

Le budget d'un projet est un élément important dans l'étude d'un projet puisque les résultats économiques auront un impact sur la réalisation ou non et sur la conception du projet. Quelle que soit la méthode d'estimation retenue, la démarche d'estimation des coûts suppose :

- D'assurer la collecte et le stockage de données historiques sur les coûts des projets qui vont servir de documentation de référence ;
- D'analyser les caractéristiques techniques et économiques du projet à estimer afin de mettre en œuvre la plan de l'estimation (données de références, méthodes retenues, mises à jour nécessaires...) ;
- D'apprécier le degré de précision des chiffres obtenus afin de constituer les provisions nécessaires.

I. Présentation générale des méthodes d'estimation des projets de type « unité industrielle »

L'objectif de l'estimation des coûts est de produire, en fonction de la phase d'avancement du projet, des informations permettant d'établir le budget du projet. Les méthodes d'estimation du projet retenues dépendent de la phase d'avancement du projet. En conséquence, le choix d'une méthode d'estimation dépend du niveau d'information disponible.

	Etudes initiales	Etudes de faisabilité	Etudes de base : conception du projet	Développement du projet
Catégories de budget	Budget « ordre de grandeur »	Budget « préliminaire »	Budget « d'objectif »	Budget initial ou contractuel
Méthode d'estimation	Méthode globale ou de similitude	Méthode modulaire ou méthode des facteurs	Méthode semi-détaillée	Méthode détaillée
Niveau de précision	40 à 50 %	25 à 30 %	15 à 20 %	5 à 10 %

Le niveau de précision de l'estimation peut être déterminé de manière plus précise par des méthodes statistiques telles que la méthode de Monte Carlo. Nous verrons l'utilisation du logiciel @Risk permettant de mettre en œuvre cette méthode.

1. Méthode de similitude ou de prorata de capacité

Il s'agit d'une méthode globale qui permet de fournir un budget de type « ordre de grandeur » et qui a pour avantage de nécessiter peu d'information et d'être rapide à mettre en œuvre.

Informations nécessaires pour une estimation « ordre de grandeur »

Unité de production	Produit industriel
Description sommaire ou avant-projet	Spécification technique du besoin
Quantité à produire, nature, spécificité du produit	Quantité à produire, nature, spécificité du produit
Site	Caractéristiques du client
Taille et fonctions	Taille et fonctions
Environnement (Systèmes, équipements)	Utilisation / environnement (systèmes, équipements)

Cette méthode repose sur l'analogie avec le coût d'une unité existante utilisant des procédés identiques, mais ayant une capacité de production différente :

$$\frac{I_{est}}{I_r} = \left(\frac{C_{est}}{C_r} \right)^f$$

avec :

I_{est}, I_r : montants des investissements estimés et réels ;

C_{est}, C_r : capacités estimées et réelles ;

f : coefficient d'échelle.

En général, f est inférieur à 1 du fait que les coûts d'investissement croissent moins vite que la capacité. Il est estimé à partir des coûts d'unités de production similaires mais de tailles différentes. En pratique, il y a deux méthodes pour l'obtenir :

- Sur un graphique, en portant le coût historique des installations ou équipements en fonction du paramètre dimensionnant ; le coefficient d'échelle est alors égal à la pente de la courbe qui passe entre les points ;
- En utilisant les coefficient d'échelle publiés par la presse spécialisée pour des conceptions standards ;
- En l'absence d'informations précises, une règle de bonne pratique consiste à retenir un coefficient d'échelle égal à 0,6.

En conclusion, la méthode de similitude s'applique lorsque les unités comparées sont de conception similaire et de capacités pas trop différentes. En particulier, il faut vérifier que la différence de capacité ne conduit pas à des modifications trop importantes du schéma de l'installation (type de site industriel, infrastructures, facilités...). Elle doit tenir compte de facteurs d'ajustements liés à la localisation et à la date de référence (indexation, localisation...) qui seront présentés par la suite.

2. Méthode modulaire

La mise en œuvre de cette méthode permet d'obtenir un budget préliminaire utile pour étudier la faisabilité économique du projet et élaborer un plan de financement. Elle suppose un niveau d'information plus précis que la méthode précédente et s'appuie sur des études techniques suffisantes pour déterminer :

- Les unités de procédés et leur capacité ainsi qu'un avant-projet sur les éléments dimensionnant des équipements principaux ;
- Le choix quasi-définitif des procédés ;
- Les infrastructures, facilités, utilités et stockages nécessaires au projet.

Information nécessaire pour une estimation modulaire

Unité de production	Produit industriel
Equipements principaux Schéma d'implantation générale Schéma de fonctionnement du processus industriel Dimensions et conception de l'ouvrage Localisation et connaissance du site Calendrier prévisionnel de la réalisation	Etude de faisabilité technique Analyse fonctionnelle Caractéristiques globales Configuration géométrique Environnement Planification générale

Le principe de la méthode est basé sur l'existence d'un rapport entre le coût d'un équipement (base du module) et celui de tout ce qui doit lui être associé. Pour passer du coût de l'équipement principal au coût d'un sous-ensemble, on utilise un facteur modulaire qui comprend le coût :

- Des équipements secondaires : tuyauterie, électricité, instrumentation....
- Du transport des équipements et matériels ;
- Des travaux de montage de l'équipement principal et des équipements secondaires ;
- De la préparation du site, des bâtiments....
- Et des charges indirectes imputées au budget du projet.

Les coûts des équipements principaux nécessaires à l'ouvrage est déterminé sur la base de données de coûts ou estimé sur la base d'un coefficient d'échelle :

$$\frac{M_{est}}{M_r} = \left(\frac{C_{est}}{C_r} \right)^f$$

avec :

M_{est}, M_r : montants des investissements estimés et réels ;

C_{est}, C_r : capacités estimées et réelles ;

f : coefficient d'échelle spécifique pour chaque type d'équipement ou de matériel principal.

En supposant que l'ouvrage est composé de n équipements principaux dont les coûts respectifs sont notés M_i , la méthode des facteurs procède en deux étapes :

- Pour chaque équipement principal, on estime son coût total $(M_i + T_i)$ en multipliant le coût de l'équipement par le facteur modulaire :

$$(M_i + T_i) = F_i M_i ;$$

- Le coût total du projet est obtenu en faisant la somme des $(M_i + T_i)$ pour l'ensemble des équipements principaux du projet.

$$C = \sum_{i=1}^n (F_i M_i)$$

Il faut ensuite tenir compte de la localisation et de la date de référence.

Il existe en fait plusieurs variantes de cette méthode comme nous allons le voir maintenant.

2.1. Méthode de Lang

C'est une méthode ancienne et assez sommaire. Le coût total à estimer est obtenu en multipliant la somme des coûts des équipements principaux par un facteur modulaire global :

$$C_{projet} = \left(\sum_{i=1}^n M_i \right) \times \psi$$

ψ étant le facteur modulaire.

A titre d'illustration, quelques facteurs modulaires sont indiqués dans le tableau suivant :

Types de procédés	Facteurs
▪ Procédé traitement des produits solides	3,10
▪ Procédés traitant des produits solides et liquides	3,63
▪ Procédé traitant des liquides	4,74
Types d'unités	Facteurs
▪ Fabrication de produits	2,3 à 4,2
▪ Production d'utilités	1,7 à 2,6
▪ Implantation des stockages	2,8 à 4,8

2.2. Méthode de Hand

Cette méthode permet d'estimer les coûts par type d'équipement principal. Le facteur modulaire pour chaque type d'équipement principal prend en compte :

- Le coût des matériels secondaires : tuyauteries, électricité, instrumentation...
- Le coût des matériels et matériaux de chantiers ;
- Le coût de la main d'œuvre de chantiers ;
- Les transports, taxes et assurances ;
- Les services d'ingénierie et coûts indirects.

En conséquence, le coût total du projet est estimé par :

$$C_{\text{projet}} = \left(\sum_{i=1}^n (M_i \times \psi_i) \right)$$

Hand a proposé les facteurs multiplicatifs suivants :

- 4 pour les réservoirs, les pompes et l'instrumentation ;
- 3,5 pour les échangeurs de chaleur ;
- 2,5 pour les compresseurs ;
- 2 pour les chaudières.

D'autres auteurs ont également proposé des tables de facteurs multiplicatifs.

3. Méthodes détaillées et semi-détaillées

3.1. Principes

Ces méthodes reposent sur la définition des différents postes constituant l'investissement. Cette définition repose sur l'explicitation :

- de la structure de décomposition des coûts (*cost breakdown structure*), elle-même basée sur les tâches à accomplir pour réaliser le projet et les ressources nécessaires (*work breakdown structure*) ;
- du « cost code » ou plan des comptes du projet qui est un système de classement des coûts par catégories.

La structure de ce « cost code » est basée sur une découpe logique du projet de construction en éléments contrôlables pour répondre aux deux objectifs suivants :

- estimation de l'investissement ;
- maîtrise de l'investissement durant la réalisation du projet.

Les différents postes constituant l'investissement vont correspondre à toutes les dépenses et à la marge de la société d'ingénierie pour réaliser le projet. Les principaux postes constituant le coût de l'investissement sont en général les suivants :

- les équipements principaux ;
- les matériels secondaires ;
- l'emballage et le transport jusqu'au site ;
- les travaux de construction, incluant les installations temporaires de chantier ;
- les services d'études d'approvisionnement, de supervision de chantier et de démarrage ;
- les études spécialisées (topographie, sol, hydrométrie, bruit, pollution...) ;
- les frais financiers : cautions et charges financières connues ;
- les révisions de prix ;
- les assurances de base : responsabilité professionnelle, transport du matériel et du personnel, chantier (TRC) et démarrage ;
- les assurances pour les contrats à l'exportation : risque de fabrication et risque crédit, risque économique et risque sur taux de change ;
- les frais généraux et le bénéfice de la société.

A l'ensemble de ces postes, il faut ajouter les provisions techniques et imprévus, ainsi que les provisions nécessaires pour couvrir les risques d'inflation et de change sur la durée du projet.

Les méthodes détaillées et semi-détaillées étant réalisées sur la base de prix contractuels, il n'y a pas lieu de corriger l'évaluation finale par un facteur de localisation.

3.2. Le découpage des coûts et le *cost code*

En premier lieu, le découpage des coûts s'appuie sur la décomposition physique du projet (organigramme technique).

Le principe de découpage des coûts permettent de mieux cerner les éléments essentiels et de s'assurer de l'exhaustivité du chiffrage. La démarche est de type *bottom-up*. On part de l'installation principale pour arriver à l'ensemble de ses composants.

Au premier niveau correspondent les investissements des unités de fabrication et les investissements d'installation générale. A l'intérieur de ces deux grandes catégories, on distingue :

- les frais directs qui comprennent les équipements principaux, les matériels banalisés, les matériels complémentaires et les marchés de travaux ;
- les frais indirects qui comprennent les frais d'étude, d'ingénierie, de formation du personnel, des assurances et des taxes.
- Les imprévus techniques qui sont incorporés, si nécessaire, dans les deux catégories précédentes.

4. Synthèse : nature des informations et estimation

Méthodes	Globale	Modulaire	Semi-détaillée	Détaillée
Niveau de précision	40/50 %	25/30 %	15/20 %	5/10 %
Coût de l'unité	E/F	-	-	-
Equipement principal	-	E/F	P/E	P
Matériel secondaire	-	F	E	P/E
Marchés de construction	-	F	E/F	P/E
Services ingénierie	-	F	E/F	P/E
Parts de :				
P			20%	80 %
E		20 %	60 %	20 %
F	100 %	80 %	20 %	
P : prix contractuels E : estimations de coûts sur base de données historiques F : approximations par ratios, facteurs, formules				

II. Prise en compte de la localisation sur le coût des investissements

La question se pose souvent de comparer des coûts d'installations localisées dans divers pays. En effet, lors d'une estimation préliminaire ou pour vérifier une estimation détaillée, il est tentant d'utiliser une référence de coût d'un investissement existant, même si celui-ci se situe dans un autre pays. Pour autant, les conditions économiques entre les différents pays n'étant pas identiques, on utilise un « **facteur de localisation** » qui permet de corriger ces différences.

La valeur d'un « facteur de localisation » exprime, à un moment donné, le prix relatif des facteurs de production d'un pays par rapport à un autre pays servant de base. Divers auteurs et institutions (par exemple, N.Boyd ou le « Stanford Research Institute ») proposent des valeurs de facteurs de localisation pour différents pays.

1. Eléments composant le facteur de localisation

Le facteur peut se définir par le rapport du coût d'un projet dans un pays donné au coût du même projet dans un pays de référence. En conséquence, ce facteur est composé de multiples éléments :

- Facteurs relatifs à l'investissement de base

Qualitatifs (effet indirect)	Quantitatifs (effet direct)
- Matériaux disponibles – production locale ; - Productivité de la main d'œuvre ; - Contraintes climatiques ; - Contraintes d'accès et de circulation ; - Contraintes sociales ; - Encadrement disponible ; - Réglementation locale, certification, spécifications du maître d'ouvrage et de l'ingénierie.	- Coûts unitaires matériaux ; - Coûts horaires de la main d'œuvre ; - Transport international ; - Transport local ; - Indemnités d'expatriation, voyages, hébergement ; - Préparation du site.

- Facteurs pouvant être spécifiques au projet :
 - Moyens d'accès : routes, ports, aéroports ;
 - Installations provisoires du site ;
 - Bases intermédiaires hors site ;
 - Télécommunications.
- Facteurs politico-économiques :
 - Monopoles locaux – fournisseurs imposés ;
 - Taux de change ;
 - Concurrence locale ;
 - Taxation.

2. Méthode de calcul du facteur de localisation

Les principales causes de différences de coûts entre un pays de référence et un autre sont :

- Les différences de productivité de la main d'œuvre ;
- Les différences de coûts des équipements et des matériels ;
- Les coûts de transport et taxes douanières (pour le matériel importé) ;
- La localisation du site et les conditions géographiques.

Une analyse détaillée des différents coûts d'une unité devrait théoriquement permettre de déterminer le facteur de localisation. Cependant pour des calculs

relatifs à des projets d'investissement importants, le nombre de données à analyser est tel que le facteur est difficile à calculer.

La méthode de calcul que nous allons suivre repose sur un nombre limité de données.

Le projet est tout d'abord caractérisé par ses principaux éléments ou activités. Par exemple :

Eléments ou activités	Coûts
- Equipements, machines structures ;	C_1
- Montage et installation ;	C_2
- Génie civil, construction : matériaux et main d'œuvre ;	C_3
- Bureau d'étude, ingénierie, supervision	C_4
Coût total	$C = \sum_{i=1}^4 C_i$

De manière plus générale, le coût d'une unité dans un pays de référence O sera :

$$C^O = \sum_{i=1}^n C_i^O$$

le coût de l'unité dans le pays 0 peut également être caractérisé par le pourcentage de coût des différents éléments ou activités :

$$\rho_i = \frac{C_i^O}{C^O}$$

Par exemple, pour une unité de type chimique :

- Equipements, structures ;	0,47
- Montage	0,25
- Génie civil, construction ;	0,13
- Bureau d'étude, supervision	0,15
	1

Ce type d'unité est caractérisé par une distribution de coûts où l'équipement est l'élément dominant.

On suppose maintenant que cette unité est construite non plus dans le pays 0, mais dans le pays X. En conséquence son coût devient :

$$C^X = C^O + \Delta C^O$$

$$\text{avec } \Delta C^O = \sum_{i=1}^n \Delta C_i^O$$

En conséquence, on peut écrire :

$$\frac{\Delta C^O}{C^O} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i^O}{C^O} \times \frac{C_i^O}{C_i^O}$$

$$\text{ou } \frac{\Delta C^O}{C^O} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta C_i^O}{C_i^O} \times \rho_i$$

on pose $\alpha_i = \frac{C_i^X}{C_i^O}$, c'est à dire le rapport entre le coût d'un élément dans le pays X et le coût de ce même élément dans le pays de référence. En conséquence :

$$\frac{\Delta C_i^O}{C_i^O} = \frac{C_i^X - C_i^O}{C_i^O} = \alpha_i - 1 = \beta_i$$

On peut donc écrire :

$$\frac{\Delta C^O}{C^O} = \sum_{i=1}^n \rho_i \times \beta_i$$

ρ_i dépend du type d'unité construite et peut donc être connu par l'expérience acquise de la construction d'unités dans un pays donné ;

β_i étant fonction des différences entre les économies des pays 0 et X (différences dans le coût de la main d'œuvre, des équipements...) peut être connu à partir des statistiques économiques.

On a donc :

$$\frac{C^X}{C^O} = \frac{C^O + \Delta C^O}{C^O} = 1 + \frac{\Delta C^O}{C^O} = 1 + \sum \rho_i \times \beta_i$$

or : $\alpha_i = \beta_i + 1$

$$\text{donc } \frac{C^X}{C^O} = 1 + \sum \rho_i (\alpha_i - 1) = \sum \rho_i \cdot \alpha_i$$

Application : on cherche à calculer le facteur de localisation dans la cas d'une raffinerie de pétrole au Nigéria.

Liste des éléments de coût	Structure du	Facteur	Coût au Nigéria
----------------------------	--------------	---------	-----------------

	coût en Europe	partiel de localisation	
Equipements, matériels, transports sur le site	54,5	1,11	60,85
Montage et installation, génie civil, construction	32	2,5	79,95
Bureau d'études, ingénierie, supervision	13,5	1,2	16,2
Total	100		157
Facteur de localisation		1,57	

3. Facteur de localisation et part locale dans l'ingénierie

La part locale désigne le niveau de participation d'entreprises locales dans la réalisation du projet. Suite à des études statistiques, il s'avère qu'une relation existe entre le niveau du facteur de localisation et le niveau de la part locale : plus le pourcentage de part locale est élevé, plus le facteur de localisation sera bas et inversement, plus la part locale sera faible et plus le facteur de localisation sera élevé.

Lorsque le facteur de localisation est supérieur à 1,5, il faut s'attendre à ce que la presque totalité du projet soit réalisé par l'extérieur. Lorsque le facteur de localisation est inférieur à 1,5, le pays dispose d'une plus grande capacité technologique et est susceptible d'exécuter une part importante du projet. Cette part dépend aussi de la taille du projet.

Cependant, cette analyse est purement statistique : les valeurs du facteur de localisation et du niveau de participation locale sont valables pour un projet donné à un instant donné.

La part locale évolue avec le développement de la capacité technologique du pays. Si nous reprenons l'exemple de la construction d'une raffinerie de pétrole au Nigéria, l'augmentation de la part locale entre 1986 et 1978 a permis de réduire le facteur de localisation de 1,57 à 1,40.

III. Risques et aléas du projet et provisions

L'estimation du coût du projet nécessite de tenir compte des risques et aléas spécifiques au projet. L'AFITEP et l'AFNOR définissent le risque comme étant *« la possibilité que se produise un événement, généralement défavorable, ayant des conséquences sur le coût ou le délai d'une opération et qui se traduit mathématiquement par un degré de dispersion des valeurs possibles autour de la valeur probable quantifiant l'événement et une probabilité pour que la valeur finale reste dans des limites acceptables »*.

Cette définition semble restrictive car le risque n'est pas toujours probabilisable. On peut donc définir le risque (Giard, 1991, page 119) comme : « ***la possibilité qu'un projet ne s'exécute pas conformément aux prévisions de date d'achèvement, de coût et de spécifications, ces écarts par rapport aux prévisions étant considérés comme difficilement acceptables*** ».

1. Identification des risques d'un projet d'ingénierie

Les risques et aléas du projet peuvent avoir pour origine :

- Les éléments politiques et économiques du pays de construction :
 - Inflation ;
 - Taux de change et stabilité de la monnaie ;
 - Stabilité politique et économique ;
 - Evolutions de la législation.
- Les éléments spécifiques au lieu de construction :
 - Pénuries de main d'œuvre ou autres ressources ;
 - Conditions météorologiques.
- Les éléments liés aux obligations du client ou maître d'ouvrage :
 - Mise à disposition du site de construction et des éléments extérieurs ;
 - Formalités auprès des autorités locales ;
 - Signatures des accords de licence ;
 - Retards de paiement et non paiement.
- Les éléments liés aux obligations de l'ingénierie :
 - Erreurs ou omissions dans la définition technique du projet ;
 - Erreurs ou omissions dans l'évaluation du budget et des éléments de planning.
- Risques liés aux clauses et garanties contractuelles :
 - Monnaie de règlement et termes du paiement (risque de change) ;
 - Prix ferme et non révisable (risque d'inflation) ;
 - Délai garanti ;
 - Garanties sur les matériels et équipements entre la réception provisoire et la réception définitive ;
 - Garantie décennale sur les ouvrages de génie civil et bâtiments.
- Eléments liés à la défaillance des fournisseurs et des sous-traitants :
 - Ruptures de stocks des fournisseurs ;
 - Modifications de délais de livraison ou de réalisation ;

- Faillites ;
 - Incidents durant le transport ou durant le montage et démarrage des matériels et équipements.
- Autres éléments difficilement prévisibles :
- Désastres naturels ;
 - Actes de guerre et de sabotage ;
 - Grèves...

Un des manuels classiques d'estimation « Jelen's Cost and Optimization Engineering » de K. Keneth propose un tableau des différents facteurs pouvant influencer le coût d'un projet en distinguant les facteurs internes et les facteurs externes :

– *Facteurs externes.*

<u>Système politique</u> Régime politique Environnement politique: stable/instable Corruption Attitude vis à vis des affaires Imposition, taxation, législation Politique de change	<u>Economie</u> Niveau de développement Conditions de marché Niveau de vie Taux d'inflation	<u>Système social et de travail</u> Culture et coutumes Nombre de langues Religion Vacances Attitude vis à vis des affaires / du gouvernement Système syndical Temps de travail quotidien Durée hebdomadaire du travail Niveau d'éducation et de formation Productivité Droit du travail, pratique
<u>Système juridique</u> Coût et disponibilité de l'assistance légale système judiciaire - attitude à l'égard des entreprises Pratiques contractuelles Voies de recours	<u>Etat du développement technologique</u> Capacité des fournisseurs Capacité des fournisseurs de services	<u>Système financier</u> Disponibilité des capitaux Fluctuations des taux de change Coût de l'argent Moyens de paiement Coût et disponibilité des assurances

– *Facteurs internes*

<u>Localisation</u> Accessibilité aux transports, communications, services et soutien technique Disponibilité de la main d'oeuvre et des matières Caractéristiques du site: ressources naturelles, topographie, état des sols, utilisations précédentes, conditions météorologiques... Espace disponible: usines, bureaux.	<u>Politiques de management</u> Sécurité Qualité Formation Avantages aux salariés Relations	<u>Type d'industrie</u> Haute technologie Intensive en travail Service / Fabrication / Industrie de process Importance des produits liés et des déchets
---	--	--

2. Evaluation des risques portant sur les coûts du projet

Tout coût, estimé ou mesuré, est de nature statistique. En théorie, il est possible de construire une fonction de densité de probabilité pour un coût. Un coût peut donc être caractérisé par quelques valeurs caractéristiques de sa densité de probabilité :

- la valeur moyenne du coût;
- la valeur modale du coût, c'est à dire la valeur la plus probable;
- la valeur maximale et la valeur minimale;
- l'écart-type du coût.

L'évaluation du risque attaché à l'estimation d'un coût global suppose tout d'abord d'avoir estimé les fonctions de distribution des estimations individuelles de coût.

A) Détermination de la fonction de densité d'une estimation individuelle

Les données nécessaires à l'estimation individuelle d'un coût sont deux types: soit de données historiques, soit des jugements d'experts. Les données historiques supposent l'existence de bases de données internes ou externes à l'entreprise.

Certaines méthodes, comme les méthodes d'estimation analogique ou paramétrique peuvent utiliser à la fois des données historiques et des jugements d'experts. En conséquence, la méthode permettant de déterminer la fonction de distribution du coût sera adaptée à la nature des données.

a) Estimation du coût à partir de données historiques.

Dans ce cas, les données observées peuvent être considérées comme un échantillon aléatoire de la distribution de probabilité à identifier. La démarche peut être schématisé en quelques étapes :

- déterminer si la variable dont on cherche à obtenir la distribution est discrète ou continue ;
- utiliser les données historiques pour définir directement une distribution empirique ou pour déterminer une distribution théorique. Dans ce dernier cas, l'utilisation d'une fonction de distribution connue, ayant une expression mathématique, simplifie le problème puisqu'il suffit de déterminer les paramètres significatifs ;
- déterminer si la variable statistique représentant l'estimation individuelle du coût est indépendante ou non d'autres variables du modèle du coût global. Ce

point est important lorsqu'on utilise la simulation pour définir la fonction de distribution du coût global.

Cette tâche est grandement facilitée par l'utilisation de logiciels permettant l'ajustement d'une distribution observée à une distribution théorique .

b) Estimation du coût à partir de l'opinion d'experts.

Dans ce cas, la loi de probabilité du coût est obtenue à partir des opinions des experts qui réalisent l'estimation du coût. L'estimation de la loi de probabilité d'un coût à partir d'opinions d'experts est utilisée lorsque les données sur les coûts n'ont pas été collectées par le passé ou lorsque les données collectées ne sont plus pertinentes pour estimer les coûts du projet. Ce dernier cas de figure se produit notamment en cas de changements importants : utilisation de technologies entièrement nouvelles, évolutions importantes dans l'environnement commercial...

L'incertitude liée aux estimations subjectives a deux origines :

- l'incertitude de la variable estimée elle-même ;
- l'incertitude provenant du manque de connaissance de l'expert sur la variable.

En pratique, il n'est pas possible de différencier ces deux sources d'incertitude.

En conséquence, le processus de détermination de probabilités subjectives par des experts n'est pas exempt de biais et d'erreurs systématiques. D. Vose (1996) présente quelques biais traditionnels liés aux heuristiques que les experts emploient pour fournir des estimations subjectives :

- l'expert utilise sa mémoire des occurrences passées de l'événement pour fournir l'estimation. En conséquence, la probabilité d'occurrence de l'événement sera sous-estimée lorsqu'il est difficile pour l'expert de se souvenir des occurrences passées de l'événement.
- un deuxième type de biais provient du fait que l'expert se concentre sur un détail particulier du problème et occulte l'ensemble du problème.
- l'expert peut également avoir trop confiance dans son estimation de la valeur modale de survenance de l'événement et, en conséquence, mésestimer l'étendue des valeurs que peut prendre le coût.

Ces biais doivent être complétés par d'autres éléments tels que, par exemple, ceux qui relèvent de la culture de l'expert ou de l'organisation dans laquelle il se trouve et qui peuvent grandement fausser les estimations.

Les distributions de probabilité s'obtiennent, en pratique, lors d'entretien avec des experts. Les distributions statistiques utilisées pour modéliser l'opinion des experts peuvent être de deux types (Giard, 1991) :

- des distributions statistiques empiriques : on obtient une fonction de répartition d'un coût directement à partir d'entretiens.

- des distributions statistiques théoriques : dans ce cas, l'objectif est de déterminer à partir des opinions des experts quelques paramètres clés de la distribution théorique privilégiée. Les principales distributions théoriques retenues, en pratique, sont (Giard, 1991 ou Vose, 1996) :
 - la distribution uniforme ;
 - la distribution Bêta ;
 - la distribution triangulaire ;
 - et la distribution normale.

Le choix d'une loi de distribution est liée à la forme générale de sa courbe de distribution qui apparaît acceptable par rapport au degré de connaissance des choses par l'expert.

B) Evaluation du risque attaché à l'estimation du coût du projet

L'évaluation globale du risque attaché à l'estimation du coût repose sur des méthodes différenciées selon la phase du cycle de vie du projet de développement du produit nouveau (Bellut, 1990).

En phase de conception préliminaire, la quantification du risque se base sur l'utilisation de pourcentages: Il s'agit d'attribuer une fourchette en pourcentage autour de la valeur centrale pour tenir compte des risques associés au projet. Cette technique est associée à la méthode d'estimation par analogie.

En phase de conception détaillée, le risque est quantifié selon la méthode des moments. La méthode des moments remplace chaque variable statistique par sa moyenne et sa variance et utilise les règles suivantes pour estimer la moyenne et la variance du coût global:

- la moyenne d'une somme de variables aléatoires est égale à la somme de leur moyenne : il s'agit d'une propriété générale de la moyenne.

$$\overline{(x + y)} = \bar{x} + \bar{y}$$

- la moyenne du produit de deux variables aléatoires est égal au produit de leur moyenne ;

$$\overline{(x \cdot y)} = \bar{x} \cdot \bar{y}$$

- la variance de la somme de deux variables aléatoires indépendantes est égale à la somme de leur variances :

$$Var(x + y) = Var(x) + Var(y)$$

- de même, le variance du produit de deux variables aléatoires indépendantes est égale au produit des variances :

$$Var(x \cdot y) = Var(x) \cdot Var(y)$$

On estime que le résultat suit une distribution normale, ce qui suppose que le nombre de variables aléatoires entrant dans le modèle soit élevé.

Les hypothèses implicite de l'estimation des risques par la méthode des moments sont donc :

- que les différentes variables composant le coût global du projet sont indépendantes statistiquement ;
- que le résultat suit approximativement une distribution normale, ce qui suppose que, soit les différentes variables du modèle soient distribuées normalement (la somme ou la différence de deux variables aléatoires indépendantes, suivant des lois normales, suit elle-même une loi normale), soit le nombre de variables incertaines est grand (en pratique, supérieur à trente) et aucune de ces variables n'a d'impact significatif sur le résultat. Cette dernière condition résulte du théorème de la limite centrale.

Dans les phases ultérieures du projet, la quantification du risque associé au coût global est réalisée par la méthode de Monte-Carlo.

Le point de départ de la méthode est la fonction de répartition des coûts élémentaires aléatoires. Des nombres au hasard sont tirés et à chaque nombre est associé la valeur du coût déterminé par la fonction de répartition. Ainsi, un échantillon aléatoire de n valeurs du coût est déterminé.

La même technique est utilisée pour obtenir un échantillon aléatoire de n valeurs de chaque coût élémentaire. Le coût global, somme de variables aléatoires, est obtenu par application du modèle mathématique initialement déterminé.

La méthode ne peut être utilisée que lorsque les variables aléatoires élémentaires sont statistiquement indépendantes. Cependant, certains logiciels de simulation permettent de prendre en compte la dépendance des variables aléatoires élémentaires (Giard, 1990, page 120), en introduisant des coefficients de corrélation entre des tâches ou des activités. Ce point conduit à certaines difficultés :

- le coefficient de corrélation entre les coûts respectifs de deux tâches a un caractère symétrique, alors qu'en pratique, il y a une relation de causalité, entre les deux coûts, qui a rarement un caractère symétrique ;
- en pratique, l'estimation du coefficient de corrélation entre les coûts respectifs de deux tâches peut poser des difficultés d'estimation, notamment en raison des effets de propagation vers l'aval.

C) Utilisation d'outils informatiques.

Certains logiciels généralisent la méthode de Monte-Carlo et permettent d'obtenir la distribution de probabilités de résultats. La suite de logiciels d'aide à la décision , PALISADE, utilise la méthode de Monte-Carlo pour obtenir des distributions de probabilités de fonctions de variables aléatoires sous Microsoft Excel.

@Risk est un add-in qui étend les fonctionnalités de Microsoft Excel en permettant d'évaluer l'impact du risque sur une décision à partir de la méthode de Monte-Carlo. Le logiciel permet notamment de procéder à des analyses de scénarios et des analyses de sensibilité des résultats.

Grâce aux statistiques de simulation fournies par le logiciel, il est possible d'obtenir la probabilité d'atteindre un résultat cible (fonctionnalité intéressante notamment en situation de conception à coûts objectifs, un exemple est dans Giard, 1995) et d'identifier les données qui ont un impact sur ces valeurs cibles. Le logiciel permet également d'analyser la sensibilité des résultats.

Enfin, par rapport à la méthode de Monte-Carlo classique, le logiciel offre à l'utilisateur la possibilité d'introduire des coefficients de corrélation entre les différentes variables.

Il existe également un logiciel possédant les mêmes fonctionnalités adaptées à la gestion de projet : **@Risk for Project**, qui établit un lien entre **@Risk**, **Project** et Microsoft Excel. Il permet certaines analyses de risques pour les projets en utilisant la méthode de simulation de Monte-Carlo, notamment en termes de délais et de budget.

Le logiciel **Bestfit** permet de déterminer la «meilleure» fonction de distribution de probabilité applicable à une série de données. Le logiciel contient 28 fonctions de distribution théoriques. Le logiciel utilise un certain nombre de tests pour juger de l'adéquation de la distribution des données à la distribution théorique : Chi2, Anderson-Darling et Kolmogorov-Smirnov.

L'utilisation de ce type d'outil nécessite la constitution par l'entreprise de bases de données fiables.

3. Couverture et provisionnement des risques

Il existe trois méthodes pour se couvrir contre les risques liés à l'estimation des coûts du projet :

- Effectuer des études assez précises pour réduire les risques techniques ;
- Inclure dans le prix de vente une provision suffisante ;
- Prendre une assurance auprès d'un organisme habilité (assurances COFACE contre les risques politiques et les risques de change, caution bancaire concernant le risque de non-règlement...).

Les trois solutions sont en général utilisées en parallèle et suivant les types de risques.

On distingue en général deux types de provisions :

- Les provisions techniques, décidées entre l'estimateur et chaque service de réalisation, couvrant les aléas de définition et de cotation par catégorie ;

- Les provisions de projet, estimées d'un commun accord entre les différentes parties prenantes (commerciales, administratives, financières...) en fonction des assurances, du marché, de la position de l'entreprise...

3.1. Les provisions techniques

La détermination et le contrôle des provisions techniques nécessitent une évaluation et une affectation par « cost code ». Le niveau des provisions techniques sera à étudier pour chaque type de projet :

- Les installations nouvelles composées d'unités connues ;
- Les installations nouvelles composées d'unités construites pour la première fois (nouveaux procédés ou projets réalisés dans des conditions inhabituelles) ;
- La réhabilitation ou la modification d'unités anciennes.

L'évaluation des provisions techniques repose sur des informations historiques venant de projets équivalents ou sur l'expertise des membres de l'équipe.

Les provisions techniques peuvent couvrir les points suivants :

- Aléas au niveau des études en raison de changements qui s'avèrent nécessaires pour construire l'unité et la rendre opérationnelle, la nature de ces changements n'étant pas connue au moment de l'évaluation du coût du projet ;
- Des aléas pour tenir compte de quantités supplémentaires de facteurs dues aux pertes, vols, erreurs d'exécution ou accidents de mise en service ;
- Des aléas pouvant résulter d'erreurs commises et nécessitant de refaire des études, de modifier des équipements ou de refaire des travaux ;
- Des aléas résultant de variations des prix de certaines ressources.

A titre d'exemple, les pourcentages habituellement rencontrés pour couvrir les provisions techniques sont les suivants :

- Provision sur le coût des équipements principaux de 2 à 6 % ;
- Provisions sur quantitatifs :

▪ Tuyauteries	5 à 15 %
▪ Instrumentation, électricité	10 à 25 %
▪ Génie civil	10 à 20 %

3.2. Les provisions pour risques

Elles sont liées aux aléas résultant d'évènements non prévisibles, de postes budgétaires difficilement quantifiables ou du caractère aléatoire de l'estimation. Ces aléas sont la plupart du temps évalués au niveau de l'ensemble du projet.

C'est à ce niveau que l'utilisation des méthodes statistiques (type simulation aléatoire) est intéressante.

IV. Présentation générale des méthodes d'estimation des projets de développement de produits nouveaux

Phases	Analyse du marché Préconception	Etudes de faisabilité	Conception	Définition	Industrialisation	Qualification et homologation
Objectifs	Etudes du marché du futur produit.	Etudes du projet sous les aspects techniques, calendaires et financiers.	Choix définitif du concept et des exigences fonctionnelles des performances techniques et économiques attendues.	Etudes des documents techniques et économiques répondant à la conception.	Etudes des documents de production répondant à la définition.	Essais finaux de qualification. Vérifications économiques. Homologation du produit.
Documents	Dossier de présentation du projet	Cahier des charges	Spécifications du produit	Dossier de définition	Dossier industriel	Certificats d'homologation
Contrôles		Commission d'acceptation du programme de développement	Revue critique de conception	Revue critique de définition	Revue critique du premier article	Commission de qualification et d'homologation

Les diverses méthodes d'estimation ont en commun l'hypothèse implicite que l'expérience passée constitue une base raisonnable pour prévoir le futur. Cependant, les informations disponibles durant les phases du cycle de vie sont de nature différente et, en conséquence, la méthode d'estimation doit être adaptée à l'instant du calcul.

Le tableau suivant (Bellut, 1990) présente le lien entre les phases du projet de conception et de développement du produit nouveau, les méthodes d'estimation du coût et la quantification des risques relatifs à la méthode d'estimation.

Méthodes d'estimation et phases du cycle de vie

	Etudes préliminaires	Etudes de conception	Développement Industrialisation Production
Définition du projet	par fonction (Structure Hiérarchisée des fonctions)	par produit (Organigramme technique)	par tâche (Structure Hiérarchisée des travaux)
Méthode d'estimation	Méthode analogique	Méthode paramétrique	Méthode analytique
Quantification des risques attachés à la méthode d'estimation	Utilisation de pourcentages	Moments des distributions	Simulation de Monte-Carlo

La mise en œuvre des méthodes d'estimation des coûts doit se faire à l'intérieur de limites précisément définies, concernant notamment :

- le périmètre des coûts à inclure : la difficulté des travaux d'estimation est liée à la nature des coûts à prendre en compte tels que les coûts industriels indirects, les coûts de distribution et de commercialisation, les coûts de service après-vente... Dans le cadre du calcul d'un coût global prévisionnel, il semble, a priori, souhaitable d'inclure tous les coûts effectivement influencés par la conception et la planification du produit dans la mesure où beaucoup de coûts indirects peuvent être significativement influencés par les choix de conception. Par exemple, le nombre de composants (complexité organique), le niveau de standardisation des composants, le nombre d'options et de variantes du produit ont des effets sur les coûts de gestion logistique (achats, approvisionnement, stocks) ou sur les coûts du service après-vente. A l'inverse, la prise en compte de coûts qui ne sont pas influencés par les activités de conception ne présente aucun intérêt ;
- la période d'estimation des coûts : en matière d'estimation d'un coût sur le cycle de vie, le coût estimé n'est pas un chiffre instantané mais plutôt un scénario d'évolution incluant, par exemple, des phénomènes d'apprentissage ou d'utilisation des capacités productives (volumes).

1. Méthode analogique

L'utilisation de la méthode d'estimation par analogie suppose d'avoir défini le produit à concevoir en terme de fonctions principales et complémentaires. La définition des fonctions est réalisée dans le cahier des charges fonctionnel (CdCF). On utilise l'expérience antérieure des projets passés pour obtenir un ordre de grandeur du coût global de chaque fonction élémentaire.

La méthode analogique consiste donc à estimer le coût d'une réalisation à partir d'une comparaison avec une réalisation similaire terminée, dont le coût est connu.

L'emploi de la méthode peut être divisée en cinq étapes (Bellut, 1990) :

- la détermination du niveau d'analyse pertinent et cohérent avec les données techniques disponibles dans les bases de données;
- la construction d'une grille de comparaison, en déterminant les caractéristiques (points) sur lesquelles portera l'analogie;
- la décision du ou des projets ou produits anciens sur lesquels l'analogie sera conduite pour la fonction considérée;
- la quantification de l'analogie pour chaque fonction élémentaire étudiée.

Soient: i fonction étudiée ;

 j point de comparaison pour chaque fonction.

On détermine pour chaque fonction i et pour chaque point de comparaison j:

- A_{ij} coefficient de taille qui exprime le sentiment de l'estimateur quant à la taille relative du nouveau projet par rapport à l'ancien pour la fonction i ;
- k_{ij} coefficient d'impact qui exprime le sentiment de l'estimateur quant à l'impact du coût du point j sur la fonction i. (pour ce coefficient, on utilise généralement une échelle de 1 à 5 indiquant un impact très faible (1) à un impact très fort (5))

Le coefficient d'analogie représente la moyenne pondérée de chaque point de comparaison. Si i est la fonction à estimer et que l'on dispose de j points de comparaison, alors le coefficient d'analogie de la fonction A_i est donné par :

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot k_{ij}}{\sum_{j=1}^n k_{ij}}$$

- le calcul du coût estimé de la fonction qui est égal au produit du coût de la fonction dans le produit ou le projet ancien par le coefficient d'analogie.
- Soit Z, le coût de référence, alors le coût estimé de la fonction, C_i, est donné par :

$$C_i = A_i \cdot Z$$

Le coût estimé par le méthode analogique est la valeur la plus probable. Comme pour toutes les méthodes d'estimation prévisionnelles, les risques attachés à la méthode de prévision du coût doivent être quantifiés.

Reposant sur des comparaisons, elle suppose une faible évolution des techniques et des technologies de conception et de production. Cette méthode est ainsi appropriée dans le cas de modifications incrémentales du produit. D'autre part, elle s'appuie à la fois sur des données historiques et sur les jugements d'experts (évaluation des coefficients d'analogie).

La méthode analogique présente un certain nombre d'avantages : elle fournit rapidement et à faible coût des estimations de coût et, en jouant sur les coefficients d'analogie, peut permettre de simuler les coûts en fonction de certains choix de conception (traduits par la variation des coefficients d'analogie).

Cependant, elle comporte aussi un certain nombre de faiblesses :

- la détermination des coefficients d'impact provient de l'opinion des experts, ce qui laisse une certaine place à la subjectivité ;

- la méthode est d'autant plus fiable que l'on travaille à un niveau de détail fin ; cet aspect est en contradiction avec le caractère rapide de la méthode ;
- la méthode suppose que les comparaisons entre le projet et les réalisations passées soient pertinentes, ce qui suppose que le projet ne soit pas fondamentalement différent dans sa conception technique des réalisations passées. En conséquence, la méthode analogique est d'autant plus pertinente que le produit nouveau est techniquement proche des réalisations passées ;
- la méthode sera également d'autant plus fiable que les processus de développement, de production ou de support logistique du produit nouveau sont identiques à ceux des réalisations passées.

2. Méthode paramétrique

La méthode paramétrique peut être utilisée dès que les spécifications techniques du projet à réaliser sont définies. Ce sont les paramètres ou caractéristiques physiques des systèmes (produit, production et support logistique) à développer qui vont permettre d'estimer le coût. Les méthodes paramétriques établissent une corrélation statistique entre le coût du produit et des paramètres physiques simples tels que le poids, le volume ou la puissance. Trois grands types de méthodes paramétriques d'estimation des coûts peuvent être distinguées (Bellut, 1990):

- *les barèmes* : il s'agit d'une méthode d'estimation rudimentaire. Le barème est un coût rapporté à une unité physique la plus significative du produit à réaliser. Le coût du produit est déterminé par multiplication du coût unitaire lu dans le barème par la quantité à produire.
- *les formules d'estimation de coût (F.E.C) ou fonctions d'estimation paramétriques* : ce sont des méthodes paramétriques globales ou semi-globales. Une F.E.C est une relation simple reliant le coût d'un produit ou d'une activité à un nombre limité de paramètres techniques descripteurs du produit ou de l'activité.

La méthode de construction d'une F.E.C peut être décrite en trois phases (Bellut, 1990) :

- choix des paramètres techniques descripteurs de coût : pour cela, il faut recenser toutes les variables intervenant dans le phénomène à valoriser.
- choix de la structure de la formule empirique cherchée : il est évident que le choix d'une formule linéaire ou linéarisable rend le problème beaucoup plus simple.

Formule linéaire: $C = \alpha_0 + \beta_1.P_1 + \beta_2.P_2 + \dots + \beta_n.P_n$

où: α_0 coefficient standard de la F.E.C

P_i i ème paramètre descripteur de coût.

Formule linéarisée $\text{Log } C = \text{Log } \alpha_0 + \beta_1 \text{ Log } P_1 + \beta_2 \text{ Log } P_2 + \dots + \beta_n \text{ Log } P_n$

D'autres formes sont possibles dans la mesure où seule importe la combinaison linéaire des coefficients.

Les coefficients β_i peuvent être calculés par régression linéaire multiple ou, dans le cas d'un paramètre unique, par la méthode des moindres carrés.

Comme le note Bellut (1990), les formules linéaires ou linéarisables couvrent « pratiquement tous les cas industriels courants ». Il n'en reste pas moins que d'autres situations doivent être envisagées qui peuvent compliquer sérieusement l'estimation paramétrique :

- des fonctions non linéaires et non linéarisables telles que les fonctions hyperboliques;
- des fonctions non continues : dans de nombreux cas, le coût peut être une fonction continue sur un intervalle défini du paramètre descripteur du coût, avant de s'accroître brutalement à partir d'une certaine valeur du paramètre. Dans ce cas, Les F.E.C seront définies sur des intervalles particuliers.

Cependant, l'existence de logiciels de traitement et de calcul statistiques, par exemple Data Desk permettent de résoudre tous les types de problèmes de régression multiple, quelle que soit la formule empirique recherchée.

En tout état de cause, il convient d'apprécier la qualité des coefficients β_i obtenus (déterminer la marge d'incertitude des coefficients). De plus, le domaine d'utilisation d'une F.E.C. est limité :

- au type de produit à estimer, c'est à dire des classes d'objets ayant des fonctions identiques.
- au type de technologie mise en œuvre : matériaux, machines, savoir-faire du personnel...
- enfin, chaque F.E.C. s'applique à une catégorie spécifique de coûts : conception et développement, équipements initiaux, unité de production initiale, première unité produite, maintenance des installations et équipements....

Exemple de FEC : le coût d'un échangeur de chaleur d'un type donné peut être calculé en première approximation par la formule suivante :

$$C = e^a . S^b$$

avec :

C : coût de l'échangeur ;

S : surface d'échange ;

Les paramètres a et b étant les coefficients de régression.

Lorsqu'on établit une FEC, il est également utile de considérer l'intervalle de confiance ; celui-ci dépend de trois facteurs principaux :

- la dispersion des données autour de la droite, c'est à dire l'ampleur des résidus ;
- de l'espacement des abscisses de l'échantillon de base autour de leur valeur moyenne ;
- du nombre de données.

– *les modèles paramétriques* : un modèle est une représentation mathématique contenant un grand nombre d'équations qui relient des variables d'entrée au coût.

Les paramètres d'entrée, descripteurs techniques, définissent de façon spécifique le matériel pour la modélisation du coût.

Les relations relient ces données aux variables intermédiaires et finales. Les relations sont intégrées dans le modèle lui même.

Des constantes permettent de passer d'un modèle général à un modèle spécifique pour l'utilisateur.

Pour calculer un coût, le modèle n'utilise pas une nomenclature mais une représentation paramétrique des pièces et du produit. Le modèle peut fournir des estimations de coût pour les phases de développement ou de production.

Dans un contexte d'optimisation du coût global (notamment les phases de développement et de production), les modèles paramétriques permettent de réaliser des simulations. A titre d'illustration, le modèle PRICE H de RCA (modèle paramétrique d'estimation du coût des ensembles des systèmes électromécaniques) donne les sorties suivantes pour chaque niveau de consolidation dans l'organigramme technique :

- les coûts de dessin;
- les coûts de conception ingénierie;
- les coûts d'études système;
- les coûts de gestion de projet;
- les coûts de documentation et d'assurance de la qualité;
- les coûts de fabrication;
- les coûts d'outillages spécifiques et de moyens d'essais.
- le coût de la première unité fabriquée.

Contrairement aux fonctions d'estimation paramétriques, qui sont spécifiques à une entreprise et à un domaine d'application, les modèles ont un caractère plus général. Les caractéristiques spéciales du modèle à estimer sont prises en compte au niveau des constantes introduites dans le modèle, ce qui représente

une difficulté en pratique. Le modèle est un ensemble d'équations définissant des fonctions économiques générales permettant de valoriser les travaux de transformation qui permettent d'obtenir le produit.

La méthode paramétrique a pour avantage principal, par rapport à la méthode analogique, des estimations de coûts plus précises, notamment grâce à un niveau de détail plus important et une approche plus rigoureuse sur un plan théorique. Pour autant, il n'en reste pas moins que l'estimation du coût par la méthode paramétrique est obtenue par extrapolation de coûts connus d'un échantillon de réalisations passées vers un produit nouveau. En conséquence, une formule ou un modèle paramétriques seront d'autant plus fiable que les solutions techniques retenues pour le produit nouveau sont proches de celles des réalisations passées.

Conclusion : la méthode paramétrique présente certains avantages. En particulier, elle permet de chiffrer des coûts sans connaître le détail de l'élément à chiffrer et c'est une méthode nécessitant peu de ressources. Par contre, une des limites de la méthode est que les variables descriptives utilisées ont un caractère analogique et non de cause à effet.

3. Méthode analytique ou par activités

La méthode analytique utilise les données issues des systèmes d'information comptable de l'entreprise. En pratique, comme le souligne Bellut (1990) et Fabrycky & Blanchard (1991), l'estimation des coûts par la méthode analytique est utilisée dans les phases de développement du produit et de production en série pour estimer le coût de production du produit nouveau. Cette méthode nécessite, en effet, des informations très détaillées sur le produit et sur le procédé de fabrication: nomenclature du produit, gammes opératoires... De manière plus générale, on parle de méthode par activités dans la mesure où cette méthode suppose de connaître une description de la suite d'activités nécessaires à la réalisation que l'on cherche à estimer et de disposer d'une base de données permettant de quantifier en valeur chacune des tâches.

Le principe de la méthode analytique peut être résumé par la relation suivante:

$$\text{Coût de production} = \text{EBOT} * \text{EGP}$$

avec: EBOT Eléments de base d'ordre technique (par exemple: heures de MOD, quantités de matières achetées...);
EGP Eléments généraux de prix (taux horaires, coefficients d'approvisionnement...). Ces éléments proviennent en général des systèmes d'informations comptables.

La pertinence des estimations fournies par la méthode analytique dépendra de la pertinence du modèle d'allocation des coûts aux produits utilisés par la comptabilité de gestion pour calculer les coûts de revient des produits existants et repris par l'estimation de coûts des produits futurs. Dans cette optique se pose principalement le problème de la traçabilité des coûts (c'est-à-dire les consommations de charges par les produits) et notamment le problème de l'imputation des frais de structure et des frais généraux.

a) La méthode des sections homogènes.

Comme le souligne P. Mevellec (1995), l'organisation tayloriste-fordiste constitue le creuset de la méthode des sections homogènes. Or, les principes de cette organisation reposent sur la séparation des tâches de conception, d'administration, de production et de contrôle.

La modélisation du fonctionnement interne de l'entreprise est organisée autour des seuls produits, ce qui conduit à distinguer les charges directes (qui peuvent être directement rattachées aux produits sur la base de la nomenclature et de la gamme opératoire du produit) des charges indirectes. Ces charges font l'objet d'un traitement spécifique :

- elles sont tout d'abord réparties entre les ateliers et services qui les consomment, cette répartition étant qualifiée de primaire. En raison de la spécialisation de l'organisation, chaque atelier ou service est homogène en termes d'activité ;
- les ateliers et services sont ensuite répartis en deux catégories : les sections principales, dont les charges peuvent être directement reliées aux produits, et les sections auxiliaires, qui réalisent des activités de soutien aux sections principales. La répartition secondaire consiste donc à imputer aux sections principales les charges des sections auxiliaires, au prorata des consommations par les sections principales des services offerts par les sections auxiliaires. C'est l'objet de la répartition secondaire ;
- les centres principaux déversent leur charges sur les produits au prorata des consommations par ces derniers des « unités d'oeuvre », mesure de l'activité des centres.

Comme le souligne P. Mevellec (1995), le calcul des coûts selon la méthode des sections homogènes supporte un « poids croissant de conventions » :

- conventions portant sur le périmètre des charges à incorporer : décision ou non d'introduire les notions de charges supplétives et de charges non incorporables et détermination des méthodes d'évaluation à utiliser pour ces charges ;

- conventions portant sur la loi de consommation des ressources : la distinction entre charges directes et charges indirectes est étroitement liée aux capacités du système d'information de l'entreprise, à l'intérêt de l'entreprise à établir une liaison directe entre certaines charges et les produits (l'amortissement des équipements industriels peut être traité comme une charge directe ou bien une charge indirecte), et, enfin, au comportement des utilisateurs de l'information produite ;
- conventions portant sur le traitement des charges indirectes : le principe est l'homogénéité, ce qui peut se traduire par homogénéité des ressources consommées par les centres, homogénéité de l'activité réalisée et homogénéité du mode de consommation de l'activité par les produits. Or, dans la pratique, ces principes d'homogénéité sont rarement respectés.

b) La comptabilité des coûts à base d'activités.

Le concept central de cette nouvelle modélisation des coûts au sein de l'entreprise est l'activité, définie comme « ensemble de tâches interreliées et débouchant sur la production d'un bien ou d'un service » (Mevellec, 1995). La modélisation repose sur l'identification des activités réalisées au sein de l'entreprise et sur trois repérages pour chaque activité:

- l'identification des facteurs de causalité de la consommation de ressources;
- l'évaluation des ressources consommées;
- la mesure de la production et l'analyse des liens entretenus avec les autres activités.

Les activités ayant des facteurs de causalité identiques et ayant entre elles des relations de clients-fournisseurs sont regroupées pour former des processus. Un processus est un ensemble d'activités reliées entre elles, dont la production est déclenchée par un facteur unique et dont la production finale contribue à la création de valeur par l'entreprise. Il reste alors à regrouper l'information des tâches composant le processus:

- le coût du processus correspond à la somme des coûts des tâches qui composent le processus;
- le facteur de causalité qui permet le regroupement des tâches est nommé « inducteur de coût »;
- le volume de l'inducteur permet de déterminer un coût unitaire.

Pour calculer le coût d'un objet, il reste alors à faire l'hypothèse que l'objet consomme des activités qui consomment, elles mêmes, des ressources.

Comme conclut P. Mevellec (1995), ce système ne donne pas des coûts exacts, mais « *il donne des coûts qui sont construits sur la base d'une représentation de l'entreprise qui traduit mieux son fonctionnement effectif* ».

L'utilisation des données comptables pour estimer les coûts prévisionnels doit tenir compte des hypothèses utilisées lors de leur élaboration :

- les lois de consommations de ressources sont unicausales : quelle que soit la méthode retenue pour calculer les coûts, il est supposé que la consommation de ressources par l'objet du calcul de coûts a une cause unique (nombre d'unités d'oeuvre ou quantité d'inducteurs de coût).
- la méthode d'allocation des charges indirectes utilisée a un impact évident sur la qualité des estimations. Cette méthode d'allocation est liée à une modélisation de l'organisation de l'entreprise. Or, cette dernière peut évoluer suite à l'introduction d'un produit nouveau ou le produit nouveau peut utiliser des schémas de production ou de distribution totalement différents des précédents.
- les données comptables (coût complet) sont établies pour un niveau d'activité donné. Or, l'introduction d'un nouveau produit conduit généralement à des changements du niveau d'activité des unités de production. Les effets des changements de niveau d'activité doivent être pris en compte dans l'estimation et, notamment, amener à n'estimer qu'un coût marginal pour évaluer le coût global du produit nouveau.
- les coûts fournis par la comptabilité de gestion ne sont que des moyennes constatées et peuvent, en conséquence, s'avérer inadéquates pour des analyses spécifiques détaillées.

Sur un plan pratique, la mise en œuvre de la méthode analytique est longue et coûteuse. Par exemple, Stewart (1995) dans le « Cost estimator's reference manual » précise les différentes étapes nécessaires à la mise en œuvre de la méthode :

- développer la structure de décomposition des tâches (C.B.S) ;
- planifier les tâches pour tenir compte de la date de survenance ;
- obtenir et organiser les données historiques ;
- développer et utiliser les relations d'estimation des coûts ;
- développer et utiliser les courbes d'apprentissage en production ;
- identifier les catégories et les taux de main d'œuvre ;
- développer les estimations de taux de m.O et de matières et composants ;
- prendre en compte les coûts des frais généraux et administratifs ;
- appliquer les facteurs d'inflation ou de croissance des coûts ;
- calculer le coût estimé.

V. Facteurs d'évolution des coûts dans le temps

1. Les facteurs d'évolution des coûts dans le temps.

M. Porter (Porter, 1986) présente dix causes possibles d'évolution à long terme des coûts. Il s'agit de facteurs structurels qui permettent d'expliquer l'évolution du coût des activités de la chaîne de valeur d'une entreprise :

– *les économies ou déséconomies d'échelle* : elles peuvent naître soit d'un gain d'efficience dans l'exploitation d'une activité lorsque l'échelle augmente, soit d'un accroissement moins que proportionnel de l'infrastructure et des frais généraux qu'exige le soutien d'une activité à mesure que celle-ci s'amplifie. Au contraire, une complexité croissante et des coûts de coordination peuvent conduire à des déséconomies lorsque l'échelle augmente. La mesure de l'échelle appropriée diffère selon les activités créatrices de valeur et les secteurs : l'échelle qui régit le comportement des coûts peut être une échelle nationale, régionale, locale, limitée à l'usine, à un projet, à la chaîne de production, à un client ou à une commande.

– *les phénomènes d'apprentissage et effets de diffusion* : le coût d'une activité créatrice de valeur peut diminuer avec le temps en raison d'un apprentissage qui accroît l'efficience.

La loi de Wright, mise en évidence en 1936, a permis de formaliser la courbe d'apprentissage d'un produit: Le constat de Wright est une décroissance des temps de fabrication pour un matériel donné, fabriqué en série, au fur et à mesure de l'avancement des fabrications. A chaque fois que le rang de l'unité était doublé dans la série, le temps unitaire de fabrication était multiplié par un facteur constant (inférieur à 1), caractéristique de la fabrication.

La loi de Wright peut être formalisée de la manière suivante (Bellut, 1990)

$$C_i = C_1 \cdot i^{-k}$$

i rang de l'unité dans la série
C_i coût de l'unité de rang i
k coefficient d'apprentissage global

$$C_{2i} = k \cdot C_i$$

La valeur du coefficient d'apprentissage peut être estimée empiriquement par expérience statistique. Le coefficient global d'apprentissage peut être décomposé puisqu'il résulte, en fait, de la combinaison de plusieurs coefficients affectant respectivement les différentes composantes du coût:

- un coefficient résultant de l'apprentissage de la main d'oeuvre de production;
- un coefficient résultant de gains sur l'énergie utilisée ou les matières employées provenant de la réduction de déchets, diminution des rebuts...

Les facteurs qui influencent le plus le coefficient d'apprentissage sont:

- la part de main d'oeuvre directe dans le coût;

- la complexité du produit: plus le produit est complexe et plus les possibilités d'apprentissage seront importantes.
 - le degré d'automatisation du processus de production: plus il est important et plus le gain d'apprentissage sera faible.
 - le degré de préparation de la production: moins la phase d'industrialisation du produit nouveau aura été approfondie et plus le taux d'apprentissage potentiel sera élevé.
 - le taux de modifications durant la phase de production: l'étude du coefficient d'apprentissage n'est valable que dans le cadre d'une configuration productive donnée; en conséquence, toute modification affectant les opérations de production remet en cause le coefficient d'apprentissage.
- *la configuration de l'utilisation des capacités* : lorsqu'une activité créatrice de valeur supporte une proportion substantielle de coûts fixes, son coût subira l'influence de l'utilisation des capacités. La configuration de l'utilisation des capacités est déterminée en partie par l'environnement et le comportement des concurrents. En conséquence, il semble difficile de calculer un coût global prévisionnel comportant des charges structurelles de sous-activité. Une solution traditionnelle, en comptabilité de gestion, consiste en l'imputation rationnelle des charges de structure. Cette méthode consiste à ne pas incorporer le coût de la sous-activité au coût des produits, en définissant un niveau d'activité considéré comme normal (c'est à dire une capacité théorique de production). De plus, au niveau du suivi, cette méthode permet une meilleure traçabilité des coûts en faisant apparaître distinctement les coûts liés à la sous-activité. Comme le souligne H. Bouquin (1993), l'analyse des comportements des coûts doit identifier ce que seront les lois des coûts sur le court terme, une fois prises un ensemble de décisions qui limiteront les possibilités en obligeant l'entreprise à supporter des coûts fixes qui sont un des facteurs de risque.
- L'analyse de la configuration de l'utilisation des capacités de production doit tenir compte du partage de capacités, et donc de charges fixes, entre le produit nouveau et d'autres produits existants ou à concevoir ; cela complique sérieusement le problème sur le plan pratique notamment, puisque, sur le plan conceptuel, il est toujours possible de répartir une capacité globale de production entre différents produits.
- *les liaisons* : au sein de la chaîne de valeur ou avec les chaînes de valeur des clients ou fournisseurs, elles engendrent des possibilités de réduire le coût total des activités liées les unes aux autres. Au sein de la chaîne de valeur, les coûts peuvent être réduits par optimisation ou coordination des activités.

L'optimisation et la coordination des activités au sein d'une chaîne de valeur adoptent une perspective similaire à celle de reconfiguration (« reengineering ») des processus (Hamer et Champy, 1993). La reconfiguration des processus peut être définie comme une remise en cause fondamentale et une redéfinition radicale des processus opérationnels pour obtenir des gains spectaculaires dans les performances critiques que constituent les coûts, la qualité, le service et la rapidité. La reconfiguration des processus conduit à une remise en cause de la spécialisation des fonctions et de la coordination par la hiérarchie pour faire face à la complexité accrue dans les organisations. L'hypothèse centrale de la reconfiguration des processus porte sur le caractère contingent de l'organisation par rapport à la technologie, notamment les technologies de l'information ; il s'agit de trouver, à partir des technologies qui émergent, des solutions aux problèmes des organisations.

- *les interconnexions* entre unités d'une même entreprise, c'est-à-dire la mise en commun d'une activité créatrice de valeur ou le partage d'un savoir-faire. Porter distingue les interconnexions tangibles, qui consistent en des partages d'activités entre unités de l'entreprise qu'autorisent des facteurs communs (clients, canaux de distribution, technologies,...), des interconnexions intangibles qui consistent dans le transfert de savoir-faire d'une chaîne de valeur à une autre. Ce concept d'interconnexions est généralisable à l'entreprise réseau, par exemple en matière de technologies de communications.

Ce facteur d'évolution des coûts à long terme est important, notamment en matière de technologies. Un produit nouveau peut bénéficier de la maturité technologique d'autres produits de l'entreprise.

La technologie recouvre en général (Bellut, 1990) :

- les matériaux et les composants utilisés;
- les moyens techniques permettant de les mettre en oeuvre (machines, outillages...);
- les savoir-faire nécessaires à l'utilisation des moyens : ces savoir-faire ont un caractère statique d'abord (connaissance et maîtrise des procédés), mais aussi dynamique (amélioration des procédés, nouvelles procédures, formation...).

Le partage de technologies permet au produit nouveau de bénéficier des gains de productivité technologique accumulés par l'entreprise et, à la firme, d'accroître potentiellement le progrès technique futur.

- *le degré d'intégration verticale* permet notamment d'arbitrer entre coûts de transaction (sur le marché) et coûts de coordination (en interne). Le coût de transaction comprennent l'ensemble des coûts de planification, de décision et de suivi des tâches déclenchés par une situation d'échange. L'analyse

économique des coûts de transaction retient deux critères permettant d'orienter le choix entre le recours au marché et l'internalisation : la spécificité des actifs et la fréquence des transactions. En théorie, comme en pratique, la mesure des coûts de transaction pose de redoutables problèmes et il est, en conséquence, parfois difficile de savoir dans quel sens joue l'arbitrage entre coûts de transaction et coûts de coordination.

- *le calendrier* : avantages liés à la date d'entrée dans le secteur ou aux variations saisonnières. Notamment, dans le cadre de l'introduction d'un produit nouveau, les études estiment que tout retard dans l'introduction du produit nouveau, notamment dans les industries de masse, dégrade la rentabilité financière. Comme le souligne J.C. Tarondeau (1991) :
 - lorsque le produit nouveau est une innovation, le retard de lancement se définira par rapport à la date de lancement d'un ou plusieurs produits concurrents. En principe, l'entreprise « leader » bénéficie d'une position dominante temporaire qui peut se poursuivre, sous certaines conditions, sous la forme d'une part de marché plus élevée que celle des « suiveurs ». Cependant, cette position dominante n'a rien d'automatique et, en conséquence, une date de lancement précoce ne présage pas d'une rentabilité élevée ;
 - lorsque le produit nouveau est destiné à remplacer un produit ancien, la date de lancement du produit nouveau doit permettre d'assurer la poursuite de la croissance du chiffre d'affaires ou le maintien de la part de marché ou de la rentabilité. En conséquence, tout retard de lancement du produit nouveau conduit à une baisse du chiffre d'affaires, de la part de marché et de la rentabilité. L'analyse du cas du retard de lancement d'un produit nouveau dans l'industrie électronique de masse a mis en évidence les conséquences mentionnées (Tarondeau, 1991).
- *les mesures discrétionnaires* : ces mesures reflètent la stratégie de la firme et impliquent souvent des arbitrages entre coût et différenciation. Dans un secteur comme l'automobile, la stratégie des constructeurs évolue en fin de cycle de vie d'un produit dans le sens de la recherche d'un avantage par les coûts ou de la différenciation, notamment pour tenter d'allonger le cycle de vie du produit.
- *la localisation géographique* : ce choix a, notamment, des conséquences en matière de taux de salaires, d'imposition, de coûts de logistique ou de coûts d'infrastructures.

- *les facteurs institutionnels* : réglementation publique, incitations fiscales, taux de syndicalisation, droits de douanes ont des conséquences directes sur l'évolution du coût sur le cycle de vie du produit nouveau.

Comme le souligne Porter, cette liste identifie des facteurs de coûts qui agissent fréquemment conjointement, en se renforçant ou en s'opposant. Pour H. Bouquin (1993), « *la raison semble en être la confusion entre des moyens et des résultats. Par exemple, l'interconnexion, l'intégration verticale, les liaisons, les mesures discrétionnaires, le calendrier sont le plus souvent des moyens d'obtenir des économies d'échelle, de bénéficier des phénomènes d'apprentissage, ou encore de restructurer les configurations d'utilisation des capacités* ».

S. Bellut (1990) retient un nombre beaucoup plus faible de facteurs d'évolution des coûts dans le temps :

- l'inflation et l'érosion monétaire ;
- l'évolution des taux de change ;
- la courbe d'apprentissage d'un produit ;
- et la productivité ou le dégressivité des coûts en fonction de la maturité technologique : l'évolution du coût d'un produit dans une technologie donnée, en fonction du temps, est traditionnellement représenté par une courbe dite en « Z ». Cette forme de courbe en « Z » a été mise en évidence statistiquement sur les bases de données du DOD (Department of Defense) des Etats-Unis. Il ne s'agit pas d'une courbe unique pour tous les produits possibles, mais d'une famille de courbes d'allures identiques dont la quantification dépend du type d'industrie, d'une part, et du niveau de complexité de la technologie étudiée d'autre part.

Il semble que l'inclusion de l'inflation et de l'évolution des taux de change relève d'une confusion entre l'évolution des coûts stricto sensu (c'est à dire des évolutions de consommations de ressources) et l'évolution de l'unité de mesure (la monnaie) des coûts. En tout état de cause, ces facteurs d'évolution des coûts sont plus difficilement maîtrisables par l'entreprise que des facteurs tels que l'apprentissage ou la productivité.

2. Evolution des valeurs monétaires dans le temps.

L'unité de mesure d'un coût (à savoir l'unité monétaire) varie continûment dans le temps, notamment du fait de l'inflation. En ce qui concerne le calcul d'un coût global, la conséquence est d'additionner des coûts dont l'unité de mesure a varié au cours du temps. Par exemple, il y a très peu de chances que l'unité de mesure permettant d'évaluer les coûts de développement du produit et celle permettant d'évaluer les coûts de retrait du produit aient la même valeur.

Les coûts présents et futurs peuvent être comparés de trois façons différentes :

– *en prix actuels et constants.*

Cette méthode suppose implicitement que les prix resteront fixes, sans variation ni évolution. Le calcul du coût global « à prix constants » ne se justifie que lorsque la période envisagée est courte ou lorsque les rapports entre les prix ne sont pas susceptibles de varier significativement.

– *en monnaie courante.*

Cette approche consiste à estimer l'évolution probable des prix, en distinguant les différents éléments qui entrent dans la composition du coût global, par exemple: les salaires (indice du coût de la main d'oeuvre dans l'industrie concernée), les produits et services divers (frais d'entretien, certains frais de fabrication et d'emballages...) et les matières (là encore, il y a lieu de distinguer les évolutions des prix des différentes matières).

– *en monnaie constante.*

Cette méthode prend en compte deux dimensions de l'évolution des prix :

- une évolution générale, qui est mesurée par un indice moyen pondéré d'inflation;
- des évolutions relatives des prix les uns par rapport aux autres.

L'objectif est de travailler avec un pouvoir d'achat constant de la monnaie.

La méthode en monnaie constante consiste à tenir compte à la fois de l'inflation générale et des évolutions spécifiques des prix des composants. dans ce cas, les différents éléments du coût global sont corrigées de leurs évolutions spécifiques de prix, puis actualisés par un taux d'actualisation égal au taux d'inflation. Cette méthode revient à calculer, pour chaque catégorie de coût, un taux de dérive relative j , à partir de l'évolution des prix du poste h et du taux d'inflation du panier de consommation choisi i :

$$(1 + j) = \frac{(1 + h)}{(1 + i)} \quad \text{soit :} \quad j = \frac{h - i}{1 + i}$$

Lorsqu'on recourt à la technique de l'actualisation, le raisonnement en francs courants est identique au raisonnement en francs constants lorsque le taux d'actualisation est déflaté (prise en compte de l'inflation au niveau du taux d'actualisation).