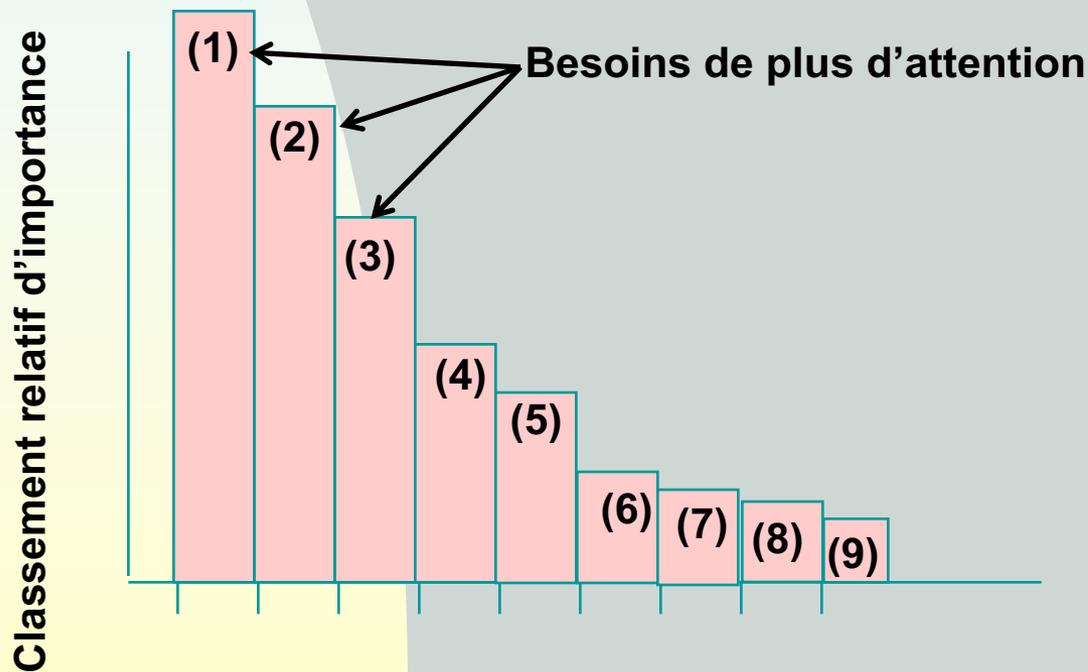
## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

**Etape 10.** Construire un diagramme Pareto et identifier les priorités pour la résolution du problème.

Les parties à pbs identifiées en étapes 8) et 9) doivent être évaluées et priorisées en termes de degré d'importance.

Zones risque-élevé/cout-élevé reçoivent le plus d'attention managériale.

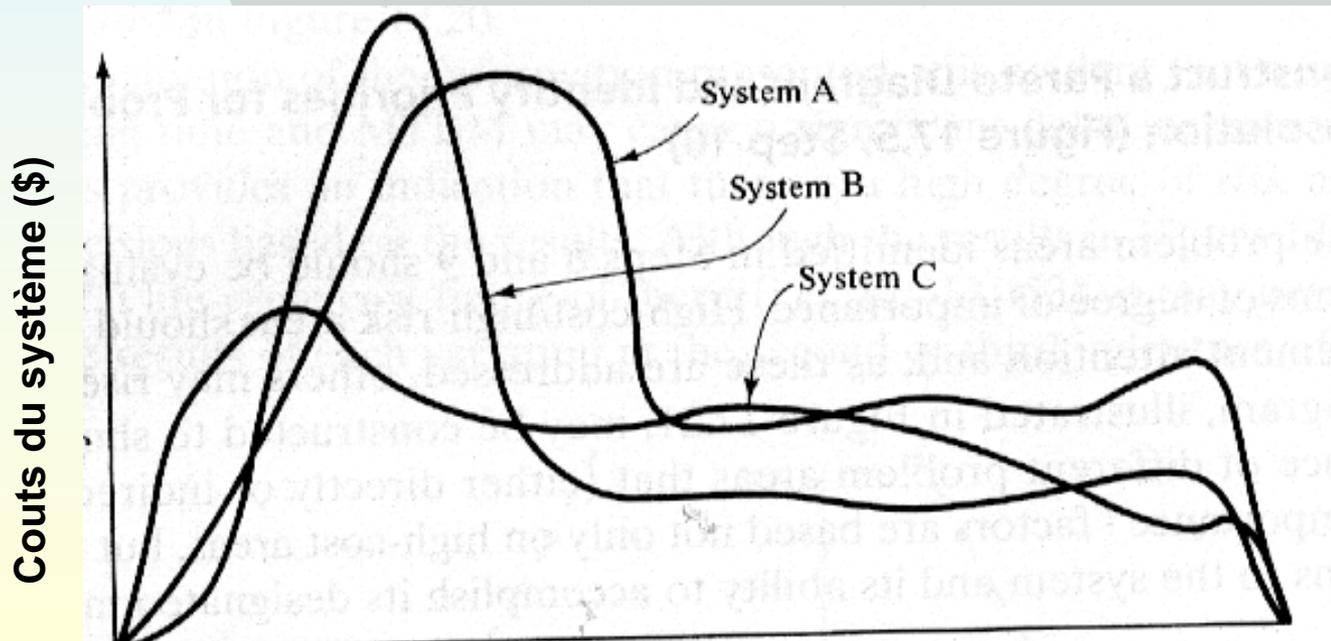
Un diagramme Pareto peut être construit pour montrer les importances relatives des zones qui peuvent causer des couts élevés.



## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

**Etape 11.** Identifier les alternatives faisables pour l'évaluation du design.

Ayant la visibilité nécessaire relative aux pbs les plus critiques et de leurs causes, il faut ensuite investir les alternatives possibles pour accomplir les fonctions applicables. Il faut faire des trade-offs de design pour choisir peu d'alternatives faisables pour l'évaluation. En représentation en cout de cycle de vie, ça peut donner ce qui suit:



Cycle de vie du système (Années)

## Exemple d'analyse du Cout de cycle de vie (suite)

**Etape 12.** Evaluer les alternatives faisables et sélectionner l'approche préféré.

Les étapes de 1 à 10 décrit l'approche d'analyse LCC appliqué à une seule configuration du système.

L'étape 11 introduit les exigences d'introduire des alternatives et de les évaluer sur une base équivalente.

Il faut maintenant étendre l'analyse LCC lorsqu'il ya plusieurs options considérées.

Il faut évaluer ensuite à la base des couts du cycle de vie et choisir enfin l'alternative préféré.

**Merci. Fin du chapitre 7**

# *Systems Engineering II*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

**Semaine Prochaine**

## **Optimisation dans le design et les opérations**