



HAL
open science

Réconcilier pilotage économique des projets de développement de produits nouveaux et risques : l'apport de la simulation aléatoire

Frédéric Gautier

► **To cite this version:**

Frédéric Gautier. Réconcilier pilotage économique des projets de développement de produits nouveaux et risques : l'apport de la simulation aléatoire. Normes et Mondialisation, May 2004, France. pp.CD-Rom. halshs-00593105

HAL Id: halshs-00593105

<https://shs.hal.science/halshs-00593105>

Submitted on 13 May 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Réconcilier pilotage économique des projets de développement de produits nouveaux et risques : l'apport de la simulation aléatoire

Frédéric Gautier¹

Résumé

L'objectif de cet article est de montrer, sur la base d'une étude empirique dans le secteur aéronautique en France, la pertinence et l'apport d'une instrumentation basée sur le coût sur le cycle de vie du produit et la simulation aléatoire de type Monte Carlo en matière de pilotage économique des projets de conception et développement de produits nouveaux.

Mots-clés : avant-projet, conception et développement, pilotage économique, produits nouveaux, risques. Simulation aléatoire.

Abstract

Based on an empirical study in the aircraft industry in France, the purpose of this article is to underline the contribution of life cycle cost and Monte Carlo simulation for managing new product design and development projects.

Keywords : Life Cycle Cost, Monte Carlo simulation, project, design, development, new product.

L'importance stratégique des activités de conception et développement a été amplement soulignée au cours des années récentes. Ces activités connaissent, d'autre part, des évolutions structurelles et organisationnelles majeures (mise en place de directions de projets « lourdes » et ingénierie concurrente). Les activités de recherche et développement ayant un impact important sur la performance globale de l'entreprise, de nombreuses entreprises s'interrogent sur des instrumentations d'analyse économique pertinentes mobilisables pour cette catégorie de projets. Le concept de coût sur le cycle de vie du produit ou coût global apparaît pertinent pour évaluer les conséquences économiques des décisions de conception dès les phases avancées d'un projet. Ce coût ayant un caractère prévisionnel dans les phases amont d'un projet, la simulation aléatoire permet de prendre en compte le caractère aléatoire de l'estimation. L'objectif de cet article est de présenter, sur la base d'une recherche de terrain d'environ 3 ans dans le secteur aéronautique en France, les apports et les limites d'une instrumentation économique basée sur le concept de coûts sur le cycle de vie du produit et la simulation aléatoire de type Monte Carlo. Après avoir présenté le concept de coût sur le cycle de vie du produit et les principes de la simulation aléatoire sur lesquels repose l'instrumentation mise en place puis précisé les conditions de la recherche, nous précisons les apports, tant sur le plan épistémologique que praxéologique, de cette modélisation économique concernant le pilotage des projets de conception et développement de produits nouveaux.

¹ CEROS, Université Paris X
200, avenue de la République
92001 Nanterre Cedex
frederic.gautier@wanadoo.fr

1 Principes et pertinence de la simulation aléatoire lors de l'évaluation économique d'un projet de conception et développement d'un produit nouveau

L'évaluation économique d'un projet de conception et développement d'un produit nouveau suppose de prendre en compte les avantages (recettes) et les coûts générés par le projet tout au long du cycle de vie du produit. Le coût sur le cycle de vie du produit est susceptible de faire l'objet de traductions analytiques différentes en modèles économiques de gestion (Gautier & Giard, 2001), l'approche en termes de flux de trésorerie générés par le projet traduisant le mieux la temporalité du projet et permettant de réduire les conventions liées à l'utilisation de coûts moyens. En matière d'étude de la rentabilité de produits nouveaux, la simulation aléatoire permet alors de prendre en compte les très nombreux facteurs de risque et d'incertitude, au cours des différentes périodes constituant la durée de vie du produit.

1.1 Un modèle économique basé sur le concept de coût sur le cycle de vie du produit

De nombreuses analyses ont souligné que c'est lors des phases d'élaboration du cahier des charges d'un projet de conception et développement d'un produit nouveau, c'est-à-dire au cours des phases préalables au développement, qu'il convient de redéployer les méthodes et outils du contrôle de gestion. Dans le cadre du projet Twingo, Midler (1993) indique que « *la bataille de la rentabilité* » (p. 26), est « *la première bataille que livre le projet* ». Pour Lorino (2001, p. 319), « *la rentabilité des produits se joue pour l'essentiel dans les phases amont du cycle de vie (planification et conception) et non dans les phases aval (production et distribution)* ». Par rapport à cet impératif, les systèmes comptables actuels apparaissent peu aptes à fournir une image de la rentabilité à long terme d'un produit, à quantifier l'impact sur les coûts des alternatives de conception ou à affecter le coût des technologies aux produits qui en bénéficient (Berliner & Brimson, 1987). Comme le souligne Bouquin (2003, p. 174), « *les systèmes comptables s'intéressent par nature aux dépenses au moment où elles se constatent. Alors que l'important est d'influencer la décision qui les provoque* ».

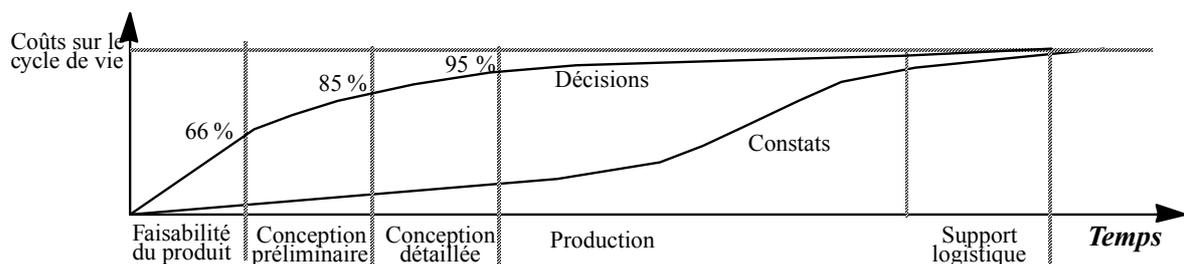
En matière d'évaluation des coûts, le concept de coût sur le cycle de vie du produit (*life cycle costing* ou coût global) permet de prendre en compte les conséquences des décisions de conception sur l'ensemble des coûts récurrents et notamment les coûts de production, dans une optique d'ingénierie simultanée. Le coût sur le cycle de vie du produit consiste « *en l'accumulation des coûts des activités qui surviennent au cours de l'intégralité du cycle de vie d'un produit, de sa conception à son abandon par le fabricant ou par l'utilisateur* » (Berliner et Brimson, 1988). Ce concept n'est pas récent et date de 1976 lorsque le Département Américain de la Défense décida d'étendre le principe de conception pour un coût-objectif aux coûts d'acquisition, d'utilisation et de maintenance sur la durée d'utilisation du bien (Gormand, 1986). Si le concept apparaît clairement, les problèmes méthodologiques sont importants : « *le problème méthodologique est redoutable car les coûts engagés présentent un caractère virtuel et reposent sur un grand nombre d'hypothèses* » (ECOSIP, 1993, p. 146). Selon Bouquin (2003, p. 174), la conséquence est double :

- « *Il faut être capable de calculer et d'optimiser un coût complet avant que la décision de lancer le produit soit prise.*
- *L'analyse de la structure des coûts au long du cycle de vie doit inciter à comprendre les relations qu'entretiennent dans le temps le coût des activités* ».

Cette difficulté méthodologique explique, sans doute, le constat de Sherif & Kolarik (1981) selon lequel il n'existe pas de méthodologie universelle de traduction du concept de coût sur le cycle de vie du produit, mais plutôt des modèles adaptés aux besoins. Sherif & Kolarik (1981) distinguent trois catégories de modèles :

- Des modèles conceptuels constitués d'un ensemble de relations formulées par des hypothèses et exprimées dans un cadre plutôt qualitatif. On retrouve dans cette catégorie les courbes des coûts dépensés et des coûts engagés reprises par la CAM.I (Berliner & Brimson, 1987).

*Schéma 1 : courbe des coûts sur le cycle de vie
(Berliner et Brimson, 1988, p. 32)*



- Des modèles analytiques se traduisant par un ensemble de relations mathématiques conçues pour décrire certains aspects d'un système et permettant d'optimiser certains coûts encourus sur le cycle de vie du bien. Ces relations mathématiques proviennent le plus souvent d'estimations paramétriques des coûts. L'exemple classique de ce type de modèles est celui de Freiman qui sert de base au logiciel d'estimation paramétrique des coûts PRICE². Une des limites de ces modèles est l'absence d'explicitation des hypothèses physiques sous-jacentes permettant le calcul du coût sur le cycle de vie du produit.
- Des modèles heuristiques qui sont des modèles analytiques moins structurés ne garantissant pas une solution optimale. Ces modèles sont très souvent des modèles sur-mesure, utilisés pour des applications spécifiques.

La plupart des modèles utilisés ont un caractère prédictif. Cette caractéristique conduit Sherif & Kolarik (1981) à énoncer trois principes de base concernant la modélisation du coût sur le cycle de vie du produit :

- le modèle doit développer un ensemble de relations significatives entre les objectifs, les différentes alternatives, leur coût et leur utilité ;
- l'incertitude inhérente à un modèle prédictif doit être prise en compte de manière explicite ;
- les hypothèses (commerciales, physiques...) sous-jacentes à la modélisation doivent être explicitées.

Cependant, au-delà de la modélisation du coût sur le cycle de vie du produit, le problème méthodologique posé est aussi celui du management des coûts sur le cycle de vie du produit.

² Le modèle sur lequel s'appuie le logiciel est présenté dans Gautier, 2003, p. 231

Shields et Young (1991) précisent que ce management des coûts sur le cycle de vie des produits s'articule autour de quatre éléments :

- L'évaluation des coûts sur le cycle de vie qui doit être réalisée dès les phases avancées du cycle de vie du produit en raison de l'importance de ces phases sur les coûts engagés.
- Le management des produits sur le cycle de vie pour tenir compte de l'impact des décisions prises au cours d'une phase du cycle de vie du produit sur les coûts encourus lors des phases ultérieures. Le management des produits sur le cycle de vie s'intéresse également aux revenus générés par le produit, ce qui conduit à distinguer deux catégories de décisions dans cette perspective : celles permettant de générer des revenus et celles permettant de réduire les coûts.
- La structure organisationnelle dans la mesure où la mise en œuvre du management des coûts sur le cycle de vie suppose une vision large des problèmes à résoudre et s'appuie, en conséquence, sur des équipes multifonctionnelles favorisant l'intégration des personnes et des compétences.
- Des méthodes de réduction des coûts mobilisables dès les phases amont du cycle de vie du produit.

L'approche proposée par Shields et Young (1991) permet, tout d'abord, de distinguer l'évaluation des décisions de conception d'un simple suivi des coûts, ce qui apparaît primordial dans les phases d'avant-projet de développement d'un produit nouveau dans la mesure où les décisions de conception ont un impact sur la valeur marchande du produit futur. Comme le souligne Giard (1988, p. 17), « *la comparaison de décisions complexes met en évidence qu'il convient d'évaluer globalement leurs alternatives en tenant compte non seulement des dépenses occasionnées mais aussi des avantages retirés. Il est clair qu'une approche orientée vers l'évaluation des décisions constitue une rupture avec l'approche traditionnelle orientée vers le suivi des coûts de produits ou de centres d'analyse* ». L'approche de Shields et Young (1991) insiste ensuite sur les relations entre évaluation économique et structure organisationnelle. Si leur analyse insiste sur le préalable organisationnel permettant la mise en œuvre du management des coûts sur le cycle de vie du produit, une instrumentation s'appuyant sur le concept de coût sur le cycle de vie du produit peut aussi jouer le rôle d'outil de pilotage de l'évolution vers des développements concourants (dimension cognitive des instruments de gestion soulignée par Gilbert, 1998). Comme le souligne Nixon (1998, p. 349), à partir de l'étude longitudinale d'un projet de développement d'un équipement de moulage, « *la comptabilité fournit également un canal de communication pour les participants au projet qui favorise la coordination d'activités disparates, tout au long de la durée du projet* ». Midler (1993, p. 26) note également les conséquences organisationnelles de la mise en œuvre du *design-to-cost* sur le projet Twingo : « *appliquer à la lettre sur un grand projet le design-to-cost revient alors à transformer profondément les rapports entre les acteurs, introduire des dépendances là où la logique de l'organisation avait construit des autonomies* ».

1.2 Principes de la méthode simulatoire de Monte Carlo

De nombreux travaux plaident pour une explicitation des risques susceptibles d'affecter l'évaluation du coût sur le cycle de vie du produit. Sherif et Kolarik (1981) présentent comme principe de base, permettant de modéliser le coût sur le cycle de vie du produit, la prise en

compte de manière explicite du risque inhérent à un modèle prédictif. Les modèles prédictifs, basés sur le coût sur le cycle de vie du produit, supposent donc de prendre en compte le caractère aléatoire de l'estimation des coûts engagés.

Selon Nixon, Innes & Rabinowitz (1997), les méthodes et outils de comptabilité de gestion, lors du développement d'un produit nouveau, doivent aider à rendre explicites les implications financières, et notamment les risques, des décisions portant sur les spécifications du produit, en particulier celles prises au cours de l'avant-projet, portant sur l'architecture du produit et contraignant l'ensemble des choix futurs de conception. Dans une perspective d'évaluation des coûts au cours d'un projet de développement d'un produit nouveau, Nixon (1998) estime que des dimensions telles que la vision des risques devant être évités, doivent être favorisées. Analysant les pratiques d'ingénierie concurrente en matière de développement de produits, Midler (1996, p. 77) souligne que l'émergence de ce modèle d'organisation conduit à développer de nouvelles gammes d'instrumentation ayant pour objectif « *d'évaluer les différentes options qui apparaissent au cours de la conception et de permettre ainsi de négocier des compromis... avec un accent tout particulier mis sur la qualification de l'incertitude attachée aux données manipulées, d'une part et la décentralisation maximale du jugement en valeur d'autre part* ».

Sur un plan instrumental, la simulation aléatoire apparaît comme une méthode pertinente pour tenir compte du caractère aléatoire des coûts estimés sur le cycle de vie du produit lors des phases avancées du projet de développement, selon une démarche initialement proposée par Hertz (1968) en matière d'analyse des décisions d'investissement. La simulation aléatoire est une technique d'échantillonnage qui, appliquée à un ensemble de variables aléatoires, permet de déterminer la distribution de probabilité de leur combinaison qu'il serait très difficile d'obtenir par voie analytique. Comme le souligne Giard (2003, p. 190), l'approche simulatoire « *repose sur l'exploitation des informations plus ou moins subjectives possédées par les acteurs à l'origine des informations quantitatives exploitées dans le dossier d'investissement, sur la variabilité des paramètres utilisés, pour fournir des indications sur la variabilité des indicateurs utilisés dans la prise de décision* ». Les différentes étapes de mise en œuvre de la méthode sont les suivantes :

- Le coût sur le cycle de vie du produit est modélisé sous la forme d'une somme de variables indépendantes qui font l'objet de la simulation directe et éventuellement de variables dépendantes qui sont calculées à partir de variables indépendantes ou corrélées.
- La détermination de la loi de variation de chaque variable indépendante prise en compte en se référant aux distributions statistiques classiques (loi normale, loi triangulaire...) et en précisant pour chacune d'elles les paramètres requis (par exemple, la moyenne et l'écart type pour la loi normale, le mode, les valeurs minimales et maximales pour une loi triangulaire).
- La réalisation de la simulation : le point de départ de la méthode est la fonction de répartition des coûts élémentaires aléatoires ; des valeurs de la fonction de répartition (comprises entre 0 et 1) sont tirées aléatoirement et permettent de trouver des réalisations équiprobables des coûts grâce à leurs fonctions de répartition ; cette technique est utilisée pour obtenir un échantillon aléatoire de n valeurs de chaque coût élémentaire et donc du coût global et du coût des sous-ensembles.
- L'analyse des résultats obtenus par simulation. On obtient ainsi une estimation des fonctions de répartition du coût global et du coût des sous-ensembles. Il suffit ensuite de

déterminer la valeur du coût global correspondant à chaque probabilité cumulée, par lecture de la fonction de répartition de la variable aléatoire.

L'exposé de la méthode indique que la simulation aléatoire suppose un modèle économique puis la détermination des probabilités associées aux variables indépendantes du modèle économique. La limite de cette méthode réside dans la pertinence des lois de probabilités choisies et de leurs paramètres

2 Méthodologie de la recherche

La démarche de recherche s'inscrit dans la tradition de la recherche clinique qui consiste, comme le souligne Schein (1987) à étudier avec l'organisation la formulation d'un problème et la mise en œuvre de la solution. Ce choix s'explique tout d'abord en raison du caractère émergent des méthodes et instrumentations basées sur le cycle de vie du produit et en l'absence de pratiques stabilisées dans les entreprises. De manière plus large, Nixon (1998) note que la plupart des études portant sur les mesures de la performance de la recherche et du développement utilisent la méthode des études de cas ou de l'observation participante.

Ensuite, comme le soulignent Usunier et al. (1993, p. 9), « *le principe d'intervention apparaît le plus souvent comme le seul moyen pour le chercheur de s'introduire durablement dans une organisation pour recueillir des informations pertinentes par rapport à son objet de recherche* ». La connaissance du terrain permet alors d'accéder à la logique des processus en cours et de décrire avec précision les situations et leur évolution. De plus, comme le soulignent Miles et Huberman (1991), les données qualitatives issues du terrain et ainsi co-produites avec les acteurs sont de ce fait validées. Ces caractéristiques de la recherche conduisent à présenter l'organisation, le problème formulé ainsi les caractéristiques de l'instrumentation mise en place.

2.1 L'organisation et ses projets de développement

L'intervention s'est déroulée sur trois ans (2000-2002) dans une grande entreprise industrielle européenne concevant et fabriquant des hélicoptères. Elle avait pour objet la mise en place d'une instrumentation économique basée sur le cycle de vie du produit dès les phases avancées du développement. Comme le soulignaient les responsables de l'entreprise, « *la prise en compte des coûts au niveau des avant-projets d'hélicoptères devient maintenant une exigence incontournable. À la définition d'un avant-projet, il est nécessaire d'associer son coût de développement, le coût série du produit et le coût d'utilisation. L'optimisation de ces différents paramètres associés aux perspectives de marché correspondantes permettra d'orienter la politique de produit* ».

La phase d'avant-projet est conduite par un service spécifique rattaché à la direction technique et s'appuyant sur les compétences de centres d'affaires, chargés de la commercialisation et de la maintenance des appareils et de centres de compétences industriels, chargés de la conception, de l'industrialisation et de la fabrication des différents sous-ensembles constituant un appareil.

La phase d'avant-projet est décomposée en deux phases. La première phase, réalisée par les ingénieurs d'études du service Avant-Projets, a pour objectif de réaliser un dimensionnement de l'appareil (détermination des paramètres généraux, en particulier la masse et des performances générales telles que la distance franchissable, la charge utile ou la vitesse) sur la base des besoins exprimés par les clients et des analyses des services commerciaux (types de

missions, spécifications d'embarquement...). La seconde phase a pour objectif de définir l'architecture générale de l'appareil et de ses principaux composants. Cette seconde étape est instruite par les spécialistes des centres de compétence industriels sur la base des principales grandeurs déterminées lors du dimensionnement de l'appareil. L'objectif de ces deux phases de l'avant-projet est de fournir à la direction de l'entreprise les principales informations permettant d'évaluer la faisabilité technique, industrielle et économique du programme de développement envisagé et de décider de la poursuite du projet.

Les outils disponibles d'étude de la faisabilité économique, en phase d'avant-projet, faisaient l'objet d'une double limite :

- une première limite concernait l'objet des coûts calculés puisque seuls les coûts de production et de maintenance du futur appareil faisaient l'objet d'une estimation ;
- la seconde limite concernait la perspective temporelle puisque le coût de production estimé était celui du centième appareil alors que les effets d'apprentissage et la longueur des séries ont des impacts importants sur la rentabilité d'un programme aéronautique.

En conséquence, les objectifs de la nouvelle instrumentation étaient de prendre en compte l'ensemble des coûts sur le cycle de vie (coûts de développement, coûts de production et coûts de maintenance) en tenant compte explicitement de la temporalité (effets d'apprentissage et impact de la longueur des séries) et de la qualification des risques.

2.2 Caractéristiques de l'instrumentation mise en place

L'instrumentation mise en place repose sur les principes du coût sur le cycle de vie du produit et tient compte des risques attachés aux estimations de coûts.

2.2.1 Le modèle économique

Le modèle économique retenu rentre dans la catégorie des modèles heuristiques (Sherif & Kolarik, 1981) et repose sur l'actualisation des flux de trésorerie estimés. Ce modèle apparaît pertinent dans le cas étudié en raison des cycles de vie particulièrement longs des produits de l'industrie aéronautique et donc de la temporalité planifiée du projet. Une des caractéristiques importante du modèle économique retenu en phase d'avant-projet pour l'entreprise étudiée est de reposer sur un double niveau de modélisation (modélisation physique puis modélisation économique).

Le premier niveau de modélisation porte sur le physique : il a pour objectif d'analyser l'impact des décisions prises lors de l'avant-projet sur les travaux futurs de conception et de développement, sur les opérations de production du constructeur (quantités de ressources consommées) et de positionner ces impacts dans le temps. Ce premier niveau de modélisation (modélisation physique) s'inspire implicitement de la méthodologie du QFD³ (*Quality Function Deployment*) qui permet de spécifier progressivement les conditions de réalisation physique d'un produit nouveau sur la base d'une série de matrices. Le travail réalisé a consisté à expliciter les conséquences physiques du dimensionnement de l'appareil. En effet, le rôle de l'avant-projet est de fournir aux différents concepteurs (de la cellule, des pales, de la boîte de transmission...), situés dans des centres industriels, et au service des achats (pour les moteurs, par exemple) les principaux paramètres de dimensionnement de l'appareil. Les

³ Le QFD est une méthode d'aide à la décision structurée et graduelle permettant de traduire progressivement les exigences des clients en paramètres-cibles pour la conception du produit et des processus industriels associés. L'information est organisée sous forme de matrices (ReVelle et al. , 1998).

concepteurs définissent alors des solutions techniques sur la base des paramètres de dimensionnement fournis dont le respect assure la cohérence des solutions imaginées par les concepteurs. Ces solutions techniques sont à l'origine des coûts futurs d'industrialisation et de production ou d'achat des principaux sous-ensembles. En ce qui concerne les sous-ensembles représentant une part importante dans le coût sur le cycle de vie du produit pour l'industriel, la méthodologie retenue procède en deux étapes :

- les différents inducteurs expliquant les niveaux de consommations de ressources, tant au niveau du développement que de la production ont été recherchés ; ces inducteurs sont connus des spécialistes des centres industriels ; les principaux inducteurs reposent sur l'architecture du sous-ensemble, les technologies retenues et les matières utilisées ;
- puis l'impact des paramètres de dimensionnement sur ces inducteurs.

Certains enchaînements (paramètres de conception, inducteurs, consommations de ressources) ont été facilement mis en évidence. Par exemple, pour certains sous-ensembles, le programme d'essais et les ressources consommées correspondantes résultent directement de la masse de l'appareil qui définit la norme de certification et le programme d'essais correspondants. D'autres enchaînements sont plus difficiles à établir entre les paramètres de dimensionnement et les inducteurs :

- pour certains sous-ensembles, les paramètres de dimensionnement laissent des marges de manœuvre aux concepteurs. Dans ce cas, d'autres critères entrent en ligne de compte, tels que la stratégie technologique de l'entreprise ou des critères économiques ;
- pour d'autres sous-ensembles, les choix sont très peu contraints par les paramètres de dimensionnement (à l'exception de la masse, qui constitue une contrainte principale sur les projets d'appareils).

Cette distinction a des conséquences en matière d'estimation des quantités de ressources qui seront consommées sur le cycle de vie du produit :

- pour les sous-ensembles dont la conception est fortement contrainte par les paramètres de dimensionnement, il est possible d'utiliser un modèle déterminant des quantités moyennes de ressources consommées sur la base des paramètres de dimensionnement ;
- pour les sous-ensembles dont la conception est « moyennement » contrainte par les paramètres de dimensionnement, l'estimation des quantités de ressources suppose une interaction forte entre les ingénieurs de l'avant-projet et les concepteurs des centres industriels ;
- enfin, pour les sous-ensembles dont la conception est peu contrainte par les paramètres de dimensionnement, une analyse des principaux scénarios probables est demandée au spécialiste du centre industriel.

Cette analyse montre l'absence de déterminisme physique strict qui justifie, d'une certaine façon, l'intérêt pour la simulation aléatoire. Cette technique permet de traduire un certain nombre d'indéterminations physiques au démarrage du projet et le caractère non stabilisé des processus qui seront à l'origine des coûts sur le cycle de vie du produit (processus de développement, de production et de commercialisation).

La deuxième contrainte porte sur les informations disponibles dans l'organisation. Des bases de données concernant les coûts de production étant disponibles, il a été possible de déterminer des formules d'estimation de coûts par régression linéaire. Par contre, en ce qui

concerne les coûts de développement, l'absence de bases de données a contraint à estimer ces coûts par analogie, à partir des connaissances des spécialistes des centres de compétence industriels.

Tableau 1 : coûts sur le cycle de vie du produit, inducteurs et temporalité

Coûts	Décomposition	Types d'inducteurs	Temporalité
Coûts de développement	<ul style="list-style-type: none"> - Etudes ; - Outillages et industrialisation ; - Prototypes - Essais - Certification 	<ul style="list-style-type: none"> - Catégories d'appareil selon les types de marché et la masse ; - Technologies ; - Choix industriels ; - Normes de certification... 	À partir d'un planning simplifié des principales activités du projet de conception et développement.
Coûts de production	<ul style="list-style-type: none"> - Par sous-ensembles, puis organes ; - Et par nature de charges (main-d'œuvre, matières, charges indirectes). 	<ul style="list-style-type: none"> - Paramètres techniques du dimensionnement ; - Effets d'apprentissage ; - Choix industriels... 	À partir du cadencement des livraisons et des opérations de production.
Coûts de maintenance	<ul style="list-style-type: none"> - Par sous-ensembles, puis organes 	<ul style="list-style-type: none"> - Exigences concernant la maintenance programmée (périodicité) ; 	Non prise en compte car calcul du coût de maintenance par heure de vol.

Les inducteurs retenus, les méthodes d'estimation des coûts, et le niveau de décomposition des coûts retenus évoluent au cours de l'avant-projet au fur et à mesure de l'avancement du projet et donc des connaissances acquises par l'équipe-projet.

Le second niveau de modélisation, qualifié d'économique, a pour objectif de valoriser les conséquences physiques déterminées lors de la modélisation physique et s'appuie sur les données disponibles de la comptabilité de gestion. Ce second niveau de modélisation s'appuie sur un processus d'estimation des coûts faisant appel à des réalisations antérieures au projet. En conséquence, les coûts unitaires utilisés reposent sur une certaine représentation physique et organisationnelle (Giard & Pellegrin, 1992) qui est nécessairement antérieure au projet. Or, les décisions de conception prises au fur et à mesure de l'avancement du projet peuvent remettre en cause ces hypothèses.

2.2.2 La détermination des lois de probabilités

La question essentielle porte sur les phénomènes que traduit l'introduction de lois de probabilités dans le modèle économique. Comme cela a été précisé, l'introduction de lois de probabilités traduit le caractère aléatoire des coûts utilisés dans le modèle économique. Ce caractère aléatoire peut avoir deux origines : une origine physique et une origine liée au processus de valorisation. En phase d'avant-projet, seule l'origine physique présente un intérêt. En effet, l'origine liée au processus de valorisation ne relève pas strictement de la problématique de la conception et du développement de produits nouveaux.

Différentes distributions statistiques peuvent être utilisées. Dans un premier temps, seules les distributions normales, triangulaires et uniformes ont été utilisées. Celles-ci sont supposées traduire, à un instant donné, l'état des connaissances des spécialistes de l'organisation sur le projet. Il est évident que la traduction des connaissances des experts en distributions statistiques a un caractère fortement subjectif lié aux biais et limites cognitifs de ces experts

(Vose, 1996). Néanmoins, l'intérêt de l'approche aléatoire est de permettre d'explicitier les risques principaux pesant sur le projet, tels qu'ils sont perçus par les acteurs de l'entreprise à un moment donné d'avancement du projet et de proposer un traitement rationnel de ces informations qui restent fortement subjectives. En conséquence, le passage de la connaissance des experts aux distributions statistiques peut s'appuyer, par exemple, sur des grilles d'analyse qualitatives des risques (Giard, 1991 et Courtot, 1998).

Par rapport à ces travaux, l'intérêt de la recherche menée est d'avoir mis en évidence les risques pour lesquels la simulation aléatoire apparaît pertinente. En effet, un risque peut être caractérisé par sa probabilité d'occurrence et par son impact.

		Probabilité d'occurrence	
		Faible	Forte
Impact	Faible	Risques modélisables par la simulation aléatoire	
	Fort		

Les risques qui pèsent sur un projet de conception et de développement d'un nouvel appareil peuvent être classés en deux catégories :

- Les risques majeurs qui ont un caractère global par rapport au projet : ces risques remettent en cause la viabilité technique ou économique du projet. Lorsque le projet débute, ces risques majeurs n'existent plus en principe. En conséquence, le traitement de ces risques par la simulation aléatoire ne présente pas d'intérêt puisqu'ils font, en principe, l'objet d'un suivi individuel.
- Un ensemble de risques mineurs qui ne remettent pas en cause la viabilité du projet, mais qui sont susceptibles d'avoir un impact sur sa rentabilité. C'est l'ensemble de ces risques mineurs qui sont modélisés par les distributions de probabilité.

Le caractère mineur ou majeur du risque est essentiellement lié à son impact sur le coût sur le cycle de vie du produit ou la rentabilité du projet. Cette distinction permet de préciser le domaine de validité d'une technique telle que la simulation aléatoire en avant-projet : cette technique ne permet, en effet, que de proposer un traitement des risques mineurs. La survenance d'un risque majeur entraîne, en phase d'avant-projet, l'arrêt du projet si la faisabilité technique ou économique n'est plus démontrée ou des analyses complémentaires.

2.3 Résultats de la simulation aléatoire

Cette technique est une méthode intéressante pour deux raisons principales :

- Sur un plan opératoire, elle est facile à utiliser en raison de la disponibilité de logiciels de simulation aléatoire. Certains logiciels généralisent la méthode de Monte-Carlo et permettent d'obtenir la distribution de probabilités de résultats. L'*add-in @Risk* de PALISADE, permet une utilisation directe de la méthode de Monte-Carlo en donnant la possibilité de définir une cellule par une distribution de probabilité et non comme une occurrence unique d'une variable aléatoire, ce que permet au mieux ce tableur ; on obtient alors directement les distributions de probabilité des valeurs calculées dans le modèle défini, ce qui permet des analyses de risques. Le logiciel permet notamment de procéder à des analyses de scénarios et des analyses de sensibilité des résultats. Enfin, par rapport à la méthode de Monte-Carlo classique, le logiciel offre à l'utilisateur la possibilité de corrélérer les variables aléatoires introduites dans la simulation.

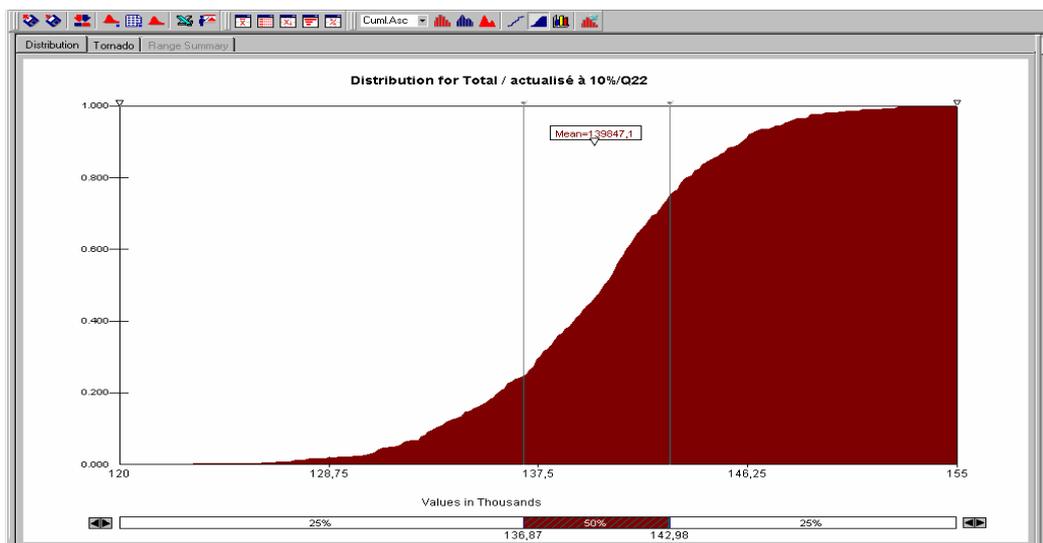
– Elle permet d’obtenir des résultats impossibles à obtenir de manière analytique.

Il est possible d’utiliser la technique de simulation de Monte Carlo dès les phases avancées du projet pour traiter, de manière plus rationnelle, les informations subjectives dont disposent les différents experts de l’organisation. Le recours à cette technique permet, en effet, d’améliorer le niveau d’information dès le début du projet en recourant à l’avis des experts et en proposant une synthèse de ces avis.

La simulation aléatoire sous le logiciel @Risk de Palisade (mais d’autres logiciels fournissent des prestations voisines) fournit les résultats sous forme de graphes. Trois types de graphes sont disponibles :

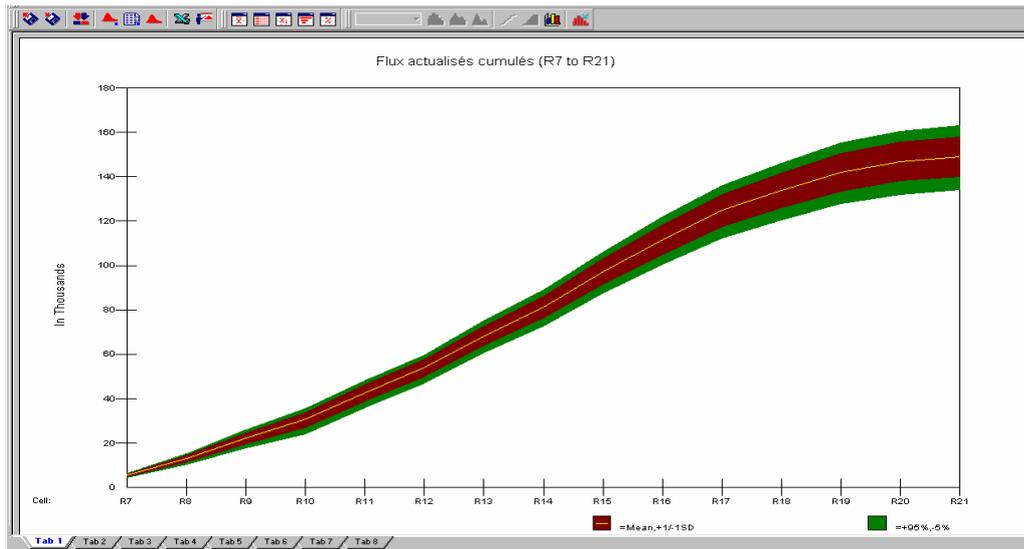
– un graphe de la distribution de probabilité des flux actualisés ou non des dépenses liées au projet sur le cycle de vie du produit ou d’un critère de rentabilité (VAN ou TIR). Cette courbe (ici sous la forme d’une fonction de répartition mais la courbe de densité de probabilité est également disponible) améliore le niveau d’information dans la mesure où sont précisées une valeur moyenne du coût, mais aussi sa distribution de probabilité.

Figure 1 : distribution de probabilité du coût global (flux actualisés)



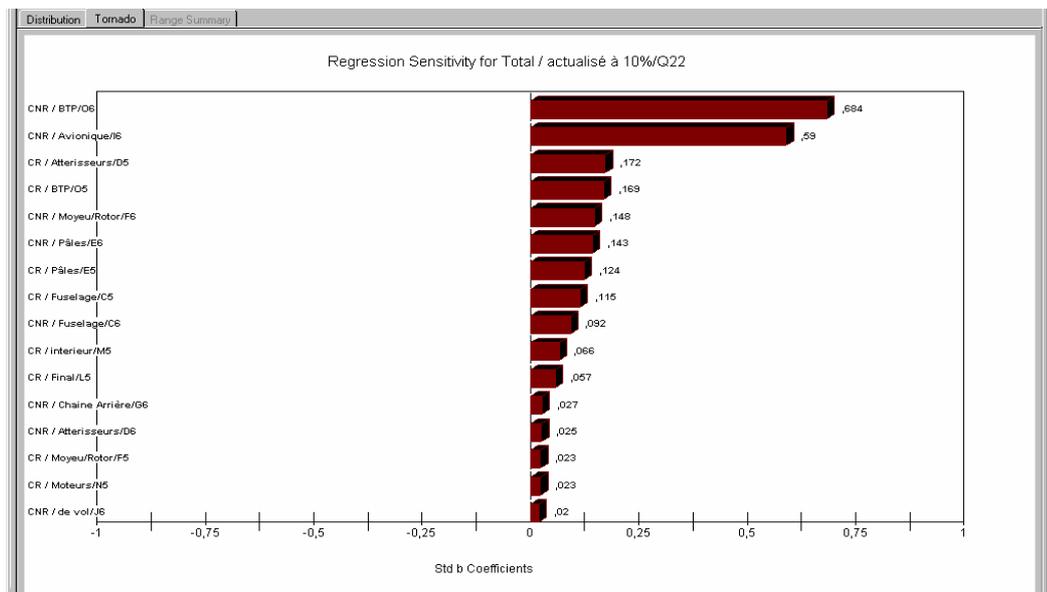
– un graphique de variabilité des flux de trésorerie où autour de la courbe d’évolution des valeurs moyennes calculées dans la simulation, un jeu de deux courbes encadrantes correspondant à deux intervalles de confiance à 66 % et 95 % ;

Figure 2 : Graphe de variabilité du coût global



- un graphique indiquant les facteurs que l'on peut considérer comme les plus influents sur la variabilité des flux actualisés, appelé graphe Tornado. @Risk propose deux méthodes d'étude de sensibilité de chaque paramètre :
 - la première consiste à calculer les coefficients de corrélation de rang entre le flux de trésorerie actualisé et chaque paramètre défini en probabilité.
 - La seconde repose sur l'hypothèse de relation linéaire entre le flux de trésorerie actualisé et le paramètre retenu et consiste à effectuer une régression linéaire multiple sur les données de la simulation, en remplaçant la variable expliquée et les paramètres par les valeurs centrées réduites correspondantes, afin de faciliter l'analyse des coefficients de régression.

Figure 3 : Graphe Tornado d'étude de sensibilité de chaque paramètre



Ce type de traitement de l'information est susceptible de fournir une synthèse utile pour les responsables du projet permettant des interactions entre les différents participants à l'avant-projet. L'intérêt principal est de travailler non seulement sur des valeurs moyennes, mais aussi sur des dispersions. Le premier graphique indique la probabilité de dépasser un niveau de coût donné ou, au contraire, la probabilité d'atteindre une cible de coût. Le second graphique

indique l'évolution du risque au cours du temps. Enfin, le dernier graphique indique les éléments de coûts ayant le plus d'impact sur l'évolution du coût sur le cycle de vie et permet ainsi de diriger l'attention des responsables du projet. En matière d'étude de la rentabilité de produits nouveaux, la simulation aléatoire permet ainsi de prendre en compte les très nombreux facteurs de risque et d'incertitude, identifiés et modélisés par les experts, au cours des différentes périodes constituant la durée de vie du produit. Cependant, nous allons montrer dans le paragraphe suivant que les apports de la simulation aléatoire sont susceptibles d'être plus larges.

3 Apports de la simulation aléatoire au pilotage économique des projets de conception et développement de produits nouveaux

En phase de conception et développement d'un produit nouveau, l'apport de la simulation aléatoire peut être analysé à un double niveau :

- Au niveau décisionnel, cette technique permet de tenir compte du risque spécifique du projet et donc de lier les risques du projet à la rentabilité qui en est attendue. La technique de simulation de Monte-Carlo permet de prendre en compte l'ensemble des risques spécifiques au projet de conception et développement selon une démarche initialisée en 1968 par Hertz.
- À un niveau organisationnel, le processus de simulation aléatoire est susceptible de conforter les facteurs favorisant la performance des projets de conception et développement de produits nouveaux.

3.1 Apports en matière de prise de décision

Comme le souligne ECOSIP (1993, p. 147) l'avant-projet est « *une phase d'élaboration du cahier des charges qui définit les spécifications du produit, le schéma d'industrialisation et le budget global... Le pilotage économique se focalise essentiellement sur la construction de scénarios alternatifs cohérents, en faisant ressortir, dans chaque cas, les enjeux techniques industriels et économiques (ainsi que les risques encourus)* ». Une des caractéristiques importantes de l'avant-projet par rapport au projet est d'être piloté en *stop or go*, c'est-à-dire qu'une des caractéristiques importantes de l'avant-projet est de se conclure par une décision de lancer ou non le projet sur la base d'une évaluation technique, industrielle et économique.

L'apport de la simulation aléatoire par rapport à la prise de décision en avant-projet peut être analysé à deux niveaux. Au niveau épistémologique, la théorie financière enseigne que la décision d'investir dans un actif risqué se base sur l'analyse du couple espérance de rentabilité/risque de cet actif, le risque étant mesuré par l'écart type des gains envisageables. La théorie financière (Goffin, 1999) montre également que le risque total d'un actif a deux composantes :

- un risque lié au marché financier qui est appelé risque systématique ;
- un risque dû à des événements propres à l'actif considéré (certains auteurs parlent de risque d'activité) qui peut être réduit par la diversification du portefeuille d'actifs et qui est donc dénommé risque diversifiable.

Dans le cadre d'un projet unique de conception et développement d'un produit nouveau, le risque lié aux événements propres du projet n'est évidemment plus diversifiable et fait donc l'objet d'une attention toute particulière de la part des managers. En effet, les recettes et coûts

futurs liés au projet et estimés par les experts métiers de l'organisation ont un caractère aléatoire. Le risque lié aux événements propres d'un projet peut être modélisé lors de l'analyse des flux sur le cycle de vie du produit par les techniques de simulation aléatoire.

Au niveau praxéologique, les résultats de la simulation aléatoire apparaissent essentiels en matière de prise de décision lorsqu'on se réfère à la théorie de la décision managériale face au risque (March & Shapira, 1987). En effet, selon ces auteurs, les managers expriment des préférences face au risque mais selon des processus éloignés de ceux postulés par la théorie financière utilisant l'espérance de rendement et la variance de la distribution de probabilités des résultats possibles. March et Shapira (1987) retiennent trois propositions, dans leur analyse de la décision en situation de risque, qui peuvent être analysées sur la base des résultats fournis par la simulation aléatoire :

- L'idée de risque est associée à un résultat négatif et c'est l'ampleur des mauvais résultats possibles qui paraît marquante. Par contre, les managers semblent moins sensibles aux estimations de probabilités des résultats possibles.
- L'attitude des managers à l'égard du risque n'est pas stable mais varie en fonction des priorités à l'intérieur d'un ensemble de préférences contradictoires et ambiguës.
- Les managers établissent une distinction entre le jeu de hasard dans lequel les risques sont exogènes et non contrôlables et la prise de risque où l'information et les capacités peuvent diminuer l'incertitude.

Il semble que cette analyse ne remet pas en cause la pertinence des résultats de la simulation aléatoire concernant la prise de décision en fin d'avant-projet. Tout d'abord, comme le montre l'analyse des résultats proposée par les logiciels de simulation aléatoire, les résultats négatifs et l'ampleur de ces résultats apparaissent explicitement. En conséquence, la simulation aléatoire ne présume pas d'un comportement des managers face au risque mais fournit une consolidation rationnelle des résultats.

La troisième proposition avancée par March et Shapira (1987) est, sans doute, la proposition la plus pertinente en matière de décision de lancer ou non un projet de conception et développement d'un produit nouveau. En effet, les risques modélisés par la simulation aléatoire ont, pour la plupart d'entre eux, un caractère endogène dans la mesure où ils sont plus ou moins maîtrisables au cours du processus de conception et développement du produit nouveau. De plus, les risques modélisés sont les risques identifiés par les spécialistes (marketing, techniques...) au démarrage du projet. Ces risques identifiés et modélisés par la simulation aléatoire sont destinés à être gérés et maîtrisés au cours du projet. En particulier, de précédentes recherches ont indiqué que les systèmes de pilotage économique destinés aux projets de conception et développement de produits nouveaux étaient principalement orientés vers la réduction des différentes incertitudes auxquelles le projet fait face (Gautier, 2003). Les résultats de la simulation aléatoire révèlent l'état des connaissances des experts et l'incertitude à laquelle le projet fait face, avec un objectif de mise en œuvre d'un plan de maîtrise des risques. Enfin, comme nous l'avons déjà mentionné, la simulation aléatoire constitue une synthèse pertinente pour les risques dont l'impact sur le coût sur le cycle de vie et la rentabilité du projet n'est pas trop important. En effet, les risques considérés comme majeurs sont traités à part dans la mesure où leur existence remet en cause la poursuite du projet.

3.2 Apports au niveau du processus de conception et développement de produits nouveaux

Les activités de conception et développement relèvent, selon la littérature (Brown et Eisenhardt, 1995), de quatre grandes classes d'activités : des activités de résolution de problèmes, des activités de planification, des activités de communication et enfin des activités d'apprentissage. Chacune de ces classes d'activités correspond à des courants de recherche spécifiques qui mettent en avant des facteurs de performance particuliers concernant les activités de conception et développement de produits nouveaux. L'analyse plus spécifique des avant-projets indique que ces quatre grandes classes d'activités restent pertinentes pour analyser ces phases particulières du projet (Khurana & Rosenthal, 1998). Nous aborderons successivement ces quatre classes d'activités pour apprécier l'apport de la simulation aléatoire lors des phases d'avant-projet de conception et développement de produits nouveaux.

3.2.1 La résolution de problème

La phase d'avant-projet est particulière dans la mesure où elle vise à préparer le projet. En ce sens, comme le remarquent à juste titre Lenfle et Midler (2003), la phase d'avant-projet vise plutôt à poser les problèmes qu'à les résoudre. Cette remarque est d'autant plus importante que la résolution des problèmes de conception et développement au cours du projet sera fortement contrainte par la manière dont les problèmes auront été posés.

La simulation aléatoire suppose, comme cela a été précisé, un modèle économique et des distributions de probabilités pour les variables aléatoires. En conséquence, le modèle n'est pertinent que lorsque les acteurs de l'organisation (les experts-métiers en particulier) ont explicité les connaissances dont ils disposent en amont du projet. Cette explicitation des connaissances, dont la simulation aléatoire fournit une synthèse rationnelle, permet de « poser les problèmes » en termes technologiques, industriels ou économiques. L'apport du modèle économique basé sur le concept de coût sur le cycle de vie du produit et complété par la simulation aléatoire a sensiblement amélioré la façon de poser le problème de conception lors de la phase avant-projet sur au moins deux aspects :

- la prise en compte, dès les phases avancées, des conséquences et des aspects industriels des décisions de dimensionnement de l'appareil ;
- la formalisation des conséquences économiques des risques tels qu'ils étaient perçus par les spécialistes du bureau d'études et des centres de compétence industriels.

La mise en place de l'instrumentation a permis de révéler certains modes de fonctionnement concrets de l'organisation qui relevaient plus d'une organisation séquentielle du développement que d'une organisation concurrente. Une partie importante du travail de mise en place de l'instrumentation a donc consisté à négocier le moment et le degré d'intervention des différents experts de l'organisation, afin de poser le problème de manière large en tenant compte des contraintes des différents métiers. Cette façon de poser les problèmes est également susceptible d'améliorer sensiblement le processus de planification économique du projet.

3.2.2 La planification du projet

La simulation aléatoire appliquée au modèle économique est susceptible d'améliorer les pratiques de pilotage des coûts. En effet, la décision de lancer le projet se traduit, sur le plan économique, par la détermination d'un objectif de coûts à atteindre, concernant tant les coûts de conception et développement (coûts liés au projet, coûts d'industrialisation...) que les

coûts récurrents générés par les décisions de conception (coûts de production, coûts de maintenance...) puis par la décentralisation de cet objectif de coût. Les pratiques japonaises de *target costing* (Tanaka et al. , 1994) prévoient tout d'abord une décomposition de l'objectif par fonctions ou une décomposition par composants : le coût-objectif doit être réparti et affecté aux domaines ou ensembles fonctionnels du produit à concevoir et à développer. Tanaka (1994) distingue deux grandes méthodes d'affectation de l'objectif :

- la première consiste à allouer le coût-cible à des ensembles de composants formant des sous-ensembles du nouveau produit ;
- la seconde méthode consiste à allouer le coût-cible selon les domaines fonctionnels du produit.

La méthode des composants est utilisée pour des produits nouveaux similaires, au niveau de leur conception, à des produits déjà fabriqués. La méthode des composants se justifie par le fait que ces produits nouveaux ne se prêtent pas à l'adoption de nouvelles technologies, ou bien ils nécessitent des délais de conception très courts. En fait, la décentralisation de l'objectif de coût par la méthode des composants conduit les concepteurs à se préoccuper plus des matériaux que des fonctions. Au contraire, la méthode d'allocation du coût-objectif par domaines fonctionnels du produit nouveau favorise la prise en compte des besoins du consommateur par les concepteurs. Des principes similaires sont retenus par les pratiques nord-américaines de *design-to-cost*.

Les techniques de simulation aléatoire apportent des informations cruciales à ce processus de fixation et de répartition d'une cible de coût. Tout d'abord, les résultats de la simulation aléatoire indiquent et synthétisent l'opinion des experts concernant la probabilité d'atteindre ou non la cible de coût fixée par la direction de l'entreprise. En ce sens, la simulation aléatoire fournit des informations sur la difficulté d'atteinte des objectifs fixés au projet telle qu'elle est perçue par les experts de l'organisation. Contrairement à l'analyse des pratiques de *target costing* au Japon ou de *design-to-cost* en Amérique du Nord, la difficulté des objectifs fixés au projet ne réside pas uniquement dans la comparaison entre un coût actuel estimé et un objectif de coût : cette différence peut être importante alors que l'objectif de coût fixé est estimé facile à atteindre et inversement, cette différence peut être faible alors que les spécialistes de l'organisation estiment que l'objectif est difficile à atteindre.

Ensuite, la simulation aléatoire apparaît utile également en matière de répartition de l'objectif à atteindre. En effet, une certaine équité en matière des objectifs suppose de tenir compte des informations techniques ou commerciales pour répartir l'objectif, mais aussi du niveau de difficulté transmis aux métiers lors de la répartition de l'objectif de coût. La simulation aléatoire permet de connaître explicitement la difficulté des objectifs économiques qui sont transmis par le processus de conception pour un coût objectif aux différents intervenants au projet de conception et développement du produit nouveau.

En conclusion, la simulation aléatoire est susceptible de fournir une information cruciale en matière de pilotage économique par les méthodes de *target costing* ou de *design-to-cost* en fournissant des éléments permettant d'apprécier le niveau de difficulté des objectifs à atteindre et de leur répartition au sein de l'équipe-projet. Bien que la question du niveau de difficulté des objectifs à atteindre soit récurrente en contrôle de gestion, elle est relativement peu abordée dans les méthodologies de conception pour un coût-objectif. La simulation aléatoire permet alors d'éclairer les choix d'objectifs effectués avant le démarrage du projet. Elle permet également d'impliquer effectivement les spécialistes fonctionnels dans le processus de planification économique du projet.

3.2.3 *Le réseau de communication*

Ce courant de recherche insiste sur l'importance des communications en matière de performance des activités de conception et développement de produits nouveaux. De nombreux chercheurs retiennent la fréquence et l'intensité des communications pour expliquer le succès ou l'échec d'un projet de conception et développement d'un produit nouveau. Ce courant de recherche s'intéresse essentiellement aux caractéristiques structurelles et organisationnelles et aux procédures susceptibles d'accroître les communications et améliorer le traitement de l'information.

L'expérience menée dans une entreprise majeure du secteur aéronautique européen a clairement montré que la mise en œuvre d'une instrumentation économique basée sur le cycle de vie et faisant appel à la simulation aléatoire supposait une concourance forte dès le démarrage du projet. En effet, aucun acteur au sein de l'organisation ne dispose à lui seul de l'ensemble des informations permettant d'alimenter le modèle économique. En conséquence, cet outil de pilotage qui nécessite l'explicitation et la prise en compte de l'incertitude (par opposition à un pilotage opaque qui accumulerait les marges pénalisantes sans entretenir la vigilance sur les risques) suppose une dimension sociale importante qui se traduit par la confiance et la solidarité entre les protagonistes (Midler, 1996). Le résultat de l'instrumentation proposée ne constitue pas la juxtaposition des avis subjectifs des différents spécialistes de l'organisation mais constitue un compromis négocié entre ces différents spécialistes : une des conséquences opérationnelles de l'instrumentation au sein de l'entreprise a été le démarrage de discussions intenses entre les ingénieurs des études, ceux des centres industriels et les ingénieurs chargés de la commercialisation et des relations avec les clients. Une instrumentation économique basée sur le cycle de vie du produit et la simulation aléatoire peut favoriser le dialogue entre les différentes expertises et la négociation d'un compromis en permettant d'évaluer l'impact des différentes options qui apparaissent au cours de l'avant-projet en termes économiques et en terme de risque.

3.2.4 *La dimension apprentissage*

Les produits reflètent la connaissance accumulée par les organisations qui les créent. En conséquence, l'efficacité du processus de conception et développement d'un produit nouveau est liée à l'évolution des bases de connaissance sous-jacentes (Iansati, 1998). On distingue deux types de connaissances :

- des connaissances généralisables et spécifiques à un domaine (par exemple, l'aérodynamique pour un avion). Ces différentes bases de connaissances doivent être intégrées entre elles et avec le contexte applicatif pour conduire à un produit remplissant ses fonctions.
- Des connaissances spécifiques au contexte constituées des connaissances nécessaires pour assurer l'intégration entre ces domaines de connaissances et entre ces domaines et le contexte applicatif. Ces connaissances demeurent souvent tacites (par exemple, transférer des connaissances détaillées des processus de production aux individus chargés de concevoir les équipements).

Les activités de conception et développement ont pour objectif d'intégrer les connaissances accumulées dans des domaines d'expertise donnés dans un système cohérent et adapté au contexte applicatif. Cette intégration des connaissances est permise par la négociation d'un compromis entre les différents experts fonctionnels qui résulte de communications mais aussi d'un processus d'apprentissage réciproque (Hatchuel, 1994). Ainsi le mode de coopération

dans les situations de conception collective est celui de la prescription réciproque dans lequel « *chacun des acteurs va indiquer à l'autre les prescriptions qu'il doit respecter pour que leurs interventions soient compatibles et aboutissent à telle ou telle performance d'ensemble* ». Or, comme le souligne Hatchuel (1994), ce processus de prescriptions réciproques doit être marqué par des épreuves de compatibilité et de vérité pour pouvoir converger. L'expérimentation constitue une des modalités de ces épreuves de compatibilité des prescriptions réciproques. En ce qui concerne les aspects économiques et le risque, la simulation aléatoire basée sur un modèle économique s'appuyant sur le concept de cycle de vie du produit constitue une forme d'épreuve de compatibilité des espaces d'exploration des prestations réciproques. En ce sens, ce type d'instrumentation constitue une aide aussi importante en matière d'orientation des apprentissages sur le projet que le sont les expérimentations pour la compatibilité technique des solutions de conception. La simulation aléatoire couplée à un modèle économique basé sur le cycle de vie du produit constitue une épreuve de la compatibilité des décisions de conception et développement en termes économiques et de risques sur le projet.

De manière plus opérationnelle et plus immédiate, l'instrumentation a permis de rapprocher le jugement en valeur vers les acteurs qui influent sur la conception du produit nouveau. L'instrumentation mise en place a favorisé l'acquisition de nouveaux savoirs d'évaluation économiques par les ingénieurs de l'avant-projet.

Une instrumentation économique basée sur le concept de coût sur le cycle de vie du produit et la simulation aléatoire favorise la mobilisation des connaissances des spécialistes sur un projet de conception et développement. Elle constitue une technique de traitement rationnel de certaines de ces connaissances, notamment les connaissances implicites et subjectives des experts-métiers de l'organisation. Elle participe donc au recueil et au traitement de l'information sur le projet et ce, dès les phases avancées. La pertinence des informations fournies par cette technique est directement liée à une hypothèse de concourance forte. Sur un plan épistémologique, la simulation aléatoire permet de tenir compte de risque spécifique du projet. Sur un plan praxéologique, la simulation aléatoire apporte des informations essentielles concernant les démarches de *target costing* ou de *design-to-cost* notamment grâce au couplage coûts et risques et au rôle d'épreuve de compatibilité que peuvent jouer les modèles économiques basés sur la simulation aléatoire. Cette technique est donc susceptible d'améliorer les pratiques de pilotage économique des projets de conception et développement de produits nouveaux, d'autant plus facilement qu'il existe des logiciels simples et peu coûteux à utiliser.

L'expérience menée sur une seule entreprise ne permet pas, bien évidemment, des conclusions généralisables. Elle indique néanmoins que l'hypothèse de rôle mineur joué par les systèmes de comptabilité et de contrôle de gestion au cours des projets de conception et développement n'est sans doute pas définitive. Au contraire, l'étude précise que ces systèmes sont susceptibles de jouer un rôle important tant en matière de prise de décision qu'en matière d'amélioration du processus de développement lui-même. L'étude précise certaines des conditions de pertinence de cette instrumentation : un certain degré de concourance dès les phases amont du projet et une décentralisation du jugement en valeur auprès des acteurs chargés de concevoir.

Références bibliographiques

- Berliner C. & Brimson J.A. (Edited by), *Cost Management for Today's Advanced Manufacturing, The CAM.I Conceptual Design*, Harvard Business School Press, Boston, 1987.
- Bouquin H. (2003), *Comptabilité de Gestion*, Economica, Paris.
- Brown S. L. & Eisenhardt K. M. (1995), « Product development : past research, present findings, and future directions », *Academy of Management Review*, Vol. 20 N°2, p. 343-378.
- Courtot H. (1998), *La gestion des risques dans les projets*, Economica, Paris.
- ECOSIP, sous la direction de V. Giard & C. Midler, (1993), *Pilotages de Projet et Entreprises, Diversités et convergences*, Economica, Paris.
- Gautier F. (2003), *Pilotage économique des projets de conception et développement de produits nouveaux*, Economica, Paris.
- Gautier F. & Giard V. (2001), « Vers une meilleure maîtrise des coûts engagés sur le cycle de vie lors de la conception de produits nouveaux », *Comptabilité Contrôle Audit*, tome VI vol. 2, p. 43-75.
- Giard V. (1991), *Gestion de projets*, Economica, Paris.
- Giard V. (1995), *Statistique appliquée à la gestion*, Economica, 7^e édition, Paris.
- Giard V. (2003), *Gestion de la production et des flux*, Economica, 3^e édition, Paris.
- Giard V. & Pellegrin C. (1992), « Fondements de l'évaluation économique dans les modèles économiques de gestion », *Revue Française de Gestion*, mars-avril-mai.
- Gilbert P. (1998), *L'instrumentation de gestion – La technologie de gestion, science humaine ?*, Economica, Paris.
- Goffin R. (1999), *Principes de Finance Moderne*, Economica, 2^e édition, Paris.
- Gormand C. (1986), *Le coût global (Life Cycle Cost), Pour investir plus rationnellement*, Afnor Gestion, Paris.
- Hatchuel A. (1994), « Apprentissages collectifs et activités de conception », *Revue Française de Gestion*, juin-juillet-août, p. 109-120.
- Hertz D. B. (1968), « Investment policies that pay off », *Harvard Business Review*, Vol. 46 N°1, janvier-février.
- Iansati M. (1998), *Technology Integration, Making Critical Choices in a Dynamic World*, Harvard Business School Press, Boston.
- Khurana A. & Rosenthal S. R. (1998), « Towards Holistic Front Ends in New Product Development », *Journal of Product Innovation Management*, vol. 15 N°1, p. 57-74.
- Lenfle S. & Midler C. (2003), « Management de Projet et Innovation », in Mustar P. & Penan H. (2003), *L'Encyclopédie de l'Innovation*, Economica, Paris.
- Lorino P. (2001), *Méthodes et pratiques de la performance, Le pilotage par les processus et les compétences*, Editions d'Organisation, Paris (2nde édition)
- March J. G. (1991), *Décisions et organisations*, Éditions d'Organisation, Paris (traduction).
- March J. G. & Shapira Z. (1987), « Managerial perspectives on risk and risk taking », *Management Science*, Vol. 33 N°11, p. 1404-1418.
- Midler C. (1993), *L'auto qui n'existait pas, Management de projets et transformation de l'entreprise*, InterEditions, Paris.

- Midler C. (1996), « Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception », in de Terssac G. & Friedberg G., *Coopération et Conception*, Octares Editions, Toulouse.
- Monden Y. & Sakurai M. (1994), *Comptabilité et Contrôle de Gestion dans les Grandes Entreprises Japonaises*, InterÉditions, Paris (traduction de *Japanese Management Accounting*, Productivity Press, Cambridge, 1989).
- Mustar P. & Penan H. (2003), *L'Encyclopédie de l'Innovation*, Economica, Paris.
- Nixon B., Innes J. & Rabinowitz J. (1997), « Management Accounting for Design », *Management Accounting* (London), vol. 75 n°8, septembre, p. 40-41.
- Nixon B. (1998), « Research and development performance : a case study », *Management Accounting Research*, Vol. 9 n°3, septembre, p. 329-355.
- ReVelle J. B. , Moran J. W. & Cox C.A. (1998), *The QFD Handbook*, Wiley, New York.
- Schein E.H. (1987), *The clinical perspective in fieldwork*, Sage Publications, Beverly Hills.
- Sherif Y. S. & Kolarik W. J. (1981), « Life Cycle Costing : Concept and Practice », *Omega*, Vol. 9 n°3, p. 287-296.
- Shields M. D. & Young S.M. (1991), « Managing Product Life Cycle Costs : An Organizational Model », *Journal of Cost Management*, Vol. 5 n°3, Fall, p. 39-52.
- Tanaka M. (1994), « Le contrôle des coûts dans la phase de conception d'un nouveau produit », in Monden Y. & Sakurai M., *Comptabilité et Contrôle de Gestion dans les Grandes Entreprises Japonaises*, InterÉditions, Paris.
- Usunier J-C., Easterby-Smith M. & Thorpe R. (1993), *Introduction à la Recherche en Gestion*, Economica, Paris.
- Vose D. (1996), *Quantitative Risk Analysis, A Guide to Monte Carlo simulation modelling*, Wiley.