
Chapitre II

LA DÉTERMINATION DU PORTEFEUILLE DE PRODUITS

Les décisions stratégiques sont relatives au positionnement désiré par l'entreprise à long terme, c'est-à-dire à la définition cohérente en composition et volume de son portefeuille de produits et de services qu'elle désire **mettre** sur le marché, et du portefeuille de ressources permanentes physiques, humaines et informationnelles qu'elle entend mobiliser pour réaliser cette offre. La cohérence entre les fins et les moyens est essentielle et le réalisme impose une vision claire et réaliste des grandes décisions à prendre dans les années à venir pour atteindre ces objectifs du long terme (horizon à cinq - dix ans). Ce chapitre est consacré à quelques-uns des principaux problèmes et enjeux relatifs à la définition de produits nouveaux et de leurs impacts sur le système productif, en se plaçant dans le cas de la production de produits fabriqués en grande série ou à la commande, tandis que le **chapitre III** traite des décisions relatives à la conception et la transformation du système productif. Les décisions de renouvellement du portefeuille de produits et de services et celles de transformation du système productif sont intimement liées et cette présentation en deux temps tient à l'ampleur des problèmes posés.

Table des
matières

Index
thématique

La cohérence du portefeuille de produits et leurs relations avec le marché ont fait l'objet de nombreuses méthodologies d'analyse (matrice du *Boston Consulting Group*, matrice Arthur D. Little, matrice Mc Kinsey¹, etc.) qui ne seront pas abordées ici parce qu'elles relèvent de l'analyse stratégique et non de la gestion de production. Pour des raisons similaires, on n'examinera pas le problème de l'abandon de produits (souvent lié à l'introduction de produits nouveaux). On se focalisera ici sur les problèmes posés par l'introduction d'un produit nouveau en examinant successivement la définition de ces produits (**section I**), leur processus de conception (**section II, page 109**) et les problèmes posés par la standardisation des produits et composants (**section III, page 133**).

SECTION I LA RECHERCHE DE PRODUITS NOUVEAUX

L'environnement technico-économique de l'entreprise évoluant de plus en plus vite, la direction de l'entreprise doit veiller à ce que son portefeuille de produits ou de services ne soit pas frappé d'obsolescence technique ou commerciale. L'introduction de nouveaux produits et l'abandon de certaines activités doivent donc être périodiquement envisagés. L'introduction de nouveaux produits est une

1. Pour une présentation de ces approches, voir Helfer, Kalika & Orsoni (1996, [228]), chap. III.

affaire concernant à la fois la fonction production et la fonction commerciale, conçue comme allant de la vente jusqu'au service après vente (SAV) préoccupation prise de plus en plus souvent en compte dès la conception. Entre «faire ce que l'on peut vendre» et «vendre ce que l'on sait faire», un compromis doit être trouvé, acceptable pour les deux parties, faute de quoi l'entreprise est inéluctablement condamnée à la faillite à plus ou moins brève échéance. Après avoir rapidement brossé le processus d'introduction de produits nouveaux (§ I-1), nous définirons ce qu'est un produit nouveau (§ I-2, page 101) et analyserons la variété des produits (§ I-3, page 102). Nous présenterons enfin une approche d'analyse des besoins permettant d'améliorer la pertinence du cahier des charges d'un produit nouveau (§ I-4, page 107).

I-1 Le processus d'introduction de produits nouveaux

De l'idée au produit vendu, plusieurs étapes doivent être franchies et constituent autant de filtres qui, en définitive, ne laisseront voir le jour qu'à moins de 5 % des idées (certaines enquêtes, dans certains secteurs, avancent même des chiffres nettement plus faibles). Ces étapes sont «classiquement» les suivantes :

- La première étape est celle de la génération d'idées de produits; elle est plus ou moins spontanée (appel possible à des techniques de créativité, réponses à des demandes formulées, étude de brevets et licences...) et implique une participation plus ou moins forte et régulière des principaux responsables de l'entreprise.
- On procède ensuite à une sélection sur la base d'une évaluation commerciale du marché potentiel (prix, quantités, longévité commerciale...) et d'une étude rapide de faisabilité technique (adaptation des différentes ressources à cette nouvelle production, modification éventuelle du « métier » de l'entreprise, etc.) et financière (estimation grossière des flux de trésorerie associés au lancement).
- Vient ensuite la définition préliminaire du produit dans laquelle un arbitrage doit être opéré entre son coût (on reviendra sur sa détermination au § II-2.1, page 118) et l'ampleur de ses spécifications techniques et le niveau de qualité à respecter. La préoccupation de standardisation (qui va souvent de pair avec une conception modulaire des produits) est, à ce stade, fondamentale car, après, il est bien souvent trop tard.
- On arrive alors à la possibilité de construire un prototype qui sera testé pour en vérifier les performances techniques et/ou commerciales.
- Il en résulte une définition finale du produit, s'accompagnant, lorsque cela s'impose, du lancement d'une présérie pour vérifier la pertinence des gammes de fabrication et d'assemblage ainsi que des diverses procédures organisationnelles.

Un produit n'est jamais figé. Tout au long de son existence, il s'adapte et se perfectionne. Des réponses techniques sont apportées pour pallier les défaillances constatées et des modifications sont souvent rendues nécessaires pour «rajeunir» commercialement le produit (quelquefois, par l'introduction d'options proposées qui assurent un meilleur ciblage commercial). On modifie donc les gammes et les nomenclatures par le biais d'ordres de modification (classiquement désignés par le sigle OM) qui vont souvent à l'encontre d'objectifs de standardisation et peuvent

compliquer la gestion de la production lorsque le cycle de fabrication est grand (plusieurs gammes et nomenclatures pouvant alors coexister pour un même produit).

Dans les pages qui suivent, les principales techniques d'analyse mobilisables dans ce processus de renouvellement du portefeuille de produits seront abordées, étant entendu que celles qui concernent la transformation du système productif seront traitées dans le chapitre suivant. La frontière entre ce qui relève des sciences de l'ingénieur et des sciences de gestion est imprécise. Le point de vue retenu ici est celui d'une présentation des principales techniques permettant un éclairage économique des décisions de conception de produits nouveaux.

I-2 La définition de produits nouveaux

Utilisée en gestion depuis un demi-siècle, la transposition des approches de Darwin à l'évolution de l'offre de produits et de services conduit à considérer la création et la disparition des produits sous l'angle d'un processus de sélection naturelle lié à une adéquation à un environnement sans cesse plus exigeant. Cette approche a donné naissance, en marketing, au concept de cycle de vie d'un produit¹, le produit considéré étant caractérisé par un ensemble d'attributs et pouvant être fabriqué par des entreprises différentes.

Un produit nouveau se différencie des produits existants par un ou plusieurs attributs.

- Lorsque de nouveaux procédés de production permettent une forte diminution des prix de vente de produits existants, on peut considérer que l'importance de la modification de l'attribut prix est telle que, pour une partie importante des consommateurs, on est en présence de produits nouveaux. C'est le cas du processus de diffusion d'une innovation technique (par exemple, utilisation des écrans à matrice active mis au point pour les micro-ordinateurs, dans le renouvellement de l'offre des téléviseurs), mais c'est aussi le cas de la mise au point de techniques de conception permettant de concilier prix bas et très grande variété de produits (voir § I-3.1, page 102). En se plaçant dans le contexte des entreprises orientées vers la production de produits manufacturés, il est intéressant d'examiner le degré d'innovation des projets de développement en fonction du degré d'innovation du produit et des procédés, à partir du [tableau 2 de la page 102](#) proposé par Wheelright et Clark (1992, [441]). Ce croisement met en évidence, dans un environnement s'appuyant sur les plates-formes « produits » (définies en [page 103](#)), trois graduations dans le degré de nouveauté de tels projets, qui influent sur l'avantage concurrentiel et les ressources humaines, matérielles et informationnelles à mobiliser.
- Lorsqu'on se situe dans la perspective allant de l'achat d'un produit à son usage jusqu'à sa mise au rebut, les attributs pris en compte peuvent être immatériels (informations préalables, services associés aux produits, extension de garantie, amélioration du service après-vente, etc.) et être orientés vers une limitation des risques et gênes encourus (point déjà abordé [page 67](#)). Cela étant, une amélioration de ces attributs profite très souvent à plusieurs

1. Voir [page 117](#).

TABLEAU 2

Types primaires de projets de développement d'après Wheelwright et Clark [441])

Recherche et développements avancés		Etendue des changements du produit			
		Nouveau concept produit	Nouvelle génération d'un concept produit	Addition dans la famille de produits	Dérivés et améliorations
Etendue du changement des procédés	Nouveau concept de procédé	Ruptures radicales			
	Procédé de nouvelle génération				
	Amélioration limitée	Produit de nouvelle génération ou plate-forme			
	Changement incrémental				
				Améliorations, produits dérivés	

familles de produits et ne constitue un avantage durable, toutes choses égales par ailleurs, que dans la mesure où la concurrence ne s'aligne pas rapidement (on reviendra sur ce point à la [page 108](#)).

- La majorité des produits nouveaux se différencie des précédents par leurs attributs physiques et par les services qui leur sont associés.

C'est à ce dernier cas que nous nous intéressons plus particulièrement ici. Il convient de distinguer à ce niveau ce qui relève d'une nouveauté obtenue par un accroissement de la diversité d'une famille de produits (§ I-3), de ce qui relève de la recherche d'attributs nouveaux qui passe par une analyse des besoins (§ I-4, [page 107](#)).

I-3 Analyse de la variété des produits

On examinera dans un premier temps les formes que revêt la variété des produits (§ I-3.1) avant d'examiner les coûts que celle-ci engendre (§ I-3.2, [page 105](#)) et que des efforts de rationalisation et de standardisation permettent de maîtriser (voir [section III](#), [page 133](#)).

I-3.1 Les formes de la variété

La perception globale de produits finis par le consommateur ou le client potentiel est conditionnée par de très nombreux facteurs dont beaucoup dépendent du *mix* retenu en marketing; elle ne relève donc pas de notre préoccupation. La variété des besoins exprimés et l'élévation du niveau de vie ont progressivement conduit les entreprises à s'orienter vers une production sur mesure.

Trois types de production sur mesure doivent être distingués (voir Anderson & Pine, 1997, [16]). Certaines caractéristiques d'un produit peuvent être **personnalisées par le client** pour une parfaite adéquation à ses goûts ou besoins. C'est ainsi que le détenteur d'une chaîne stéréo peut régler certaines caractéristiques de son tuner pour que le son de sa chaîne corresponde à ses préférences, que le conducteur de certains modèles automobiles peut régler à sa guise la hauteur et l'incli-

raison de son volant ou que l'utilisateur d'un micro-ordinateur peut paramétrer, à sa guise, son environnement de travail. D'autres produits sont *auto-adaptables*, c'est-à-dire qu'ils s'ajustent automatiquement au contexte de l'usage qui en est fait pour assurer au mieux la fonction qui est leur raison d'être. Cette catégorie de produits peut être illustrée par les rasoirs électriques à têtes flottantes ou par les machines à laver utilisant la logique floue pour décider du meilleur cycle de lavage. Enfin, certains produits sont *personnalisés par le constructeur* (et, dans certains cas, par le vendeur). Plusieurs solutions, non exclusives pour définir cette personnalisation, sont possibles.

- La première solution, la plus ancienne, est celle de l'usage de composants totalement interchangeables, ne différant que sur certaines caractéristiques d'aspect (par exemple, rétroviseurs ou coques de rasoirs électriques ne différant que par leurs couleurs ou sièges de véhicules automobiles ne différant que par le tissu de la housse les recouvrant). La variété est alors obtenue par une combinaison de composants pris dans des ensembles disjoints de composants interchangeables. Le composant visé peut être lui même un assemblage de composants élémentaires assurant une ou plusieurs fonctions et l'on parle alors de **module**.
- La seconde solution, largement utilisée dans l'industrie automobile, est celle de l'usage d'une *combinaison appropriée de modules*, chaque module étant choisi dans un ensemble limité de modules interchangeables¹. Cette solution implique non seulement un processus productif standardisé (pour minimiser les réglages et changements d'outillage) et une substituabilité totale des modules d'une même famille au montage, mais aussi, pour limiter les «risques système» de dysfonctionnement, la conception de supports de montage standardisés, assurés d'une pérennité suffisante et robustes, c'est-à-dire acceptant un large spectre de contraintes (électriques, mécaniques, etc.); cet ensemble coordonné de ressources définies pour générer facilement et économiquement de la variété de produits est appelé **plate-forme** de produits². Une variété supplémentaire peut être obtenue par l'adjonction de composants *optionnels*³; jusqu'à une époque récente, l'importance relative de la diversité par composants optionnels était du reste nettement plus forte que celle obtenue par combinaison de modules. L'impact de cette variété sur

1. L'intérêt économique de cette approche modulaire est perçu dans les années soixante (voir Tarondeau, 1999, [408]) et continue de susciter un intérêt chez les gestionnaires (Baldwin & Clark, 1997 [31], 2000 [32]). Dans cette approche, la conception d'un système complexe (produit ou processus) s'appuie principalement sur un mécano de sous-systèmes élémentaires conçus indépendamment puis assemblés pour satisfaire un besoin précis. La standardisation peut être appliquée dans la définition d'un ensemble de modules physiquement interchangeables et assurant une même fonction, mais les concepts de modularité et de standardisation ne doivent donc pas être confondus. Cela étant, une approche modulaire efficiente repose sur une standardisation optimisée de chaque famille de modules interchangeables d'un point de vue fonctionnel, cette optimisation pouvant s'appuyer sur l'approche proposée en [section III, page 133](#).
2. La conception de telles plates-formes de produits est liée à la politique de modularité définie dans une approche systémique (voir Meyer & Lehner, 1997, [299]). Elle oblige donc à un dépassement de la vision traditionnelle des projets de développement de produits, puisqu'elle implique une vision dynamique du portefeuille de produits offerts. Dans de nombreux secteurs industriels, une partie substantielle des produits nouveaux est dérivée de plates-formes «produits» existantes. Une stratégie de plates-formes de produits cohérente et planifiée permet de réduire le nombre de pièces et composants, de réduire les coûts de développement des produits dérivés ainsi que les investissements nécessaires en matière de procédés de fabrication. Par ailleurs, cette approche peut permettre une production sur une ligne «banalisée» permettant la production et/ou l'assemblage de gammes de produits différents, ce qui permet de mieux pouvoir faire face à des variations de la répartition de la demande globale entre les gammes.

l'intérêt économique des lignes de production et d'assemblage (analyse introduite en [page 60](#)) sera abordé au [chapitre IX, page 589](#). L'usage de cette conception modulaire dans une production organisée pour permettre un assemblage à la commande est souvent nécessaire pour respecter des délais courts de mise à disposition aux clients et constitue l'une des formes de la différenciation retardée (voir définition [page 105](#)). On peut ajouter que ce problème sera repris dans l'analyse de la conception des nomenclatures en fonction des attentes du marché qui sera faite au § II-2 du [chapitre VI](#) et plus particulièrement avec la [figure 141 de la page 464](#).

- L'usage de *composants ajustables de manière réversible* conduit à une personnalisation immédiate et peu coûteuse d'un composant donné par différents moyens (commutateur, logiciel...) pour activer un ensemble de fonctionnalités prises dans un ensemble possible, cette décision pouvant être réversible. Cette technique est souvent retenue dans la conception de composants électroniques ou électriques.
- L'usage de *composants ajustables de manière irréversible* correspond à une adaptation immédiate et peu coûteuse d'un composant aux besoins soit par un traitement physique de découpe, soit par un traitement chimique, irréversible dans les deux cas. On trouve de tels produits dans la confection, la lunetterie, la fabrication de vélos sur mesure ou celle de portes et fenêtres de rénovation. La différenciation retardée procède souvent de cette logique.

Les moyens d'obtenir la variété des produits offerts sont donc nombreux et permettent d'éviter un appel à un sur mesure systématique et coûteux. Pour en faire l'analyse économique (sur laquelle on reviendra en détail à la [section III, page 133](#)), il importe de tenir compte de deux points de vue.

- Un composant n'a pas, a priori, pour vocation de n'être utilisé que par un seul produit fini, en raison de synergies de conception, fabrication et distribution. Ce problème de rationalisation de la conception des produits d'une entreprise doit donc se traiter au niveau de l'ensemble des familles de produits technologiquement proches et non au niveau de chaque produit élémentaire, sachant que l'analyse des nomenclatures industrielles de produits complexes montre qu'un même composant élémentaire se retrouve normalement dans de nombreux produits agrégés différents¹. Le problème de rationalisation de la conception des produits traite de la *satisfaction d'un ensemble de besoins fonctionnels élémentaires par une gamme de composants physiquement interchangeables, chaque composant se positionnant sur un spectre limité de chacun des besoins fonctionnels retenus*. Cette approche de la standardisation en fait l'une des composantes de la flexibilité de l'entreprise, complémentaire de celle qui porte sur les ressources (équipements, personnels, procédures).

3. *Note de la page précédente*. Ce type de variété génère des coûts supplémentaires lorsque le produit est assemblé sur une ligne, du fait de la variabilité de travail que le montage de composants optionnels induit sur certains postes, ce qui pose des problèmes particuliers d'équilibrage de chaîne et d'ordonnancement (voir Danjou, Giard & Le Roy, 2000, [\[117\]](#)). Il peut être économiquement plus intéressant d'offrir systématiquement une option beaucoup demandée et si la demande porte sur quelques options alternatives, il est alors possible de se raccrocher à la démarche de standardisation présentée en [section III, page 133](#). Inversement, on peut s'interroger sur l'intérêt économique d'options peu demandées.

1. Les spécialistes parlent de *commonality*, traduit par communalité (voir Tarondeau, 1998, [\[405\]](#), partie II, et Fouque, 1997, [\[156\]](#)).

- Cette variété de composants utilisés dans un produit manufacturé doit être perceptible par le client et présenter une valeur ajoutée pour lui. Anderson ([16], 1997) distingue la *variété externe*, visible par le client, de la *variété interne* qui ne l'est pas. Les exemples de variété externe sans valeur ajoutée sont nombreux. Par exemple, en 1993, Nissan décidant de rationaliser ses approvisionnements ne dénombrait pas moins de 300 cendriers équipant l'ensemble de ses véhicules automobiles (cité dans [16], p. 95). La variété interne est souvent excessive et ses méfaits sous-estimés. La multiplicité des références en visserie dans un produit manufacturé est un exemple classique de ce type de variété. Cette variété interne est non seulement sans valeur ajoutée pour le client, mais elle est aussi génératrice de coûts additionnels (en raison de problèmes logistiques supplémentaires, d'une diversification accrue d'outillage, etc.). Un des objectifs de la production de masse de produits sur mesure est de réduire la variété interne jusqu'au point où les produits puissent être réalisés de manière flexible sans supporter les coûts et délais des changements de séries.

Terminons cette présentation par quelques mots sur le principe de **différenciation retardée**¹. Les moyens évoqués ci-dessus d'obtention d'un sur-mesure par le biais de produits personnalisés par le client, de produits auto-adaptables et de produits personnalisés par le fabricant par l'un des trois modes de personnalisation mentionnés sont des applications du principe de différenciation retardée qui vise à personnaliser le produit le plus tard possible, de préférence au niveau de l'assemblage final ou postérieurement à la production². S'agissant de répondre à une demande aussi variée que possible par une production utilisant le moins de références possible, la personnalisation par le fabricant implique une structure de nomenclature de type assemblage à la commande qui sera illustrée à la **figure 141 de la page 464** et discutée dans le **§ II-2, page 463** du **chapitre VI** consacré aux techniques de planification de type MRP. Certains auteurs ont une définition plus large du concept de différenciation retardée en incluant tout ce qui concourt à une différenciation perceptuelle des produits par le biais du *mix* retenu en marketing. On reviendra sur certaines conséquences de cette différenciation retardée aux pages **464** et **620**.

I-3.2 Les coûts de la variété

La variété externe peut être source de valeur, lorsqu'elle se traduit par des avantages appréciés par le marché, mais elle est aussi une source de coûts additionnels. La variété externe sans valeur ajoutée pour le client et la variété interne ne génèrent que des coûts. La détermination de ces coûts relève de la comptabilité de gestion et l'approche de la comptabilité par activité en favorise l'analyse dans sa recherche d'inducteurs de coûts qui se définissent comme des facteurs dont l'occurrence est à l'origine du coût.

1. Une discussion plus approfondie de ce concept peut être trouvée dans l'article de Tarondeau, «Produit» publié dans l'*Encyclopédie de gestion* (1997, [136]).

2. Cette différenciation retardée peut même être «partagée» par plusieurs entreprises. C'est ainsi que le site de SEVELNORD fabrique, à Valenciennes, la «base» d'un monospace décliné sous les marques Citroën Évasion, Peugeot 806, Fiat Ulysse et Lancia Zeta et celle d'un véhicule utilitaire décliné sous les marques Citroën Jumper, Peugeot Boxer et Fiat Ducato. La personnalisation de ces véhicules est conforme à l'identité des marques.

Classiquement, plusieurs inducteurs sont identifiés comme étant à l'origine de coûts récurrents de production¹. Pour Anderson (1997, [16]), le principal inducteur de coût de la variété des produits est la taille des lots. À la taille du lot sont liés des facteurs qui sont source de coûts antagonistes à la base des modèles de gestion des stocks (voir [chapitre X](#)): importance des stocks (valeur immobilisée, espace occupé, obsolescence...), changement de réglages (main-d'œuvre utilisée en réglage, pertes matière...). Tout accroissement de la variété des composants utilisés conduit mécaniquement à une multiplication des lots à lancer en production que ne peuvent contrer les efforts de rationalisation des gammes de fabrication visant à diminuer les temps et coûts de lancement (en particulier les techniques SMED abordées au [chapitre VII, page 511](#)).

La standardisation² peut porter sur les différents éléments mentionnés afin de réduire les coûts de variété:

- standardisation des pièces et composants, programmes de réduction du nombre de pièces et de composants en ne retenant que certaines pièces «préférées» (on reviendra longuement sur ce point à la [section III, page 133](#));
- standardisation des outillages: réduction du nombre d'outillages nécessaires pour l'assemblage, l'alignement, le calibrage, les tests, les réparations... les changements d'outillages se trouvent réduits lors des changements de lots; dans le même esprit, la standardisation des bancs d'essai peut permettre des économies et des gains de temps substantiels;
- standardisation des caractéristiques techniques pour une famille de produits permettant d'utiliser des outillages standards sans coût d'installation d'un nouveau lot;
- standardisation des matières premières;
- standardisation des procédés de fabrication: celle-ci repose essentiellement sur l'ingénierie concourante spécifiant de manière simultanée les caractéristiques du produit et des processus de fabrication.

Table des
matièresIndex
thématique

La comptabilité de gestion peut jouer un rôle important dans la conception de nouveaux produit si elle est utilisée pour éclairer le choix entre plusieurs solutions, mais ce rôle n'est bénéfique que si la représentation sous-jacente des processus de la comptabilité de gestion ne s'écarte pas trop de celle qui sera mise en œuvre dans le cadre de nouvelles productions. Dans de nombreux cas, une reconstruction des coûts s'appuyant sur une nouvelle modélisation physique des processus doit être entreprise. Cela étant, la relation entre de très nombreuses décisions de conception de produit et de processus de conception et les inducteurs de coûts habituellement retenus est souvent difficile à établir³.

1. Plusieurs inducteurs sont classiquement identifiés: le volume, le lot, le nombre de références, le nombre de niveaux de nomenclature. Pour une présentation synthétique de la comptabilité par activité, le lecteur peut se reporter à l'article de P. Mévellec dans [137], p. 395 - 405. Pour un approfondissement, voir Lorino (1991, [287]), Mévellec (1990, [298]), Bouquin (1997, [62]).

2. Voir Anderson (1997, [16]) et (Giard, 1999, [187]).

3. Pour approfondir, voir Gautier et Giard (2000, [167]).

I-4 L'analyse des besoins

L'analyse des besoins des consommateurs et de leur détection a fait l'objet de nombreuses approches méthodologiques. On ne présentera ici que celle proposée par Kano, dans le cadre d'une approche qualité en 1984 et fréquemment utilisée par les praticiens du QFD (voir Revelle, Moran et Cox, 1997, [360], chapitre IV et annexe D). Le modèle de Kano retient trois types d'attributs de qualité qu'il positionne dans un graphique permettant de les positionner sur deux axes. L'axe vertical est celui de la satisfaction des utilisateurs d'un produit et va de «ravi» à «dégoûté». L'axe horizontal décrit le niveau de qualité obtenu et va de «totalement absent» à «totalement réalisé».

Les trois types d'attributs de qualité retenus sont les suivants¹:

- Les *attributs de qualité explicite* sont ceux qui font l'objet de demandes exprimées par les consommateurs et font du reste l'objet d'enquêtes et d'études. Le confort, la rapidité ou la bruyance d'un véhicule automobile rentrent dans cette catégorie. En matière de services, la rapidité des formalités à la restitution d'un véhicule loué ou d'une chambre d'hôtel est un attribut de qualité explicite. Le moyen technique utilisé pour atteindre la satisfaction du client importe peu. Ce qu'il convient d'isoler dans l'analyse, c'est le besoin fonctionnel à satisfaire. L'existence de tels attributs de qualité permet de rester dans le marché. Certains de ces attributs font l'objet de normes (AFNOR ou CEN, barème d'étoiles pour classer les hôtels, etc.) qui constituent des garanties de qualité pour le consommateur (voir le § IV-1.1, page 973 du chapitre XIV).
- Les *attributs de qualité implicite* sont ceux auxquels on ne pense plus, tellement il va de soi qu'ils doivent être présents dans le produit ou la prestation de service acheté. Il est évident qu'un appareil ménager que l'on acquiert ne doit pas poser de problème de sécurité et doit posséder un minimum de longévité; de même, on s'attend à ce que la baignoire de la chambre d'un hôtel classé deux étoiles ou plus soit normalement propre et accompagnée de linge de toilette décent. Le consommateur est alors insensible à la présence de tels attributs qui sont «naturels», mais toute défaillance dans ce domaine se traduit par un fort niveau de mécontentement. Ces attributs de qualité conditionnent la présence sur le marché (sans être forcément suffisants pour y rester).
- Les *attributs de qualité inexprimés* sont ceux que le client ne s'attend pas à trouver et qu'il trouve attractifs lorsqu'il les rencontre dans le produit ou la prestation de service qu'il achète (réaction du type «je ne savais pas que j'en avais besoin avant de l'avoir essayé»). L'absence de tels attributs ne peut être pénalisante, mais leur présence suscite un fort niveau de satisfaction. Le jeu de la concurrence fait que ces attributs se «diffusent» et qu'ils deviennent assez rapidement des attributs de qualité explicite. Par exemple, pendant longtemps, le prêt d'un véhicule «de courtoisie» par un garage effectuant une réparation immobilisant un véhicule constituait un attribut de qualité inexprimé parce que tel n'était pas l'usage de la profession. De même, la

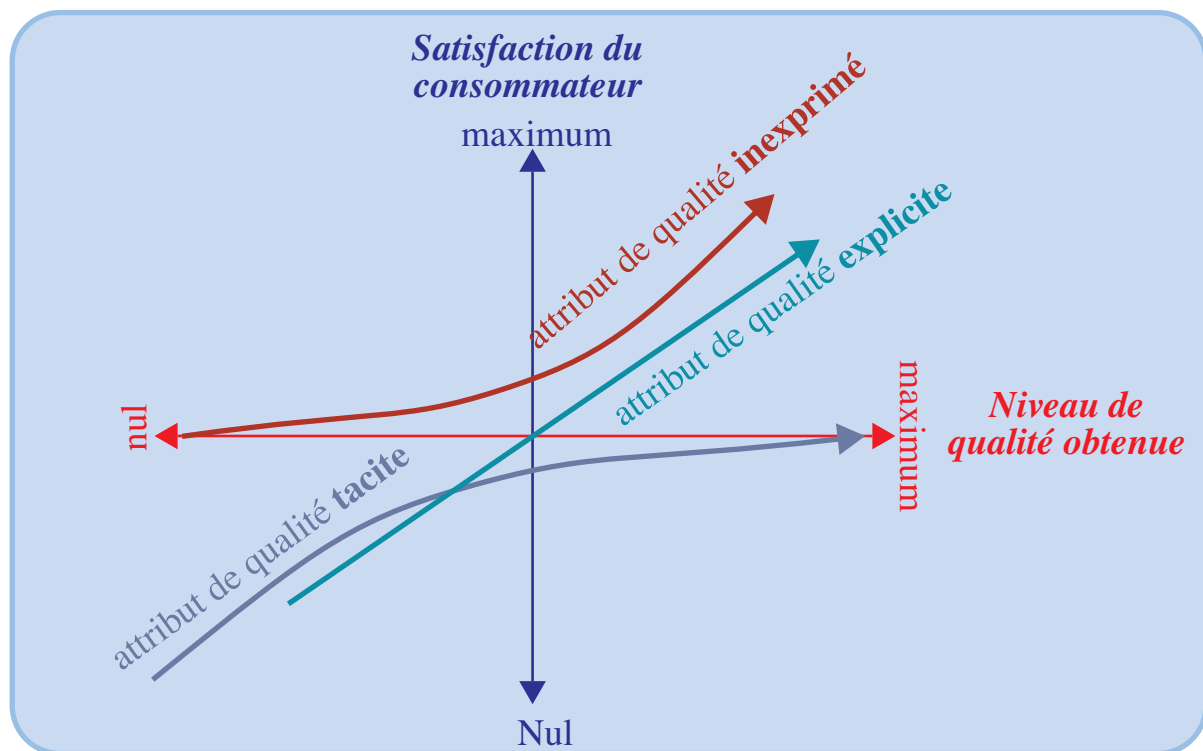
1. Dans le modèle de Kano, on parle respectivement de *normal quality* (ou *Performance Quality*, PQ), *expected quality* (ou *Basic Quality*, BQ) et de *exciting quality* (ou *Excitement Quality*, EQ).

création d'enceintes miniaturisées de bonne qualité ou l'arrivée sur le marché de micro-ordinateurs portables très puissants, légers et autonomes étaient porteurs de tels attributs. Ces attributs sont ceux qui permettent de prendre une position dominante sur le marché.

Ces exemples illustrent une dynamique de la définition des attributs de qualité des produits et services: un attribut de qualité inexprimé deviendra tôt ou tard un attribut de qualité explicite si le client le trouve attractif et que sous la pression de la concurrence il se diffuse. Cette même concurrence conduit généralement à ce que des attributs de qualité explicite se transforment progressivement en attribut de qualité implicite. Cette évolution au cours du temps s'accompagne d'une différenciation dans l'espace: en France, la climatisation d'un véhicule de location est encore, en 2003, un attribut de qualité inexprimé, alors que c'est un attribut de qualité implicite aux États-Unis.

FIGURE 16

Évolution au cours du temps des trois types d'attributs de qualité d'un produit ou d'un service



Cette grille d'analyse donne des pistes de recherches d'idées d'amélioration d'un produit ou d'une prestation de service (Revelle, Moran & Cox, 1997, [360]) en recherchant :

- les sources de frustration, anxiété, craintes, confusion dans l'utilisation du produit ou de la prestation de service ;
- les causes de pertes de temps ou de consommation excessive de temps dans l'utilisation du produit ou de la prestation de service ;
- les causes de mauvaise utilisation du produit ou de la prestation de service ;
- les utilisations «dévoyées» ou inattendues d'un produit ou de la prestation de service ;

- les situations dangereuses ou potentiellement dangereuses d'utilisation du produit ou de la prestation de service;
- les transformations du produit réalisées par le client postérieurement à son achat.

De nombreuses techniques sont utilisables pour exploiter ces pistes d'amélioration d'un produit ou d'une prestation de service: observation directe de clients en cours d'utilisation, analyse des réclamations de clients et enquêtes de satisfaction, observation directe de clients au cours du processus d'achat, échanges avec un groupe de clients «homogènes» lors de manifestations commerciales, échanges avec des clients dans le cadre de groupes de travail ciblés (*focus group*) ou d'interviews personnelles, observation du comportement de clients dans le cadre d'un environnement contrôlé, veille concurrentielle au niveau national et international.

SECTION II LA CONDUITE DES ACTIVITÉS DE CONCEPTION

La conduite des activités de conception est à la fois une affaire de technique et une affaire de gestion, aucun des deux aspects ne pouvant raisonnablement être ignoré¹. La complexité des problèmes rencontrés a conduit à la mise au point de nombreuses démarches plus complémentaires que concurrentes car chacune aborde ces problèmes avec un angle d'attaque qui ne permet pas de prendre tout en compte. Les instrumentations disponibles comportent toutes un éclairage économique des décisions à prendre. On commencera par celles qui ont été créées par les ingénieurs et qui sont marquées par une prédominance de la vision physique du produit et des processus (§ II-1) sur l'économique, sans délaisser pour autant ce point de vue, avant d'aborder celles qui sont plus marquées par l'objectif premier d'une évaluation économique des décisions (§ II-2, page 118).

Table des
matières

Index
thématique

II-1 Les instrumentations du développement de produits nouveaux

On examinera successivement trois approches utilisées par les ingénieurs dans les processus de conception de produits nouveaux, l'analyse de la valeur (§ II-1.1), le QFD (§ II-1.2, page 111) et le DFM (§ II-1.3, page 115). Chacune de ces approches facilite l'analyse de certains problèmes rencontrés dans la définition judicieuse de produits nouveaux, mais aucune, à elle seule, ne peut suffire à éclairer la complexité des décisions à prendre en matière de conception et de développement d'un produit. Les instrumentations économiques du § II-2, page 118 et celles qui seront présentées au chapitre suivant doivent être également mobilisées. Toutes ces instrumentations ne sont pas mobilisables avec le même intérêt selon l'état d'avancement du projet et leur apport peut varier de manière sensible selon le projet de développement.

On évoquera enfin la généralisation du pilotage des projets de développement par la gestion de projet (§ II-1.4, page 117), ce qui relève un peu plus des préoccupations classiques des gestionnaires.

1. La norme ISO 9001 (voir chapitre XIV, § IV-1.2, page 977) définit un certain nombre d'exigences quant aux processus de conception et de prise en compte des clients.

II-1.1 L'analyse de la valeur (AV)

L'**analyse de la valeur** remonte à la fin des années 1940 (travaux de L. D. Miles à la General Electric). Elle fait l'objet des normes X 50-150 à X 50-153 de l'AFNOR (Association Française de Normalisation) qui définit l'analyse de la valeur «comme une méthode de compétitivité, organisée et créative, visant la satisfaction du besoin de l'utilisateur par une démarche spécifique de conception, à la fois fonctionnelle, économique et pluridisciplinaire». C'est donc une démarche empirique orientée vers la recherche d'un bon compromis entre les fonctions assurées par un produit et qui déterminent sa valeur d'usage, et son coût. L'analyse de la valeur a d'abord été utilisée pour améliorer la conception d'objets manufacturés existants, relativement simples, mais produits en très grande quantité. Le champ d'application de l'analyse de la valeur a progressivement été étendu à la conception de produits nouveaux de plus en plus sophistiqués.

L'approche retenue pour améliorer la conception de produits existants est simple dans ses fondements, mais pas toujours évidente à mettre en œuvre. Elle consiste à croiser la *vision organique* d'un objet manufacturé («l'objet considéré se compose des pièces suivantes: ...») avec une *vision fonctionnelle* de cet objet («l'objet considéré remplit les fonctions suivantes: ...»), puis à vérifier comment chaque organe contribue à la satisfaction des fonctions et si les spécifications fonctionnelles retenues répondent bien aux attentes de l'utilisateur. Dans un tableau du type du **tableau 3**, on croise les informations obtenues, en ventilant le coût c_j de chaque organe j selon les fonctions i auxquelles il contribue (d'où le coût c_{ij} qui est nul si l'organe j ne contribue pas à la fonction i), ce qui permet de calculer le coût c_i associé à la fonction i ¹. On recherche ensuite si les fonctions sont bien spécifiées par rapport aux attentes des utilisateurs («il est inutile d'en faire plus que nécessaire») et si ces fonctions peuvent être satisfaites autrement, par modification de la conception du produit, à un coût moindre.

TABLEAU 3
Tableau d'analyse de la valeur

		Organe					Coût de la fonction
		1	...	j	...	m	
Fonctions	1	c_{11}	$c_{1...}$	c_{1j}	$c_{1...}$	c_{1m}	$c_{1.}$
	...	$c_{...1}$	...	$c_{...j}$	...	$c_{...m}$	$c_{...,}$
	i	c_{i1}	$c_{i...}$	c_{ij}	$c_{i...}$	c_{im}	$c_{i.}$
	...	$c_{...1}$	...	$c_{...j}$	...	$c_{...m}$	$c_{...,}$
	n	c_{n1}	$c_{n...}$	c_{nj}	$c_{n...}$	c_{nm}	$c_{n.}$
Coût de l'organe		$c_{.1}$	$c_{...}$	$c_{.j}$	$c_{...}$	$c_{.m}$	Coût $c_{..}$ du produit

Les **fonctions** sont décrites par des noms ou des verbes et généralement structurées de manière arborescente (niveau de détail plus ou moins grand). On distingue trois catégories de fonctions, les deux premières sont recensées dans le cahier des charges fonctionnel, tandis que la dernière est liée aux solutions techniques privilégiées.

1. On utilise ici la notation classique retenue des tableaux de contingence en statistique.

- Les **fonctions de services** sont celles pour lesquelles le produit est effectivement créé. On les décompose parfois en fonctions principales, qui traduisent le besoin pour lequel le produit est réalisé, et en fonctions secondaires, qui découlent de l'utilisation que l'on peut faire du produit dans certains contextes. L'estimation de l'importance relative de chaque fonction de service et de l'intérêt des niveaux de spécifications retenues pour chacune d'entre elles relève d'une expertise délicate, mais nécessaire pour réaliser de bons compromis dans la phase de révision du produit.
- Les **fonctions de contraintes** sont celles que doit satisfaire le produit en raison de règlements ou normes.
- les **fonctions techniques** sont nécessaires pour pouvoir assurer l'ensemble des fonctions de services et de contraintes.

Lorsque cette approche est utilisée pour aider à concevoir un produit nouveau, on part d'une analyse fonctionnelle du produit. Celle-ci débouche sur la rédaction du **cahier des charges fonctionnel** qui exprime les fonctions de service que doit remplir le produit pour répondre aux besoins de l'utilisateur et respecter les contraintes liées à l'utilisation du produit. Le coût de ces fonctions sera estimé dans l'analyse de chaque scénario, ce qui permet d'orienter les solutions techniques ou de réviser à la baisse certaines spécifications qui conduisent à des suppléments de coût sans rapport avec ce que le consommateur est prêt à payer pour le supplément d'avantage obtenu. Les différentes solutions envisageables font l'objet d'une évaluation à partir de critères techniques (fiabilité, maintenance, interchangeabilité, délais d'introduction...) et de critères économiques (coût d'études, coût des outillages et investissements de production spécifiques, coût de production unitaire...), l'objectif final étant la rentabilité du produit¹.

Table des
matièresIndex
thématique

Pour terminer cette brève présentation, on peut noter que cette méthodologie est lourde à utiliser, ce qui fait que son utilisation doit être en rapport avec les enjeux économiques; elle est beaucoup plus détaillée que celle du QFD (§ II-1.2) et son périmètre, dans le cycle de vie du produit, est restreint, ce qui en limite la portée. Par ailleurs, en se focalisant sur un produit unique, l'analyse de la valeur est nécessairement peu adaptée d'une part, aux approches modulaires et aux plateformes de produits, puisque la conception modulaire (Tarondeau, 1999, [408], p. 34) conduit souvent à doter un module de surcapacités fonctionnelles pour optimiser le nombre de cas d'emploi du module, et, d'autre part, aux efforts de standardisation (voir section III, page 133).

II-1.2 Le Quality Function Deployment (QFD)

Progressivement théorisé au Japon par Yoji Akao à partir de 1966, le *Quality Function Deployment*² s'est progressivement diffusé et est devenu, sous des formes variées, la principale méthodologie globale de maîtrise et de mise en cohérence des processus de conception et de fabrication, dans une optique de satisfaction des besoins du consommateur. Le QFD fournit une aide à la décision structurée et graduelle pour traduire la «voix du consommateur» (sous forme d'attributs critiques) en cibles de conception (sous forme de spécifications) et

1. Des exemples plus ou moins complets d'application de l'analyse de la valeur peuvent être trouvés dans différents ouvrages spécialisés. Un exemple détaillé et complet peut être trouvé dans l'article de Meyer, «Analyse de la valeur», in *Encyclopédie du management* (1992, [138]), tome II, p. 1042 à 1054.

points clés de maîtrise associés aux caractéristiques du produit ou de vérification associés aux procédés de fabrication. Il ne s'agit donc pas d'un simple outil de gestion de la qualité, mais d'une démarche structurée de coopération entre services fonctionnels, orientée vers la satisfaction des besoins clairement identifiés et non vers le respect de spécifications sans liens forts avec les attentes et les perceptions des consommateurs. Le maintien de ce cap est important car les causes d'abandon techniques et économiques sont nombreuses et peuvent conduire, au final, à un ensemble de spécifications éloigné de l'ensemble cohérent initialement décidé. Il est souhaitable d'utiliser le QFD dans un projet de produit nouveau faisant appel à la concourance (voir [chapitre IV, § I-3.2, page 270](#)), mais il peut l'être aussi dans le cadre d'une démarche séquentielle si le management de projet retenu dans l'entreprise n'est pas assez avancé.

Le QFD s'appuie sur un ensemble de matrices (voir [figure 17, page 114](#)) pour organiser l'information et faciliter la réflexion collective. Il utilise la démarche popularisée par l'analyse de la valeur pour formaliser une expertise en permettant de relier, dans une matrice, les éléments d'un premier ensemble cohérent \mathcal{E}_1 d'éléments aux éléments d'un second ensemble cohérent \mathcal{E}_2 d'éléments. Elle généralise cette démarche, d'une part, par une utilisation en cascade de matrices permettant de passer des éléments de \mathcal{E}_1 à ceux de \mathcal{E}_2 , de ceux de \mathcal{E}_2 à ceux de \mathcal{E}_3 , de ceux de \mathcal{E}_3 à ceux de \mathcal{E}_4 , ..., et, d'autre part, par la richesse de son contenu¹. Chaque ensemble d'éléments correspond à une vision du problème exprimé dans le langage de l'un des métiers de l'entreprise. Par exemple, \mathcal{E}_1 correspond à des attributs du produit, \mathcal{E}_2 correspond à des spécifications fonctionnelles, \mathcal{E}_3 correspond à des spécifications de composants ou d'organes. Ces matrices constituent donc des outils de dialogue entre spécialistes de culture différente et facilitent la cohérence des décisions prises.

La première matrice, outil central de la méthodologie du QFD, est la **matrice de la qualité**, connue également sous le nom de **maison de la qualité**.

- La première étape consiste à partir des besoins considérés comme devant être satisfaits pour répondre aux attentes d'un marché (voir [§ I-4, page 107](#)), à mettre en lignes de cette matrice, les *attributs critiques pour le client* du nouveau produit (c'est la «voix du consommateur»). Ces attributs, fournis par les équipes du marketing, sont décrits habituellement dans le langage du consommateur (pour un magnétoscope, on aura des attributs tels que «facile à programmer», «à rembobinage rapide», «à encombrement limité»...). Ces attributs sont soit individuels et généralement regroupés par famille, soit collectifs (coût, forme, fiabilité...). Chaque attribut est pondéré en fonction

2. Pour plus de détails sur cette approche, le lecteur peut consulter 1) l'ouvrage de Revelle, Moran et Cox (1998, [360]) qui compte, en annexe E, un historique complet de la démarche; 2) l'ouvrage d'Akao (1988, [11], traduit en 1993, [10], qui illustre la démarche par des exemples); 3) le site <http://www.qfdi.org>. Pour Akao, «on peut définir le QFD comme la voix du client dans l'entreprise, conduisant les exigences du client en «caractéristiques qualité», développant un produit par le déploiement méthodique des relations entre les exigences et les caractéristiques, depuis chaque élément constitutif des fonctions Dualité requises, jusqu'à chaque élément du produit et du procédé». La qualité globale du produit résultera de ce réseau de relations.

1. On retiendra une approche de la méthode par quatre matrices (diffusée par l'*American Supplier Institute*, connue sous le nom d'ASI dont le site est <http://amsup.com>), mais des approches plus détaillées et moins structurées, comportant une quarantaine de matrices (celles proposées par le GOAL/QPC), sont utilisées sous forme de mécano ad hoc pour résoudre un problème ponctuel (par exemple, trouver des opportunités d'améliorations de composants clés, cibler un coût de production, identifier des modes de défaillance inacceptables).

de son importance pour le consommateur¹, ce qui facilitera les arbitrages. D'une manière générale, les lignes de la matrice décrivent le «quoi?». Pour évaluer l'avantage compétitif, dans chacune des lignes, à droite de la matrice «attributs critiques - paramètres techniques», on fournit le positionnement actuel (échelle allant de 1 à 5) de la perception qu'a le consommateur de l'attribut critique considéré du produit le plus proche du nouveau produit, fabriqué par l'entreprise, ainsi que celui des deux meilleurs produits concurrents.

- La deuxième étape consiste à établir les principaux *paramètres techniques de conception* qui induisent la performance du système et à les positionner en colonne de la matrice. Ces paramètres décrivent une pièce ou le produit dans des termes mesurables (plage de temps de rembobinage pour le magnétoscope, par exemple) et doivent être directement reliés aux attributs critiques pour le consommateur. D'une manière générale, les lignes de la matrice décrivent le «comment?». Dans chacune des colonnes, en dessous de la matrice «attributs critiques - paramètres techniques», on fournit des indications précises :
 - sur la valeur (de préférence à une plage de valeurs²) considérée comme répondant aux attentes du client (par exemple 80 secondes pour rembobiner une bobine d'une durée d'enregistrement de 240 minutes),
 - sur le positionnement actuel du produit le plus proche du nouveau produit, fabriqué par l'entreprise, ainsi que celui des deux meilleurs produits concurrents, le niveau de difficulté estimé pour atteindre cette spécification technique (échelle allant de 1 à 5),
 - le pourcentage du coût total que l'on accepte d'attribuer à ce paramètre technique,
 - l'importance relative (%) de ce paramètre technique.

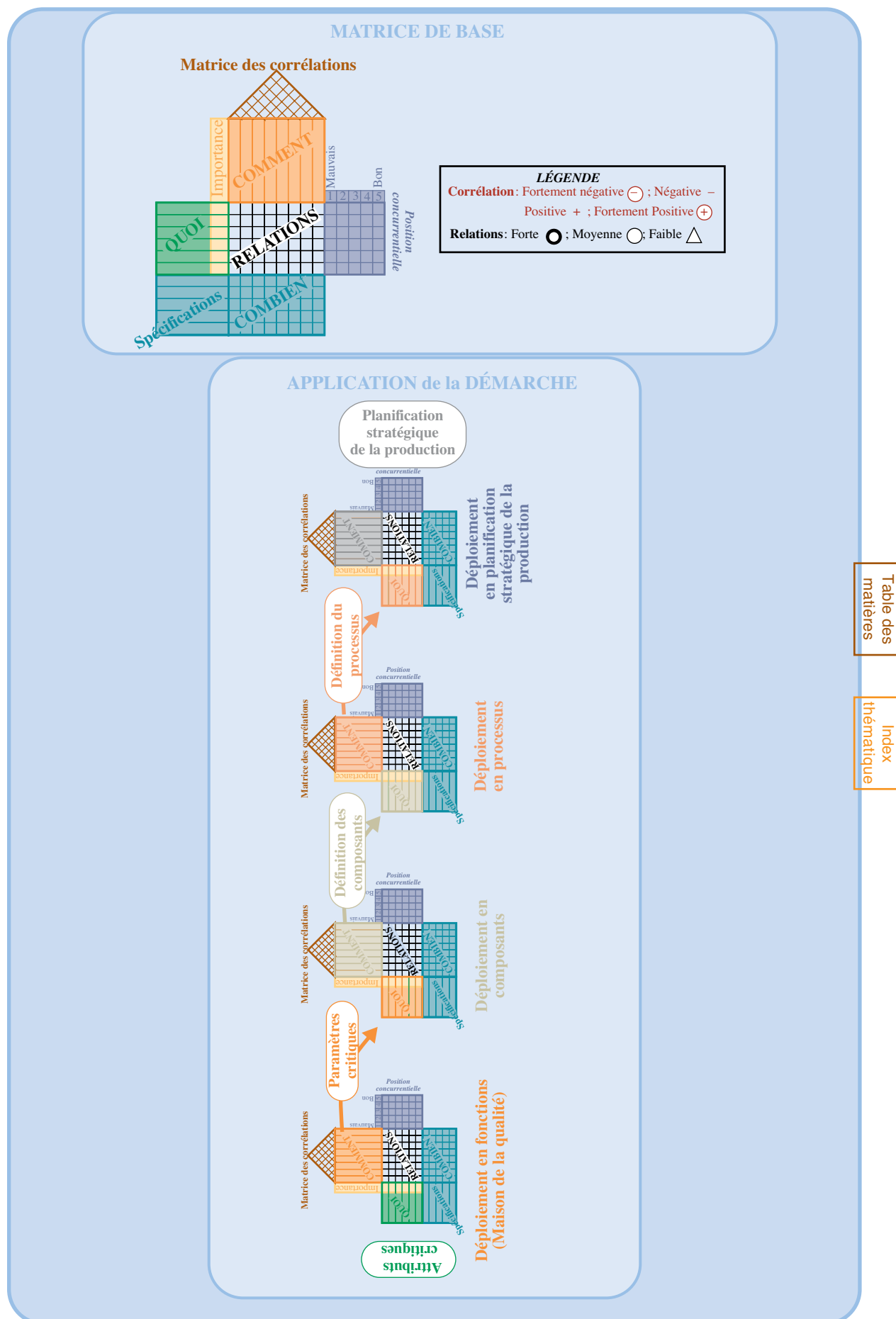
Ces paramètres techniques sont rarement indépendants. Leurs corrélations sont décrites de manière très sommaire dans une matrice triangulaire formant le «toit de la maison». On y décrit généralement ces corrélations par des symboles permettant d'identifier des corrélations faibles ou fortes et positives ou négatives. Par exemple, si le volume du magnétoscope est l'un des paramètres techniques retenus, on aura vraisemblablement une corrélation faiblement négative entre ce paramètre et celui de la durée de rembobinage, la rapidité étant généralement liée à la puissance du moteur, elle-même liée à sa taille.

- La troisième étape dans la création de cette matrice consiste à faire remplir les différentes intersections de la matrice par l'équipe d'experts réunis. Chaque cellule représente le lien potentiel entre un paramètre de conception et un attribut critique. Ce lien est spécifié par la relation entre l'attribut et le paramètre et la force du lien qui est généralement définie par un symbole

1. Bien souvent c'est l'importance perçue par les ingénieurs qui prédomine, ce qui peut conduire à des spécifications sans réelle valeur ajoutée pour le client, notamment par le biais de contraintes nettement excessives par rapport aux besoins des clients (ce que l'on qualifie parfois de **sur-qualité**).

2. Cette restriction est levée lorsque l'on travaille dans une perspective de création d'une plate-forme de produits (cf. [page 103](#)), auquel cas, on cherche à satisfaire de manière cohérente un ensemble de besoins clairement identifiés; la démarche est alors plus délicate d'application dans ce cas.

FIGURE 17
Les matrices du QFD dans la démarche ASI



associé à une échelle allant de 1 à 5 sauf si les connaissances de l'équipe permettent d'assigner des valeurs spécifiques à la relation.

Cette matrice permet à une équipe de converger vers un ensemble de paramètres techniques cohérents et répondant à un ensemble de besoins à satisfaire. Bien évidemment, tout est dans l'art d'utiliser cette approche car un niveau de détail trop fort (plus d'une centaine) se traduit par une matrice ingérable. Une solution consiste à exploiter cette approche sur des sous-ensembles relativement indépendants, au risque d'introduire un biais dans la réflexion.

Le plus souvent, les entreprises se contentent d'utiliser cette maison de la qualité et reviennent à des démarches traditionnelles pour les autres étapes du développement du produit. Mais le QFD permet de poursuivre la démarche d'explicitation et d'arbitrage dans ces autres étapes, ce qui conduit à trois autres matrices, dans la démarche simplifiée préconisée par l'ASI (voir figure 17).

- Une fois définis les paramètres techniques, on peut chercher à définir les caractéristiques des composants dans une seconde matrice dans laquelle les paramètres techniques retenus dans la première matrice deviennent des entrées («quoi?») de la seconde matrice qui aura pour objet de définir comme sorties les spécifications des composants à retenir («comment?»).
- La matrice de planification des processus établit les liens entre les caractéristiques des composants et les caractéristiques des processus-clés.
- La matrice de planification stratégique de la production fait le lien entre les processus clés de production et les exigences de la production en termes de paramètres à mettre sous contrôle pour garantir que les opérations productives conduiront bien à un produit répondant aux attentes du client.

Table des
matières

II-1.3 Le Design For Manufacturing (DFM)

Index
thématique

Le *Design For Manufacturing*¹ est un ensemble de méthodes visant à prendre en compte des paramètres de production plus tôt dans les décisions de conception. De ce fait, c'est l'une des instrumentations mobilisables par l'ingénierie concourante et le QFD. Certaines de ces méthodes sont connues depuis très longtemps par les spécialistes des Bureaux d'Études et des Méthodes, d'autres (voir Redford et Chal, 1994, [357]) sont plus récentes et sont liées aux transformations des méthodes de production (extension de lignes d'assemblage ou des cellules de fabrication, par exemple).

Les méthodologies du DFM poursuivent deux objectifs partiellement complémentaires (voir Ulrich et *al.*, 1993, [424]):

- réduire le nombre et le coût des composants (évaluation de la nécessité d'une pièce, mais aussi préférence donnée à la production d'une pièce complexe remplaçant plusieurs pièces simples);
- et réduire le coût de l'assemblage (principes d'orientation et d'insertion des différentes pièces pour faciliter les opérations d'assemblage).

Les solutions de conception doivent tenir compte des contraintes et capacités du processus de production. Des **règles de conception** expriment des limites dans

1. On parle encore de DFMA, pour *Design For Manufacturing and Assembly*, le DFA (*Design For Assembly*) qui remonte aux années soixante-dix, étant considéré comme l'ancêtre de l'approche systématique du DFM et se trouvant en pratique inclus dans celui-ci. Pour une présentation générale, voir Whitney (1988, [442]).

lesquelles opèrent les processus de production. Ces limites peuvent porter, par exemple, sur la taille maximale des pièces, les tolérances admissibles, les volumes de production, les types de matières ou les autres caractéristiques définissant des paramètres de conception critiques. Ces règles de conception permettent d'établir une enveloppe dans laquelle le processus de production est capable d'atteindre les exigences de conception. Par ailleurs, les exigences de flexibilité et de réactivité peuvent se traduire par la prise en compte de points de vue qui assurent une bonne capacité du couple « système productif - portefeuille de produits » à s'adapter à des changements rapides de la demande¹.

Le plus souvent, on inclut dans ces règles de conception un certain nombre de principes mis en évidence depuis longtemps dans l'industrie :

- Il est préférable de concevoir des pièces symétriques pour limiter les problèmes d'orientation en cours d'assemblage. Pour être en mesure de couvrir des besoins différents, le composant devra être « enrichi » (de trous supplémentaires, par exemple), ce qui implique des coûts additionnels qui doivent être largement compensés par les économies engendrées par la simplification des nomenclatures et la facilité du montage. Si cette symétrie n'est pas possible, il vaut mieux concevoir des pièces fortement asymétriques pour faciliter l'orientation lors de l'assemblage (en particulier pour permettre un bon positionnement immédiat lorsque le poste de travail est approvisionné automatiquement en pièces). Dans le même esprit, il est déconseillé de concevoir un nouveau composant doté de caractéristiques physiques trop proches de celle d'un composant existant pour éviter tout risque de confusion².
- Il faut standardiser et limiter au maximum les composants, les matières premières, les outillages (au sens large), les procédés d'assemblage de pièces et les processus. Il s'ensuit qu'il est souhaitable de réutiliser des composants existants plutôt que d'en créer de nouveaux spécifiques légèrement différents. Par ailleurs, il est le plus souvent préférable d'utiliser des composants que l'on peut trouver auprès de plusieurs fournisseurs.
- Il est préférable d'éliminer les opérations d'ajustements de composants lors de l'assemblage car ils sont souvent à l'origine de problèmes de qualité.
- Les produits complexes doivent être conçus de telle sorte qu'ils permettent l'accès à leurs composants tant pour le montage que pour la réparation. Il est souhaitable de concevoir des composants pouvant être remplacés, si nécessaire, indépendamment d'autres composants. Enfin, il est préférable de retenir des solutions n'exigeant pas, lors de l'assemblage de composants, le respect de tolérances trop fortes.

Pour terminer, on peut indiquer que les méthodologies du DFM doivent être utilisées avec discernement parce qu'elles peuvent conduire, d'une part à des délais de conception prohibitifs dans un contexte concurrentiel où le raccourcissement du délai de mise au point d'un produit est un enjeu majeur et, d'autre part, à

1. Dans l'industrie automobile, par exemple, une certaine conception des gammes de véhicules peut permettre de concevoir des chaînes de fabrication et d'assemblage dédiées à plusieurs gammes, permettant un ajustement immédiat en cas de transfert de la demande d'une gamme sur une autre. Voir sur ce point le [chapitre IX](#).

2. Les Japonais utilisent le terme de *poka-yoke* qui signifie « à l'épreuve des imbéciles », pour désigner les différentes techniques qui limitent les erreurs des opérateurs.

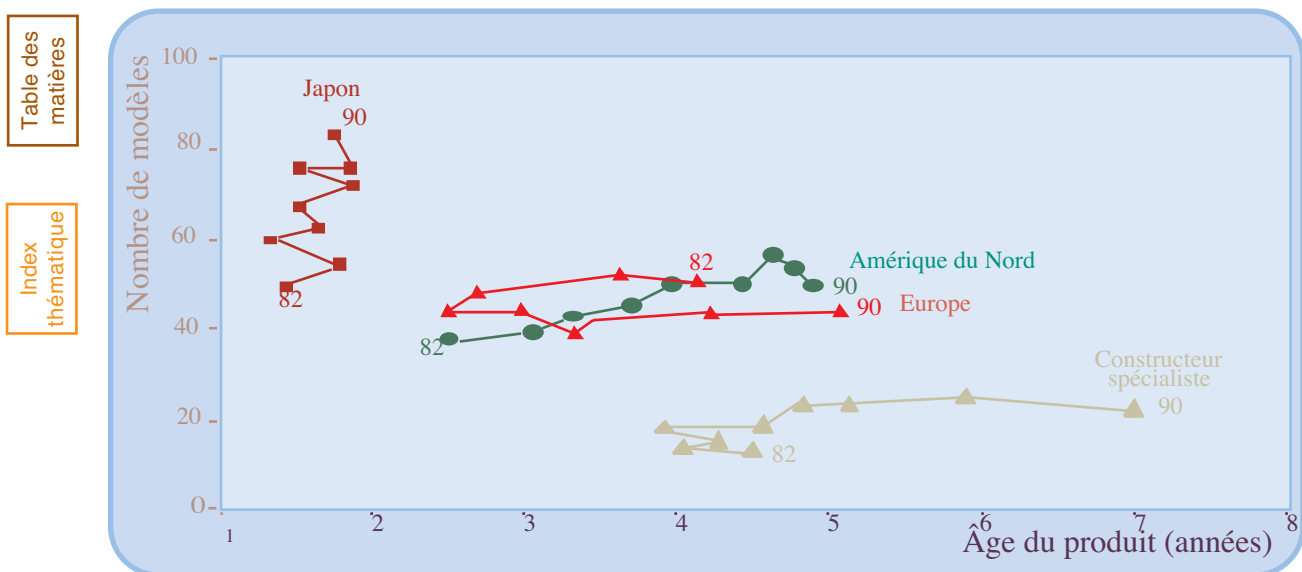
une focalisation excessive sur des charges directes dont le poids relatif a considérablement diminué.

II-1.4 Le pilotage des projets de développement par la gestion de projet

L'exacerbation de la concurrence est sans doute le facteur principal à l'origine de la diffusion de la gestion de projet dans le développement de produits nouveaux. Pour comprendre cela, on peut se reporter aux travaux de Womack, Jones et Roos (1991, [450]) qui ont analysé l'évolution des stratégies des constructeurs américains, européens et japonais en matière de diversification et de renouvellement des modèles d'automobile dans les années 1980. La spécificité des constructeurs japonais, qui augmentent la variété de leur catalogue tout en renouvelant régulièrement les modèles, apparaît clairement dans la [figure 18, page 117](#). De nombreuses études ont montré que les stratégies permettant de concilier un portefeuille important de produits avec un âge relativement bas de ces produits conduisaient à un avantage concurrentiel décisif. C'est dans ce contexte que le raccourcissement des délais de développement des produits nouveaux est devenu un enjeu majeur.

FIGURE 18

Diversité / âge du catalogue des produits (Womack, Jones & Roos, [450])



L'une des raisons essentielles de l'impact du raccourcissement des délais de développement des produits nouveaux tient au grignotage progressif des parts de marché qu'induisent les retards dans le lancement de produits venant remplacer des produits en fin de cycle de vie. Dans cette approche du [cycle de vie](#) par le marketing¹, on distingue quatre phases : introduction, pénétration, maturité et déclin que l'on visualise sur une courbe d'évolution des ventes sur une même

1. Cette conception du cycle de vie a été introduite par Levitt en marketing (1965, [278]). Une discussion approfondie de ce concept en marketing peut être trouvée dans l'article de Fenneteau, «cycle de vie du produit», publié dans l'*Encyclopédie de gestion* (1997, [136]). Une acception différente est donnée à ce concept de cycle de vie lorsqu'il est utilisé dans l'analyse économique de produits nouveaux dans le cadre de leur gestion par projet (voir § II-2.1, page 118, et chapitre IV, § I-2.1.2, page 263).

courte période de base. La concurrence fait que, le plus souvent, la date de retrait du nouveau produit est à peu près indépendante de celle de son introduction. Dès lors, deux cas de figure peuvent se rencontrer et sont illustrés par les figures 19, page 119, adaptées de Smith et Reinertsen (1998, [390], p. 34), qui représentent des comparaisons d'évolution du chiffre d'affaires instantané (ou de la marge sur coût variable) dans trois cas. Dans le cas A, le retard ne fait que décaler les phases d'introduction et de pénétration sans rien modifier aux phases suivantes; la différence entre les aires en vert et beige correspond à la perte totale induite par le retard. Cette perte (hachurée en vert) peut être approximée par le losange en rouge, ce qui montre que celle-ci est à peu près proportionnelle au retard et au niveau atteint en phase de maturité. Le cas B est plus défavorable: le retard a permis à des concurrents d'occuper le marché et ils ne peuvent en être délogés, ce qui se traduit par une baisse sensible du niveau atteint en phase de maturité. Le cas C de la figure 19 est plus favorable car il correspond à un retard permettant d'obtenir un avantage compétitif se traduisant par un recul de la date de retrait et, éventuellement, mais pas nécessairement, par un accroissement du niveau atteint en phase de maturité. Dans ce cas, il faut calculer le solde entre les gains et les pertes visualisés sur le graphe.

Pour maîtriser les délais, ainsi que les coûts et les spécifications techniques, les techniques de gestion de projet sont maintenant largement utilisées dans le pilotage des projets de développement de produits nouveaux. Ces approches seront présentées en détail au chapitre IV et plus particulièrement au § I-2.1.2, page 263, en ce qui concerne les projets de développement de produits nouveaux et les organisations mises en place (en particulier l'ingénierie concourante qui sera présentée au § I-3.2, page 270). Cela étant, le pilotage des projets de développement de produits nouveaux s'appuie sur bien d'autres outils, notamment ceux qui viennent d'être présentés (AV, QFD, DFM) ainsi que d'autres qui seront introduits au chapitre III (simulation de processus, analyse de sensibilité).

II-2 L'éclairage économique des décisions de conception

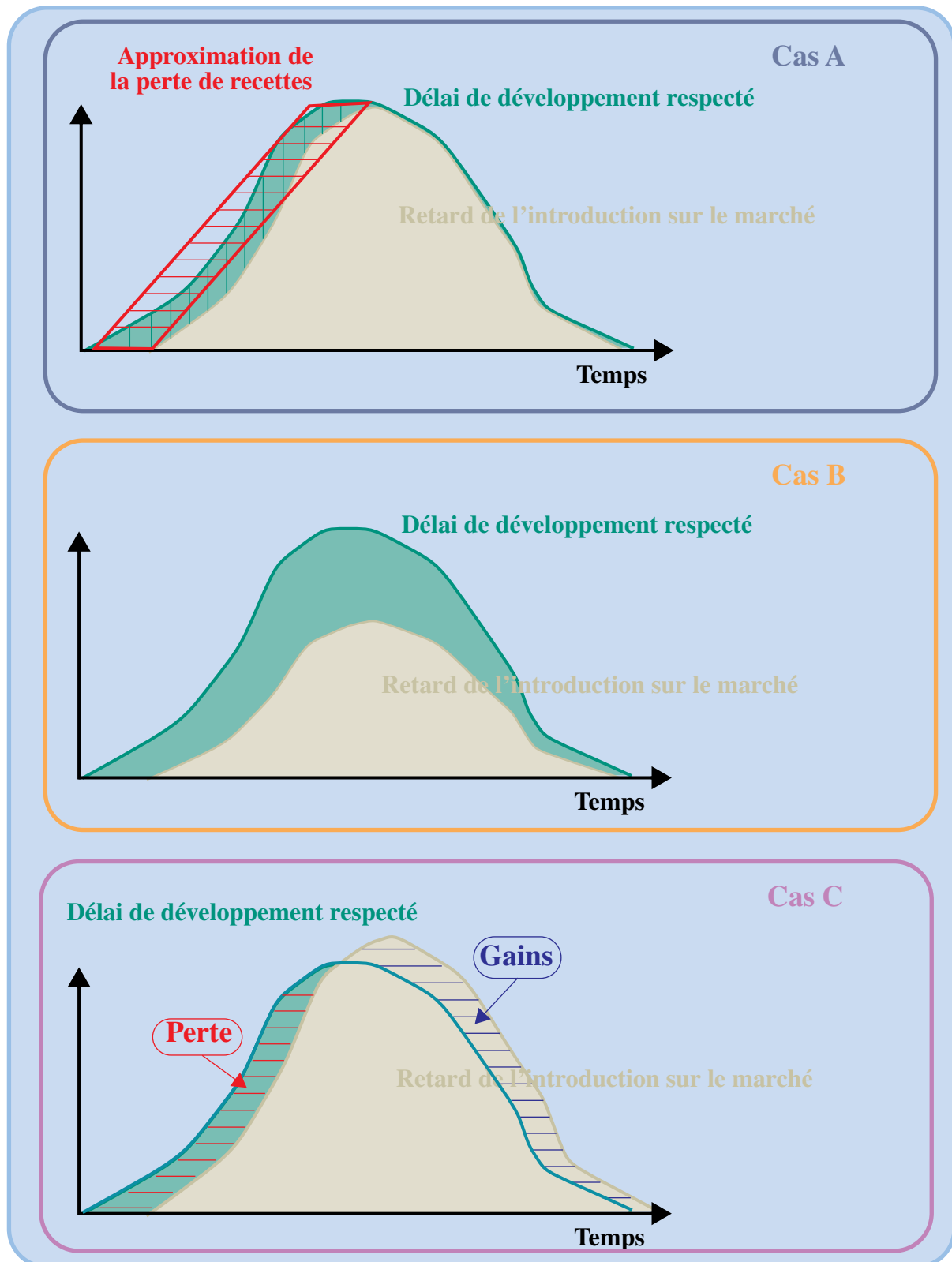
L'analyse économique d'un produit nouveau ne peut se borner au suivi des dépenses de conception et d'industrialisation puisque la rentabilité du lancement envisagé implique de prendre en compte des ventes. Il est préférable de ne pas borner arbitrairement l'horizon de l'analyse et de prendre en compte toutes les conséquences de cette introduction du produit nouveau, ce qui conduit à raisonner sur le cycle de vie du produit (§ II-2.1). Deux approches sont alors disponibles pour fournir un éclairage économique des décisions de conception portant sur des biens destinés à être fabriqués de manière répétitive: une approche en termes de coût objectif (§ II-2.3) et une approche en termes de flux (§ II-2.2, page 121), qui présente l'avantage d'une plus grande rigueur quant à l'explicitation des hypothèses de travail.

II-2.1 La vision du coût sur le cycle de vie

L'analyse économique d'un projet de développement d'un produit nouveau a conduit à utiliser le concept de cycle de vie d'un produit dans un sens différent car l'approche ne vise plus un ensemble de produits relativement substituables, fabriqués par plusieurs industriels, mais un produit unique fabriqué par un industriel unique. Dans cette perspective, le cycle de vie d'un produit se définit comme

FIGURE 19

Pertes et gains de recettes liés à une introduction tardive sur le marché

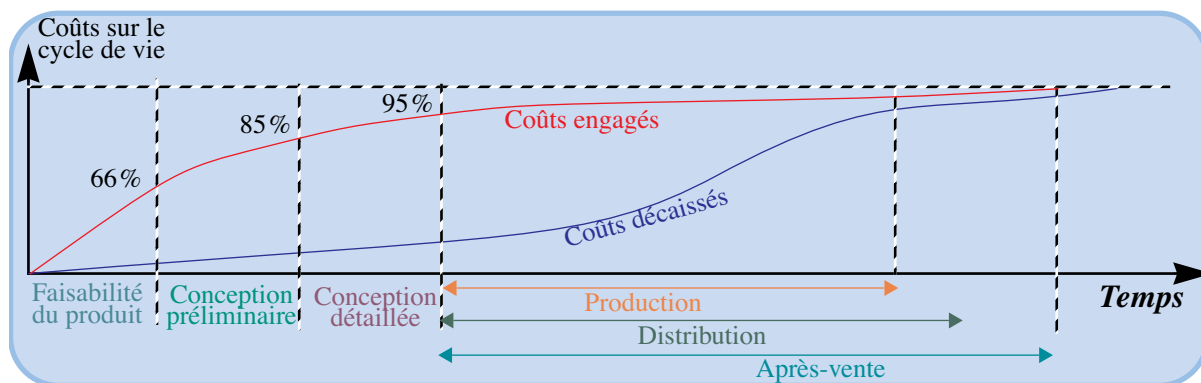


l'intervalle de temps qui sépare le début de la conception d'un produit, de l'arrêt de sa fabrication (un support logistique devant être assuré encore pendant un certain temps pour des raisons commerciales et légales), et par tous les événements et décisions qui affectent ce produit durant cette période. Cette mise en perspective est illustrée par la [figure 20](#)¹ (adaptée de celle de Berliner et Brimson,

1988, [47]) qui distingue la courbe des coûts engagés sur le cycle de vie de la

FIGURE 20

Courbe des coûts sur le cycle de vie (adapté de Berliner et Brimson, 1988, [47])



courbe des coûts constatés et montre que des décisions prises très tôt ont des conséquences importantes sur des coûts récurrents qui sont, de fait, engagés par ces décisions, même si leur décaissement est étalé dans le temps (le coût total des coûts engagés étant égal au coût total des coûts décaissés, ce coût total étant parfois appelé **coût global de possession**, ramené ou non à l'unité produite). C'est ainsi que le choix d'une technologie pour un produit devant être produit pendant cinq ans en un certain volume peut conduire implicitement à l'acquisition d'équipements nouveaux (investissements à réaliser ultérieurement, mais décidés à ce stade) et à l'utilisation d'une équipe d'opérateurs pendant les cinq ans de production (dépenses d'exploitation récurrentes décidées également à ce stade).

Le contrôle de gestion «traditionnel» met sous tension les coûts décaissés récurrents et ne s'intéresse pas à la maîtrise des coûts engagés qui, pour l'essentiel sont déterminés avant la production en régime de croisière. Les analyses d'écarts du contrôle de gestion traditionnel se font sur la base d'un référentiel qui, implicitement, s'appuie sur une courbe de coûts décaissés reprenant, avec un attachement temporel différent, les éléments de construction de la courbe de coûts engagés auxquels le contrôle de gestion traditionnel ne s'intéresse pas, ce qui revient à dire que le référentiel utilisé n'est pas sous contrôle.

La nécessité de maîtriser les coûts engagés lors des projets de conception des produits nouveaux s'est traduite par la mise au point d'instrumentations complémentaires utilisées dans le pilotage économique de cette catégorie de projets, pour éclairer chaque décision conduisant à de nouveaux engagements de coûts. Cette maîtrise de la construction progressive des coûts engagés, dont le cumul est le coût total sur le cycle de vie du projet, est maintenant considérée comme un enjeu majeur même si le choix des acteurs chargés de cette mission reste encore souvent ambigu. Cette introduction de l'économie dans la conception se traduit par la recherche de l'obtention d'un ensemble de spécifications pour une certaine production prévisionnelle sans dépasser un coût total prédéterminé. On parle alors de **conception à coût objectif**, ce terme recouvrant plusieurs approches et périmètres possibles.

En ce qui concerne le périmètre, on peut retenir le point de vue de l'industriel, qui est celui implicitement retenu dans la [figure 20](#), ou celui de l'utilisateur qui ajoute au coût d'acquisition d'un bien, les charges liées à l'usage de ce bien (principalement charges directes d'utilisation et de maintenance). Cette seconde perspective est incontournable lorsque le client adopte une approche rationnelle dans son acte d'achat, comme c'est le cas, par exemple, dans l'industrie aéronautique. L'évaluation ex-ante des coûts sur le cycle de vie du produit fait l'objet de deux traductions analytiques différentes : une traduction sous forme de flux ou une traduction sous forme de coûts, ce que l'on va examiner maintenant.

Ajoutons enfin que, dans de nombreuses entreprises (en particulier celles qui travaillent avec la Défense), la prise en charge initiale de la cohérence des décisions et de leurs impacts sur tout le cycle de vie du produit relève du **Soutien Logistique Intégré (SLI)**, connu aussi sous l'appellation anglo-saxonne **Integrated Logistic Support**¹ ou **ILS**). La définition retenue par l'OTAN est la suivante. Le SLI est « le processus de gestion doublé du processus technique par lequel les considérations touchant aux possibilités de soutien et au soutien logistique de système et d'équipements sont intégrées dès les premières phases et tout au long du cycle de vie d'un projet, et par lequel tous les éléments de soutien logistique sont planifiés, acquis, mis à l'essai et fournis en temps voulu avec un bon rapport coût-efficacité ».

II-2.2 Les approches en termes de flux de trésorerie

L'approche en termes de flux de trésorerie générés par le projet est classique en matière de choix des investissements et conduit à établir le bilan économique, sur la base d'un échéancier traduisant l'impact différentiel de l'adoption d'un projet par rapport à celui d'une solution de référence (qui peut être le maintien d'un statu quo) et permettant le calcul d'indicateurs financiers synthétiques. Les principes de cette démarche seront présentés en détail au [§ II-2, page 174](#) du [chapitre III](#), mais ce qu'il importe de souligner ici est que cette approche s'appuie sur des hypothèses explicites de quantités datées consommées et produites sur le cycle de vie du produit, de volumes physiques de production et de consommation de ressources datées. L'une des difficultés de cette approche réside dans la prise en compte de tous les aléas futurs et l'estimation des risques économiques encourus². La valorisation de ces conséquences physiques suppose la définition du niveau d'observation à retenir pour l'évaluation économique³ qui peut être celui du projet de conception du produit nouveau (ou d'une plate-forme nouvelle⁴) ou celui de l'entreprise.

- Au niveau de l'entreprise, les modifications effectives de flux de trésorerie sont prises en compte. Cependant, en matière d'évaluation de coûts ou prix unitaires de certaines ressources, des conventions peuvent être utilisées, comme par exemple le recours à un coût standard, dont la définition peut différer selon le point de vue retenu ou dans une perspective de responsabilisation et de motivation.

1. Pour en savoir plus sur cette approche, voir Jones (1995, [\[251\]](#)) et OTAN (1997, [\[322\]](#)).

2. Des méthodes permettant de résoudre certaines de ces difficultés seront présentées au [chapitre III, § II-3, page 185](#).

3. Pour une discussion approfondie de ce point, se reporter au [chapitre III, § II-2.1.1, page 174](#).

4. Voir définition en [page 103](#).

- Au niveau d'un centre de décision (dans le cas de la conception et du développement du produit nouveau, au niveau du projet ou de la plate-forme), il peut être souhaitable d'adopter une logique d'évaluation largement conventionnelle où il s'agit d'évaluer les variations de flux de charge relatifs à cette seule entité. Cette évaluation conventionnelle de certains flux de trésorerie porte non seulement sur les coûts, mais aussi sur les quantités, lorsque l'on se place dans une perspective de relations clients-fournisseurs de ressources entre le projet, la plate-forme et l'entreprise. En effet, une modification des ressources affectées au projet ne se traduit pas nécessairement par une modification équivalente et immédiate pour l'entreprise. Les différences entre l'évaluation des flux au niveau de l'entreprise et celle au niveau du projet portent en fait, sur les quantités des ressources non stockables¹; en ce qui concerne les ressources stockables (matières et composants, par exemple), il ne peut y avoir de divergence d'évaluation entre le niveau du projet et celui de l'entreprise.

II-2.3 Les approches en termes du coût-objectif

Cooper et Slagmulder (1997, [107], p. 72) définissent le *target costing*² comme «une approche structurée pour déterminer le coût sur le cycle de vie auquel un produit donné, comportant des fonctionnalités et un niveau de qualité spécifiés, doit être fabriqué pour générer un niveau de profitabilité défini sur son cycle de vie lorsqu'il est vendu à un certain prix de vente anticipé». Cependant cette définition traduit mal les résultats d'une étude de Tanaka (1989, [401]), portant sur 209 entreprises industrielles japonaises, qui précise que le coût-cible est, en réalité, un coût de production et devient le standard dès le début des opérations récurrentes. Il est évident que le calcul d'un coût, en matière d'évaluation économique des décisions de conception et développement, n'est pertinent qu'en rapport aux volumes de vente du produit nouveau. Ces méthodes reposent sur l'évaluation ex-ante d'un coût moyen du produit nouveau. Les difficultés méthodologiques liées à ce type d'approche sont nettement plus importantes que celles rencontrées dans l'approche par les flux (§ II-2.2). Quatre points méritent d'être soulignés.

- Se posent tout d'abord les problèmes de définition des différentes **conventions** permettant de calculer le coût moyen (volumes prévisionnels, règles d'amortissement des dépenses non récurrentes...).
- En second lieu, se pose la question du **contenu** de coût objectif ou cible, c'est-à-dire des éléments de charges qui sont pris en compte. Monden (1995, [306]), s'appuyant sur les pratiques de *target costing* dans l'industrie automobile au Japon, distingue au sein du coût-cible les coûts faisant l'objet du *target costing* de ceux qui ne sont pas objet de la méthodologie. Cette distinction est résumée dans le **tableau 4**

Selon Tanaka et *al.* (1993, [401]), la non-prise en compte de la plupart des charges indirectes dans l'objectif de réduction des coûts a deux origines:

1. Voir définition au **chapitre VIII**, page 529. On peut noter qu'en l'absence d'évaluation conventionnelle et en se plaçant uniquement au niveau projet, l'évaluation pourrait conduire à certaines incohérences. Ces incohérences sont levées au niveau de l'entreprise lorsque les écarts de quantité de ressources non stockables induits par les différents centres de décision de l'entreprise (ou projets) se compensent, c'est-à-dire lorsque la synergie entre les différents projets est suffisamment forte.

2. Ce § II-2.3 est adapté de l'article de Gautier et Giard (2000, [167]), plus détaillé sur certains points.

TABLEAU 4
Contenu du coût-cible (Monden, [306], 1995)

Coûts faisant l'objet du <i>target costing</i>	
Coûts variables	<ul style="list-style-type: none"> - Charges de matières premières - Charges de transport de pièces et composants - Coût d'achat de pièces - Coût variable de production
Coûts fixes directs	<ul style="list-style-type: none"> - Amortissement des équipements et outillages spécifiques - Coûts de développement des prototypes - Autres coûts de développement: heures d'ingénierie...
Coûts ne faisant pas l'objet du <i>target costing</i>	
Coûts directs de ventes	- Leur montant est déterminé sur la base des charges encourues pour les modèles actuels
Coûts fixes indirects de production (hors amortissements spécifiques)	- Reflètent les conditions de production globales et non spécifiques au produit
Autres coûts fixes indirects (administration, commercialisation...)	

Table des matières

Index thématique

- ces charges sont influencées par un grand nombre de produits et donc l'impact d'un seul produit n'apparaît pas significatif;
- les méthodes de rattachement des charges indirectes au produit des industriels japonais ont un caractère plus conventionnel qu'économique rendant leur analyse, au cours des phases de conception et de développement, peu pertinente.
- La troisième difficulté est liée à la **temporalité** qui est occultée dans les méthodologies de *target costing* puisque le coût-cible est un coût calculé à un instant donné (par exemple un coût de production lors du démarrage réel de la production en série du produit nouveau). En conséquence, les analyses d'évolution à moyen, long terme de ce coût ne sont pas retenues par les méthodologies du *target costing*.
- Enfin, le modèle du *target costing* postule que la **part de marché** est uniquement déterminée par le prix. Certains modèles retiennent une causalité entre prix de vente et volume moins simpliste que celle retenue par la méthodologie du *target costing* avec pour objectif de faire le lien entre les attributs spécifiques du produit et le comportement du client sur un plan économique. En matière d'aviation civile, par exemple, un modèle économique classique au niveau du comportement du client est celui du *Direct Operating Cost* (Westphal et Scholz, 1997, [440]) qui analyse, sur la base de quelques inducteurs, le coût d'utilisation d'un nouvel avion pour une compagnie aérienne. Ce n'est donc pas tant le prix d'un nouvel avion qui conditionne la part de marché et, in fine, les volumes de vente, que les spécifications commerciales et le coût d'utilisation pour la compagnie aérienne. On passe d'une logique de coût global pour le producteur à une logique de coût global pour l'utilisateur.

II-2.4 Problèmes méthodologiques posés par l'évaluation d'un projet de conception et développement d'un produit nouveau sur son cycle de vie¹

L'évaluation ex-ante des décisions de conception et de développement d'un produit nouveau dans le secteur industriel, notamment dans une perspective de développement simultané du produit nouveau et des processus productifs, pose un certain nombre de problèmes méthodologiques sur le plan de la cohérence temporelle des décisions (§ II-2.4.1) et en raison du caractère ex ante de l'évaluation économique (§ II-2.4.2, page 129).

II-2.4.1 Problèmes de cohérence temporelle des décisions

La démarche de conception d'un produit nouveau s'appuie sur une démarche de spécification progressive d'un produit et de son processus de fabrication se traduisant par la création d'un échéancier de flux de dépenses et de recettes qui va de l'adaptation du système productif, préalablement à la fabrication de la première unité, jusqu'à la fabrication des dernières pièces détachées vendues au titre du service après-vente, postérieurement à la vente de la dernière unité produite.

Il est évident tout d'abord que les spécifications finales du produit, de son prix de vente conditionneront le réalisme des hypothèses relatives à l'échéancier en volume des produits vendus. Cet aspect du problème doit être considéré comme en dehors du champ d'étude, mais doit être à l'origine d'études de sensibilité pour tester la robustesse «économique» de certaines solutions techniques relatives au produit ou au processus (voir chapitre III, § II-3, page 185).

Plusieurs problèmes méthodologiques se posent lors de la valorisation des échéanciers de consommation de ressources, qu'il s'agisse de celles mobilisées par les bureaux d'études et de méthodes (§ II-2.4.1.1), des investissements nouveaux (§ II-2.4.1.2, page 125) et des composants existants utilisés (§ II-2.4.1.3, page 127).

II-2.4.1.1 Le coût de conception du produit et de son processus de fabrication

Les dépenses liées à l'adaptation du système productif commencent par les dépenses réalisées par les bureaux d'études et des méthodes dans le cadre du projet de conception du produit et de son processus. Économiquement, il s'agit d'un investissement immatériel conditionnant la possibilité de lancement en production de nouvelles références au même titre que la disponibilité des équipements requis pour cette production. Cet investissement immatériel est pris en compte dans l'analyse économique du projet de production de produits finis nouveaux. Si le produit étudié est un composant nouveau qui sera utilisé par de nombreux produits finis, se pose alors le problème d'un éventuel amortissement économique de cet investissement immatériel, ce que l'on examinera au § II-2.4.1.3, page 127.

1. Ce § II-2.4 est adapté de l'article de Gautier et Giard (2000, [167]).

II-2.4.1.2 Le coût des équipements utilisés

Il convient de distinguer le cas de l'acquisition d'équipements nouveaux de celui d'une utilisation d'équipements préexistants, mais, d'un point de vue méthodologique, ces deux problèmes sont liés comme on va le voir.

Examinons d'abord le cas d'équipements nouveaux ayant pour vocation d'être utilisé *exclusivement* par le produit nouveau.

- S'ils s'avèrent physiquement non réutilisables à la fin de l'horizon de fabrication retenu, en raison de leur usure, d'une inévitable obsolescence technique ou économique ou d'une dépendance trop forte aux spécifications de production du produit nouveau, leurs valeurs résiduelles sont nulles et la totalité de l'investissement est à porter au débit du projet. Si certaines de ces durées sont inférieures à cet horizon de fabrication, on devra procéder au renouvellement des équipements concernés et la question est alors de savoir s'il s'agit ou non d'un renouvellement à l'identique¹.
- Les équipements, qu'ils soient d'origine ou non, dès lors qu'ils sont physiquement réutilisables à la fin de l'horizon de fabrication retenu, posent le problème de la détermination de leurs valeurs de récupération². Deux points de vue peuvent alors être défendus.
 - On peut d'abord considérer que le projet doit supporter seul ces investissements au nom d'un principe de prudence, auquel cas, ces valeurs résiduelles sont nulles. Un autre point de vue conduit au même résultat : celui consistant à considérer comme faisant partie du « *slack* » de l'entreprise, les actifs réutilisables considérés comme « économiquement amortis » dans la production qui a suscité leur introduction dans l'entreprise.
 - Un équipement réutilisable peut conduire au contraire à vouloir porter au crédit du projet une valeur résiduelle dont les règles de calcul sont largement conventionnelles. S'il s'agit d'un équipement pour lequel existe un marché de l'occasion, on peut envisager de calculer une évaluation prévisionnelle, pessimiste ou optimiste, d'autant plus difficile à établir que le marché de l'occasion est étroit. Si ce marché est trop étroit ou inexistant, la valeur résiduelle devrait être considérée comme nulle sauf si l'on a des chances raisonnables de pouvoir les réutiliser pour produire ensuite d'autres références, ce qui pose implicitement le problème – sur lequel on reviendra – du « rachat conventionnel » d'équipements anciens par une nouvelle génération de produits à fabriquer.

Examinons maintenant le cas de l'acquisition d'équipements qui sont partagés par plusieurs références dont une partie seulement correspond aux références nouvelles étudiées.

- La production des références anciennes peut parfaitement s'inscrire dans l'horizon de fabrication utilisé par le scénario qui avait conduit à décider la fabrication de ces références. Dans ce cas, l'acquisition de ces équipements était prévue et justifiée économiquement par la fabrication des « anciennes » références. La cohérence temporelle des évaluations conduit soit à considérer

1. Voir, sur ce point, le [chapitre III](#), § IV-2.1, page 235.

2. Voir, sur ce point, le [chapitre III](#), § III-2.2, page 211.

comme gratuite la disponibilité résiduelle d'équipements intégralement « payés » par les anciennes références, soit à imputer à la nouvelle production la partie du coût des équipements explicitement non prise en compte par les anciennes références lors de l'achat de ces équipements¹.

- Ce partage peut aussi s'inscrire dans le cadre d'une poursuite de la fabrication des « anciennes » références au-delà de l'horizon de fabrication initialement retenu. Dans ce cas, il doit y avoir partage du coût de l'équipement entre références nouvelles et anciennes. Plusieurs techniques sont envisageables, celle qui s'appuie sur l'amortissement économique (présentée ci-après) semblant la plus rationnelle.

Le cas de l'utilisation d'équipements disponibles par les références nouvelles est implicitement étudié dans les deux cas qui viennent d'être présentés.

En définitive, le calcul du coût des équipements utilisés pour fabriquer de nouvelles références implique une traçabilité décisionnelle peu évidente à réaliser. Une solution à ce problème peut cependant être imaginée dans les entreprises qui basent économiquement l'acceptation de leurs projets sur l'obtention d'une rentabilité supérieure à un seuil minimal. L'utilisation de ce seuil comme taux d'actualisation de référence² revient à accepter les projets ayant une valeur actuelle nette positive d'échéancier de flux de trésorerie associé au projet. Dans ces conditions, comme on va le voir, il est mathématiquement équivalent de prendre en compte soit l'échéancier d'investissements lié à l'acquisition d'un équipement soit l'amortissement économique de cet équipement, en s'appuyant sur une durée de vie physique raisonnable (déconnectée de considérations fiscales) et sur le taux d'actualisation de référence.

Cette notion d'**amortissement économique** a été introduite pour la première fois de manière cohérente par Marcel Boiteux dans les années cinquante pour EDF, sous le nom de charges d'immobilisation. Une synthèse de ses travaux sur ce thème peut être trouvée dans Boiteux, 1964, [59], chap. X; un panorama intéressant de ce courant peut également être trouvé dans Lévy-Lambert & Dupuy, 1973, [280], chap. IV. L'échéancier d'amortissements économiques A_t défini sur n périodes et associé à un investissement ponctuel I , pour un taux d'actualisation

α défini pour le découpage temporel utilisé est tel que $I = \sum_{t=1}^n \frac{A_t}{(1+\alpha)^t}$. Cette

approche revient implicitement à déterminer la valeur résiduelle V_t de l'équipement à une date t après prise en compte de l'amortissement économique³ de cette période: cette valeur résiduelle n'est autre que la valeur actualisée, à la date t et au

taux α , des amortissements restant à venir⁴ $\left(V_t = \sum_{\tau=t+1}^n \frac{A_\tau}{(1+\alpha)^\tau} \right)$. Dans ces

travaux, l'amortissement économique est principalement présenté comme la conséquence de l'utilisation d'un taux d'actualisation permettant de réaliser

1. Cette option implique, à l'achat de l'équipement, le transfert sur l'entreprise, du risque de non financement de la partie du coût non justifiée par les anciennes références. La détermination de règle de partage du coût d'acquisition entre les références anciennes et les références à venir peut être traitée suivant les principes décrits dans la note du bas de la page 127.

2. Voir, sur ce point le chapitre III, § III-1.2.2.2, page 206.

l'équilibre entre une offre de capitaux et une demande de capitaux, interne à l'entreprise et tenant compte des opportunités du marché¹. Mais, ici, l'amortissement économique est vu avant tout comme un outil de cohérence temporelle des décisions (ce qui implique, notamment, une certaine stabilité du taux d'actualisation de référence utilisé).

Toute analyse économique du projet de lancement d'un produit nouveau dans laquelle on prend en compte l'utilisation d'équipements nouveaux ou existants par le biais de leurs amortissements économiques ou d'une partie de ces amortissements économiques est cohérente quant au bien-fondé de l'acquisition de ces équipements si ces amortissements économiques sont effectivement supportés en totalité par les différentes productions. L'usage d'un tel amortissement économique dans les prix de cession internes présente en outre l'avantage de la cohérence interne comme on le verra à la [page 128](#).

II-2.4.1.3 Le coût des composants utilisés

Les coûts des composants acquis à l'extérieur ne posent a priori pas de problème puisqu'ils sont déterminés contractuellement. Des problèmes peuvent cependant surgir lorsque le fournisseur est une société détenue partiellement ou en totalité par l'entreprise concernée car les prix de vente peuvent se rapprocher de prix de cession et être minorés ou majorés en fonction de critères liés à une stratégie de groupe. Le développement des pratiques de co-développement ne modifie pas la transparence des coûts dans l'évaluation économique. En effet, les coûts de développement de l'entreprise co-traitante peuvent être partiellement pris en charge par le budget de développement du produit nouveau et le reste être répercuté sur le prix de vente, tandis que la participation du donneur d'ordre au développement du produit nouveau est prise en compte dans le coût du projet de développement.

3. *Note de la page précédente.* Plusieurs échéanciers d'amortissement économiques sont imaginables, ce qui a un fort impact sur la définition de la valeur résiduelle à la fin d'une période :

- On peut décider de retenir un amortissement constant en application de la [relation 505 de la page 1173](#) (d'où

$$A = I \frac{\alpha}{1 - (1 + \alpha)^{-n}}, \text{ ce qui est assez logique dans le cas d'une stabilité d'utilisation du bien considéré.}$$

- On peut imaginer de faire décroître progressivement cet amortissement pour tenir compte d'hypothèses d'obsolescence technique (tout dépend alors de ces hypothèses).
- On peut enfin vouloir tenir compte explicitement des variations prévisionnelles de la production p_t , tout en

voulant définir un coût unitaire économique constant a ($A_t = a p_t \Rightarrow a = I / \left\{ \sum_{t=1}^n p_t (1 + \alpha)^{-t} \right\}$). Cette approche permet

facilement de prendre en compte la production simultanée de références différentes par cet équipement, combinant des échéanciers de production très hétérogènes. Il convient alors d'exprimer les productions p_{it} des différentes références i produites au cours de la durée de vie de cet équipement avec une unité d'œuvre cohérente

$$\text{avec ce coût unitaire constant } a: A_t = a \sum_i p_{it} \Rightarrow a = I / \left\{ \sum_{t=1}^n \frac{\sum_i p_{it}}{(1 + \alpha)^t} \right\}.$$

- Il est possible également d'inclure dans cet échéancier les dépenses de maintenance préventive destinées à garantir une qualité constante de prestations offertes par l'équipement (auquel cas, il faudra imaginer un système de comptabilité de gestion évitant de prendre en compte deux fois ce type de charge). En cas d'inflation sensible et de durée de vie longue, il convient de réfléchir sur les avantages et les inconvénients d'une solution utilisant un taux d'actualisation non déflaté et d'une solution utilisant un taux d'actualisation déflaté, avec une modification des amortissements économiques par un facteur correctif de prise en compte de l'inflation.

4. *Note de la page précédente.* Cette propriété sera évoquée à nouveau dans le [chapitre XVII, page 1175](#).

La détermination du coût des composants fabriqués en interne pose quelques problèmes méthodologiques dont certains sont bien connus (en particulier, déversement des charges indirectes). On s'intéressera plus particulièrement ici au problème de l'amortissement. Dans le calcul des coûts de revient, l'usage d'une quote-part de l'amortissement fiscal des équipements utilisés équivaut à admettre que le produit nouveau bénéficie d'une subvention indirecte liée à l'usage d'équipements existants. En effet, avec cette convention de calcul, cette consommation de capital, contrairement à celle des équipements nouveaux, n'a pas à être justifiée économiquement par une rentabilité minimale du capital investi. Si, au lieu de l'amortissement fiscal, on utilise l'amortissement économique, la cohérence décisionnelle est restaurée.

Un dernier problème posé est celui de la cohérence des projets « produits finis » et des projets « organes », généralement conçus dans une optique de modularité et de standardisation (voir [section III, page 133](#)). Les projets « organes » correspondent à la conception de modules complexes (organes mécaniques, cartes électroniques...) qui ont pour vocation d'être utilisés par plusieurs gammes de produits dont certaines ne sont encore qu'à l'état de projet. Ces projets n'ont pas de rentabilité intrinsèque puisque la production qui en résulte ne fait que marginalement l'objet de ventes (au titre de pièces détachées). La pratique du bilan différentiel¹ conduit à décider de fabriquer en interne certains composants plutôt que de les acheter à l'extérieur, mais, à notre connaissance, une fois cette décision prise, le système de prix de cession interne n'en tire pas de conséquences quant à une quelconque rentabilité minimale des capitaux investis.

L'usage de l'amortissement économique des équipements utilisés (ou d'une quote-part en cas d'utilisation partagée) apporte une solution élégante et facile à mettre en œuvre au problème de la cohérence temporelle des décisions, à condition d'y ajouter un amortissement complémentaire correspondant aux investissements immatériels. En effet, l'amortissement économique est calculé sur la base de l'investissement et non du différentiel d'investissement, ce qui permet d'en assurer la rentabilité minimale désirée (par le biais du taux d'actualisation). Par ailleurs, en y ajoutant un amortissement des investissements immatériels, on est cohérent avec l'évaluation économique initiale du dossier d'investissement du projet « organe », dont la spécificité garantit habituellement la pérennité². Si le projet de nouveau produit fini conduit, pour le taux d'actualisation de référence de l'entreprise, à une valeur actuelle nette positive, cela implique une rentabilité du projet des nouveaux investissements matériels et immatériels au moins égale au

1. *Note de la page précédente*. M. Boiteux écrit (1964, [59]): « tout se passe entre le service financier de l'entreprise et le service d'exploitation comme si le premier louait au second des installations qu'il exploite », ce qui confère au taux d'actualisation un rôle d'affectation du capital similaire à celui du ROI (*Return On Investment*) dans les organisations divisionnelles. Il ajoute, à propos de la valeur résiduelle calculée suivant la méthode rappelée ici, que « la référence au marché permettra chaque année de prendre des décisions d'achat et de vente qui s'imposent ».

1. Voir [chapitre III, § II-2.2.1, page 177](#).

2. L'existence, sur le marché, de produits substituables comparativement moins chers peut conduire à abandonner la production de l'organe considéré. Cet abandon n'est pas judicieux si l'usage d'un coût n'incluant ni la rémunération du capital investi pour les équipements, ni un amortissement des investissements immatériels, conduit à la décision inverse. En effet, dans ce cas la différence entre ce dernier coût et celui d'acquisition du produit substituable reste dans l'entreprise et permet de ne pas tout perdre dans le processus de récupération des sommes investies. La technique de calcul retenue pour ce coût (niveau de prise en compte des charges indirectes...) peut amplifier ce problème.

taux d'actualisation et une participation de ce projet à la rentabilité des projets organes implicitement mobilisés dans cette affaire.

II-2.4.2 Problèmes liés au caractère ex-ante de l'évaluation économique

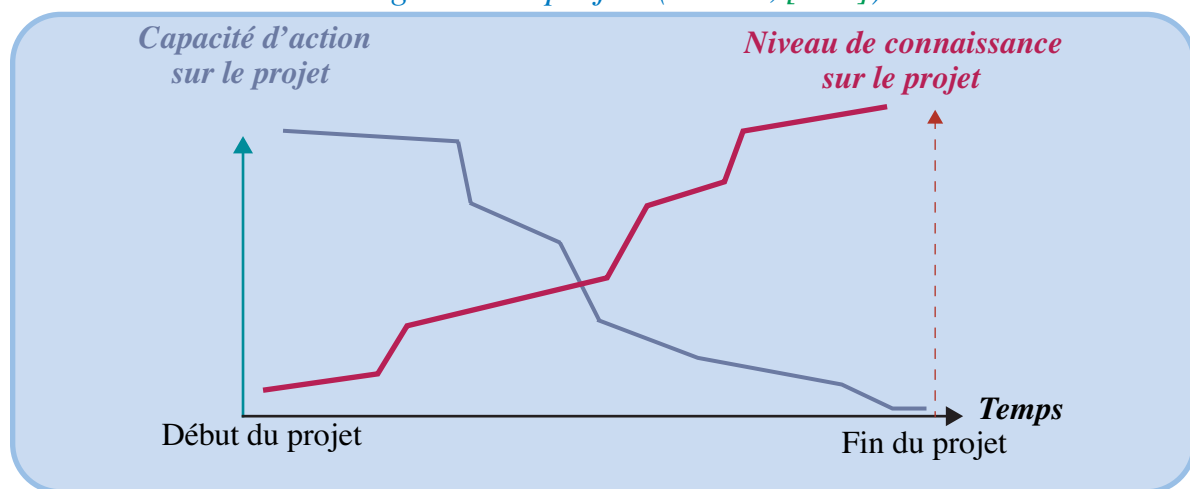
II-2.4.2.1 Impact de l'incertitude sur la construction de l'échéancier des coûts engagés

La figure 20, page 120, de la courbe des coûts engagés sur le cycle de vie relève plutôt d'une évaluation ex-post des décisions de conception. En effet, dans les phases initiales du cycle de vie du produit (correspondant aux décisions prises avant le démarrage effectif des opérations récurrentes de production), la courbe n'est pas connue avec certitude. Cette constatation conduit à plusieurs conséquences.

- Tout d'abord, il convient de s'interroger sur les éléments de la courbe qui peuvent être effectivement gérés en fonction des phases d'avancement du projet. En effet, l'instrumentation et le pilotage d'un projet de conception sont influencés par la temporalité du projet. L'objectif du projet est de construire progressivement une réalité à venir. Cette temporalité est marquée par le découpage d'un projet en phases distinctes et se traduit par «la convergence du projet» (Midler, 1993, [301]) représentée par les deux courbes sur le graphique suivant.

FIGURE 21

Convergence des projets (Midler, [301])



Cette temporalité pose la question du niveau de granularité de l'estimation des coûts engagés sur le cycle de vie du produit. Ce niveau de granularité apparaît de manière explicite dans les niveaux progressifs de définition du produit et dans le recours à des méthodes d'estimation des coûts de plus en plus «précises». Dans le même temps, l'évaluation ex-ante des coûts ne présente un réel intérêt que dans la mesure où le cumul des coûts engagés laisse des marges de manœuvre. Dans les phases les plus avancées du projet de conception et développement, l'évaluation économique peut avoir pour rôle d'aider au choix des solutions techniques sur la base d'un éclairage économique ou de tester la robustesse d'une solution technique par rapport à tous les scénarios d'hypothèses envisagées. Sur un plan instrumental, la simulation en univers certain (de type *what if*) permet d'éclairer l'impact économique de choix techniques alternatifs¹.

- En second lieu, la prévision des coûts engagés sur le cycle de vie n'ayant pas un caractère certain, il existe, à un instant donné, un ensemble de courbes de coûts à engager. Cet ensemble de courbes conduit à deux conséquences en matière d'évaluation ex-ante des décisions de conception.
 - Tout d'abord, cet ensemble de courbes résulte de l'existence de degrés de liberté en matière de choix de conception du produit et des processus correspondants, dans les phases amont du projet; le rôle de l'évaluation est alors d'analyser la variabilité induite par ces degrés de liberté. Cette variabilité se matérialise par le choix de scénarios alternatifs et, sur un plan opérationnel, les techniques de simulation en avenir certain permettent d'explicitier les hypothèses ou de valider un scénario.
 - Ensuite, l'ensemble de courbes résulte du caractère aléatoire des coûts engagés. L'objectif du pilotage est alors de définir les courbes enveloppes (la limite basse et la limite haute) de cet ensemble de courbes. À cet égard, la détermination de ces courbes enveloppes suppose de rapprocher le pilotage économique du projet des méthodes de gestion des risques d'un projet¹.

Cette évolution des coûts engagés de manière irréversible à la date θ et des extrapolations au-delà de cette date cumulé des coûts déjà engagés est décrite dans la [figure 22](#). À partir de cette date, on peut déterminer deux courbes enveloppes de l'évolution du cumul des coûts engagés entre la date courante θ et la date T de fin du cycle de vie du produit: une courbe optimiste CE_{min_θ}

et une courbe pessimiste CE_{max_θ} . La différence $CE_{max_\theta} - CE_{min_\theta}$ représente à la fois des marges de manœuvre sur le projet de conception et l'existence de risques ayant un impact économique. Ce travail de projection est effectué tout au long du développement du projet de conception du produit et du processus. Dès lors, on peut déterminer l'évolution de l'estimation des bornes CE_{min_t} et CE_{max_t} du cumul des coûts engagés. Cette fourchette converge nécessairement vers le constat qui sera fait en fin de cycle de vie et, à la date T , on retrouve la courbe des coûts engagés de la [figure 20](#).

On peut ajouter quelques remarques sur les conséquences du caractère aléatoire des éléments de coûts estimés. Lorsque plusieurs causes (estimation des quantités vendues, phénomènes de diversité...) pouvant avoir un impact sur les différents coûts sont corrélées, il n'est plus possible d'obtenir un coût global par addition de coûts individuels et la détermination des courbes enveloppe repose sur des outils de simulation aléatoire, avec prise en compte des corrélations entre variables².

II-2.4.2.2 L'appel à un double niveau de modélisation

L'évaluation d'un coût sur le cycle de vie repose sur la distinction entre les coûts récurrents et ceux qui ne le sont pas, ce qu'illustre la [figure 23](#) qui reprend sous une forme légèrement différente la [figure 20 de la page 120](#).

1. Voir [chapitre III](#), § II-3, page 185.

1. Sur ce point, voir Giard (1991, [173]) et Courtot (1997, [111]).

2. Ces approches seront étudiées en détail au [chapitre III](#), § II-3.3, page 190.

FIGURE 22

Évolution des évaluations de bornes de coûts engagés au cours du cycle de vie du produit

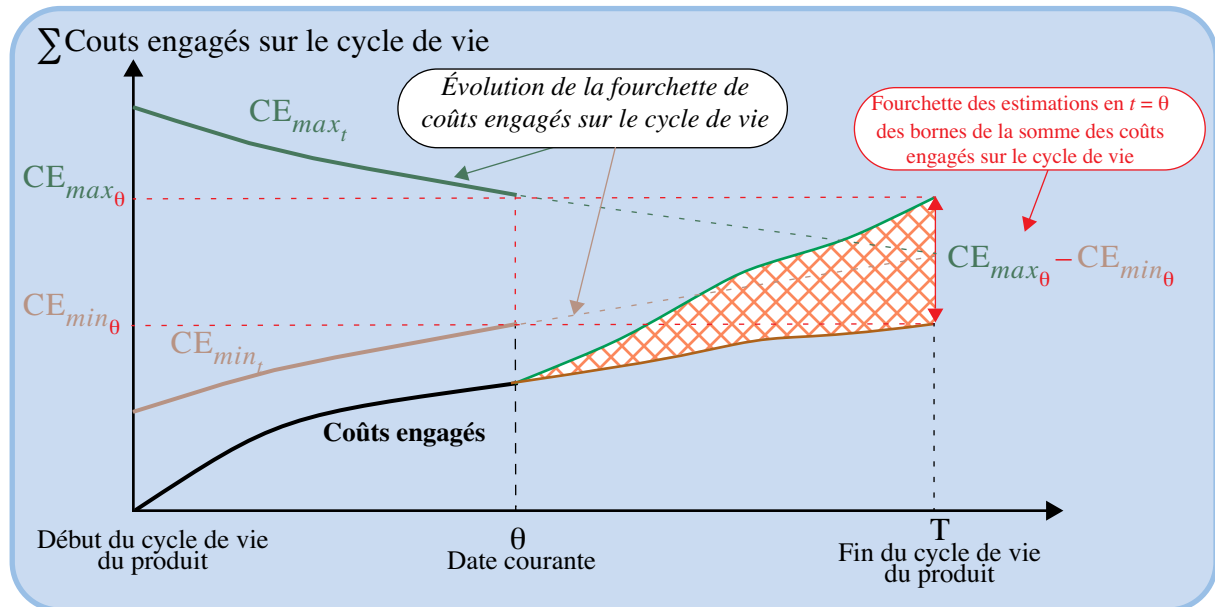
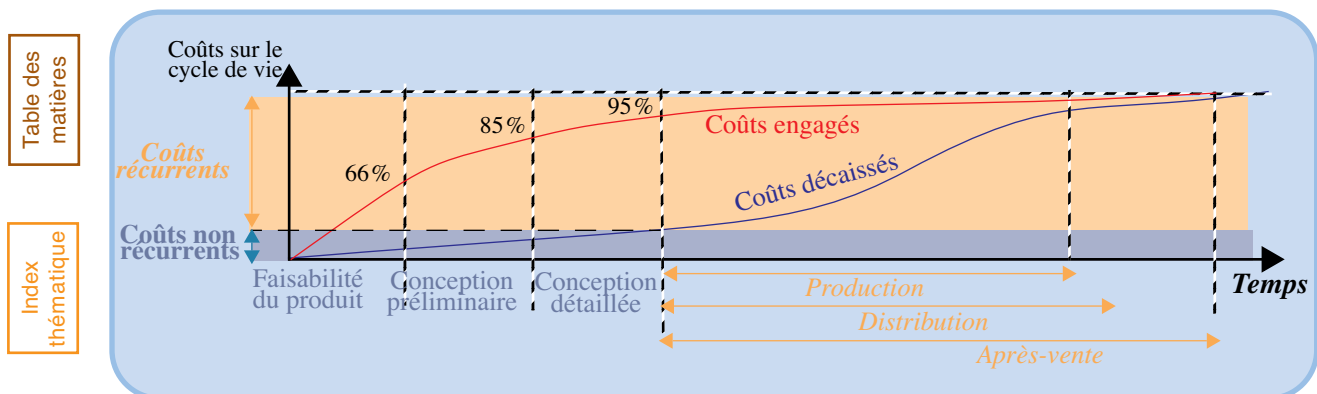


FIGURE 23

Décomposition des coûts sur le cycle de vie et courbes de coûts

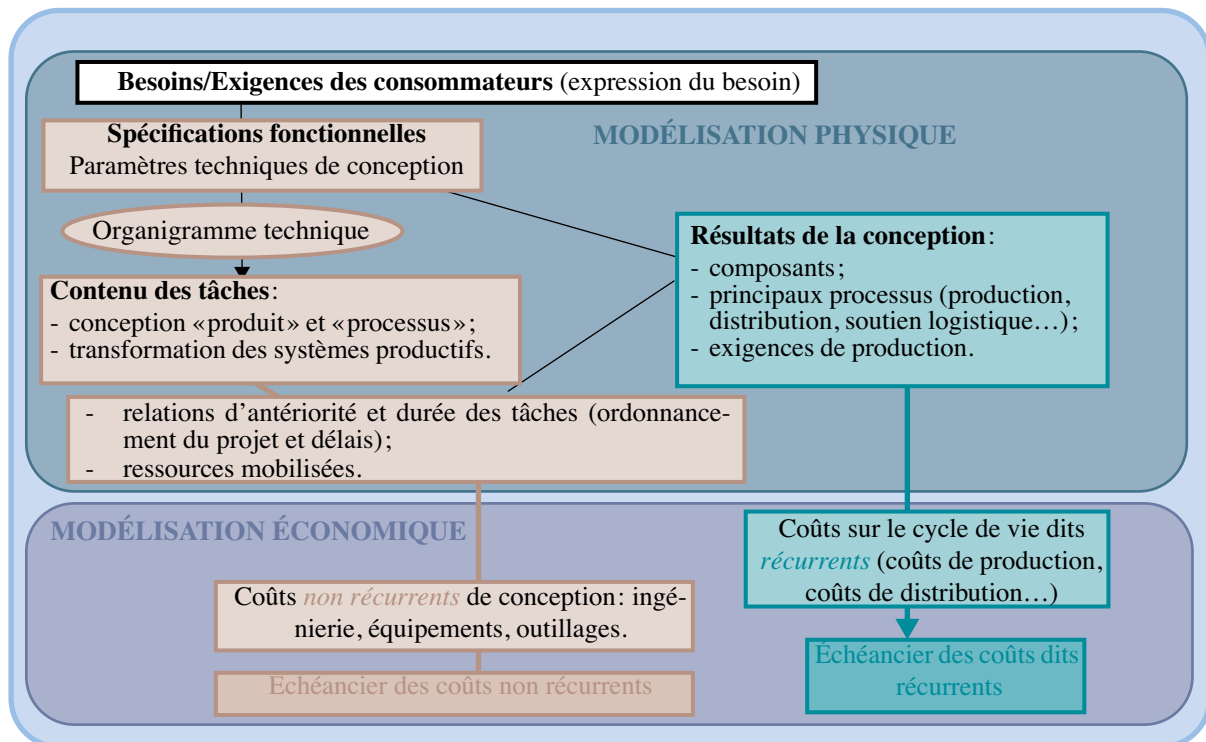


L'évaluation des coûts non récurrents de conception repose sur la valorisation des consommations de ressources par les différentes tâches. La détermination des coûts dits récurrents pose des problèmes de cohérence dans la mesure où, comme on le verra au [chapitre X, § II-2.1, page 638](#), leur évaluation repose sur deux niveaux de modélisation, l'un physique, l'autre économique.

La [figure 24 de la page 132](#) illustre l'application de ce mécanisme en combinant les deux niveaux de modélisation avec le caractère récurrent ou non des charges générées par le produit nouveau.

- Au niveau de la *description physique*, on est confronté au problème de l'imprécision de la description physique d'un produit en phase de conception. Cette imprécision décroît progressivement avec l'avancement du projet conformément au processus décrit à la [figure 21 de la page 129](#). Elle se traduit par le fait que le contenu de certaines tâches du projet de développement est conditionné par la réalisation de tâches-ancêtres non encore exécutées. Par exemple, la conception d'une gamme est conditionnée par la

FIGURE 24
Principe de décomposition des coûts sur le cycle de vie



définition physique précise du produit et les choix techniques faits en amont conditionnent des charges non récurrentes (investissement...) et les charges récurrentes (matières et main-d'œuvre) par le biais des gammes qu'ils induisent.

- Le processus de *valorisation* s'appuie sur un système de coûts unitaires qui repose implicitement sur une certaine représentation du système productif et des processus que le produit nouveau risque de perturber (on reviendra sur ce point au [chapitre X, § II-2.1.3, page 647](#)¹). Par exemple, le développement d'un produit nouveau peut être l'occasion de remettre en cause des décisions en matière de processus d'industrialisation et de fabrication, notamment dans le cadre du développement de l'ingénierie concourante. De même, les choix d'industrialisation peuvent avoir des impacts en matière de processus de production pour d'autres produits existants dans l'entreprise. Il convient alors de s'assurer d'une compatibilité minimale des deux représentations physiques. Ajoutons que les décisions de conception retenues sur la base des coûts récurrents qu'elles induisent doivent être cohérentes avec les décisions stratégiques retenues au niveau de la firme ou du produit.

En raison de ces problèmes de cohérence dans le suivi et la prévision des coûts récurrents engagés par les décisions de conception et de développement, il importe de qualifier la valorisation en précisant, d'une part, le degré d'irréversibilité technique qui le sous-tend et, d'autre part, la nature de la valorisation (sources d'informations, méthodes de calcul, hypothèses de travail).

1. Voir également Giard & Pellegrin (1992, [\[198\]](#)).

SECTION III ANALYSE ÉCONOMIQUE DE LA STANDARDISATION DES PRINCIPAUX ORGANES DANS LES INDUSTRIES DE PRODUCTION DE MASSE

À l'époque où l'artisanat prévalait, le principal effort de standardisation était un effort d'étalonnage. Il portait sur l'établissement de mesures (monétaire, de poids, de longueur, etc.) permettant d'établir les échanges de biens et de prestations sur des bases comparables et de fonder progressivement les sciences de la matière. Il faut attendre la révolution industrielle, rendue possible par l'évolution des connaissances, pour que l'usage de processus standardisés autorise la fabrication de produits substituables, permettant l'élaboration de produits finis de complexité croissante réalisés à partir de constituants identiques fabriqués sur des machines, elles aussi, de plus en plus sophistiquées. Cette standardisation des produits est compatible avec une production systématique de composants «sur mesure» souvent utilisés à cette époque par un seul produit fini.

Depuis près d'un siècle, un même composant est le plus souvent utilisé par plusieurs produits finis. L'analyse technique des références de la nomenclature de production et d'approvisionnement fait généralement apparaître une part importante de composants de caractéristiques identiques ou voisines. Les raisons de cette prolifération, source de coûts additionnels (introduits au § I-3.2, page 105), sont multiples et bien connues: incompréhension de l'impact de la prolifération des références en production et en après-vente, syndrome du P2I (Pas Inventé Ici), décisions arbitraires en conception, argument fallacieux du «juste poids, etc.», défaillance du système d'information conduisant à rendre plus rapide la création d'une nouvelle référence que la recherche d'une référence existante. Ces causes de proliférations doivent être perçues et progressivement éliminées, pour les composants substituables. Pour ceux qui sont partiellement substituables parce que susceptibles de couvrir les mêmes besoins, une analyse technico-économique s'impose. On fera alors appel aux techniques de **standardisation** que l'on définira ici comme la *rationalisation de la conception d'une gamme de produits homogènes partiellement interchangeables, destinée à couvrir un ensemble de besoins*. On peut souligner que cette classe de problèmes, dans les grandes industries de production de masse n'est pas réellement prise en compte dans les services fonctionnels (bureaux d'études et méthodes) et pas du tout dans les organisations de type «projet».

Avant de poursuivre, il est important de souligner que ces efforts de standardisation doivent s'accompagner d'efforts de rationalisation en matière d'équipements (diversité en juste relation avec la variété requise en production), d'outillages (limitation des changements de réglage nécessaires, maintenance facilitée) et des procédés de fabrication (pour éviter de multiplier inutilement les filières technologiques à maîtriser). Ces efforts de rationalisation sont guidés par différentes démarches, parmi lesquelles on peut citer le QFD (§ II-1.2, page 111), le DFM (§ II-1.3, page 115), le *kaizen* (chapitre I, § I-3.2.1, page 70) et le SMED (chapitre VII, page 511).

On commencera par discuter des origines de la standardisation (§ III-1) avant de proposer une analyse économique de cette standardisation et des pistes d'optimisation de ce problème (§ III-2, page 134).

III-1 Les origines de la standardisation

Des efforts de standardisation sont entrepris dans tous les pays industrialisés dans la première moitié du XIXe siècle. En France, il semblerait que la modélisation de cette rationalisation remonte au milieu du siècle dernier avec les travaux de Renard sur les cordages de la marine de guerre française: la sophistication croissante des navires, dont les gréements sont définis sur mesure, et l'expansion coloniale conduisent à une prolifération rapidement ingérable des stocks de cordages. L'idée suivie est relativement simple. Dans le problème posé, la caractéristique essentielle d'un cordage est la traction maximale Y qu'un cordage de diamètre X peut subir avant rupture. Un test sur des cordages de diamètres différents permet d'établir la [figure 25](#). Il suffit ensuite de découper l'axe des ordonnées en un certain nombre de plages disjointes et d'associer, à toute demande caractérisée par une traction y_k , le diamètre associé à la borne supérieure de la plage de valeurs qui contient y_k (soit, dans l'exemple de la [figure 25](#), pour une spécification de traction limite avant rupture comprise entre y_1 et y_2 , un cordage de diamètre x_2).

FIGURE 25

Analyse de la traction limite avant rupture des cordages par Renard

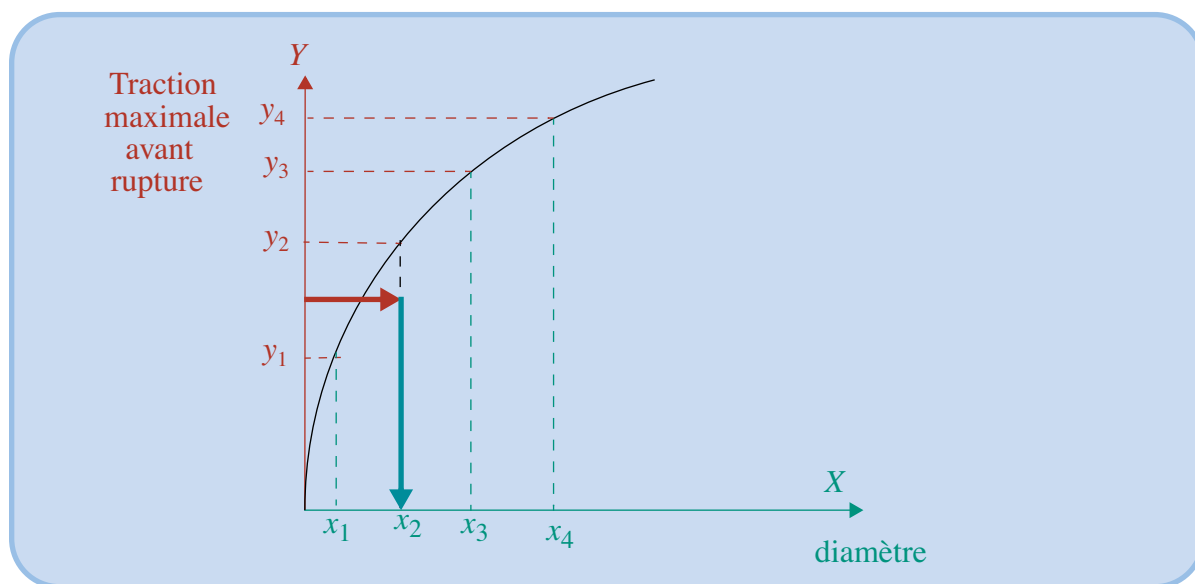


Table des
matières

Index
thématique

Cette approche du problème permet de limiter astucieusement le nombre de références à produire et à gérer, mais le problème qui reste à résoudre est celui de la définition du nombre de plages de valeurs et de leurs définitions. Pour ce faire, des travaux empiriques ont proposé des solutions (et ont donné naissance, en particulier aux «séries Renard» encore utilisées dans l'industrie). Avant de proposer une modélisation économique de ce problème dans une optique de généralisation multicritère, il n'est pas inutile de replacer cette problématique dans celle plus large de la diversité et de son coût, dans un contexte économique qui tente de plus en plus de séduire le client par une production à la commande de bien et de service «sur mesure».

III-2 Vers une optimisation de la standardisation

Après avoir présenté (§ III-2.1) une modélisation générale du problème posé par la programmation linéaire, on examinera (§ III-2.2, [page 140](#)) quelques problèmes méthodologiques posés par cette rationalisation économique, que l'on

fasse ou non appel à la démarche d'optimisation proposée¹. Cette partie du chapitre étant plus difficile d'accès est repérée en marge par une trame foncée.

III-2.1 Présentation du modèle de base

Pour des produits simples et peu onéreux (la visserie, par exemple, ou les cendriers de l'exemple de Nissan cité à la [page 105](#)), une analyse sophistiquée ne s'impose généralement pas dans la mesure où la réduction du nombre de composants assurant une fonction s'impose d'elle-même tant au niveau de la simplification des nomenclatures que de celle des processus productifs et des approvisionnements.

Dans les autres cas, l'approche de Renard est utilisée pour rationaliser la gamme de produits relativement simples, généralement caractérisés par un critère quantitatif unique. Des analyses de Pareto sur la distribution des besoins selon ce critère quantitatif (voir, par exemple, Anderson & Pine, [\[16\]](#), chapitre V) fondent des approches empiriques permettant de définir une gamme de produits, mais la démarche se fonde sur l'intuition et prend difficilement en compte le point de vue économique. En outre, la complexité des produits fait que l'analyse technique peut difficilement être de type monocritère. Une formulation généralisée de ce problème par la programmation linéaire en nombres entiers apporte des éléments de réponse pertinents à ces préoccupations² que l'approche éprouvée des modèles permet facilement de mettre en œuvre (voir [chapitre XVI](#), [page 1134](#)).

La recherche d'une optimisation de la standardisation suppose d'une part que des besoins fonctionnels soient correctement évalués et traduits en spécifications techniques, ce que facilite l'approche QFD (*Quality Function Deployment*, voir [§ II-1.2](#), [page 111](#)), et qu'une réflexion cohérente et pertinente soit conduite sur l'ensemble des solutions que l'on considère comme judicieuses. La détermination du portefeuille de solutions à examiner repose sur une réflexion n'éliminant a priori aucun des modes de personnalisation présentés ci-dessus. L'existant (fabrication interne ou approvisionnement) doit faire partie des alternatives étudiées. Normalement, le résultat de l'optimisation de cette standardisation est non seulement une baisse des coûts de production, mais aussi un accroissement de la flexibilité de l'entreprise qui peut réagir plus rapidement et facilement à des transformations conjoncturelles et structurelles de la demande (voir [chapitre III](#), [§ I-1.5](#), [page 147](#)).

On présentera le modèle en illustrant le raisonnement par un exemple de moteurs. D'un point de vue technique, on est en présence de n variantes possibles d'un produit³, que ces variantes soient effectivement produites ou seulement à l'étude (les produits nouveaux envisagés devant tenir compte des contraintes du système productif existant ou en cours de transformation⁴). Les critères retenus pour définir une variante seront relatifs à des caractéristiques techniques plus ou

1. Cette partie est adaptée de deux communications de Giard (2000, [\[186\]](#) et [\[187\]](#)).

2. Formellement, le problème traité ici combine une transposition d'un modèle d'assignation de clients à des centres de production ([chapitre VIII](#), [§ I-2.2.2](#), [page 552](#)) et la prise en compte de fonctions de coûts non linéaires avec charges fixes variant par palier ([chapitre XVI](#), [§ II-2.3.1](#), [page 1142](#)), à ceci près que la production totale d'une référence est ici la somme de productions demandées par différents segments.

3. Chez Renault, par exemple, l'usine de Cléon fabrique plus de 400 variantes possibles de moteurs.

4. Cette catégorie de préoccupation étant prise en compte dans la littérature du DFA (Design For Assembly); voir sur ce point Nof, Wilhelm & Warnecke (1997, [\[318\]](#), chap. III) et Redford & Chal (1994, [\[357\]](#)).

moins bien perçues par la demande (puissance, pollution, consommation d'essence...), qu'une analyse de type QFD (§ II-1.2, page 111) aide à spécifier, et des caractéristiques sans intérêt pour le client, mais essentielle dans la gestion des interfaces (poids, encombrement, mode de fixation du moteur sur le châssis...). Cette analyse technique est conduite sur un tableau du type du [tableau 5](#), avec une caractérisation précisant le positionnement de chaque moteur au regard des caractéristiques retenues. Dans ce contexte, une caractéristique peut se traduire soit par un ensemble de valeurs numériques (puissance d'un moteur, par exemple), soit par un attribut qualitatif (conformité à une norme de pollution, par exemple). On repérera par l'indice j ces différentes variantes.

TABLEAU 5
Caractéristiques techniques des moteurs étudiés

Moteurs étudiés	Caractéristiques			
	1	2	...	p
1				
2				
j				
n				

Par ailleurs, on suppose que l'analyse de la demande a permis d'identifier m segments, repérés par un indice i et caractérisés par une demande d_i , elle aussi distinguée par un ensemble de caractéristiques permettant une comparaison avec celles retenues pour l'offre. En partant d'une situation existante, on doit normalement avoir $n \leq m$, c'est-à-dire que la variété de l'offre commerciale est inférieure ou égale à la variété de la demande. Pour chacun des critères précédemment identifiés, on définit alors (cf. [tableau 6](#)), selon le type de caractéristiques, une plage de valeurs admissibles (puissance minimale, par exemple) ou une liste d'occurrences acceptables si la caractéristique est qualitative (comme un mode de fixation, par exemple). L'une des difficultés que l'on rencontre alors est celle de la détermination du «juste besoin» correspondant à satisfaire, ce que facilitent des approches de type QFD.

TABLEAU 6
Caractéristiques techniques des moteurs demandés

Moteurs demandés	Caractéristiques				Demande
	1	2	...	p	
1					d_1
2					d_2
i					d_i
m					d_m

La confrontation des tableaux 5 et 6 permet d'établir le [tableau 7](#) dans lequel les coefficients a_{ij} ne peuvent prendre que la valeur 1, si la demande du segment i peut

être satisfaite par le moteur j , ou 0, dans le cas contraire (l'illustration numérique étant parfaitement arbitraire). La réponse à cette question relève d'un dire d'expert et peut, le cas échéant, amener à une révision de certaines caractéristiques de la demande, ce qui n'a rien d'aberrant compte tenu du caractère relativement arbitraire de certaines spécifications.¹

TABLEAU 7

Possibilités de satisfaction de la demande par l'offre (matrice des coefficients a_{ij})

Segments du marché	Variantes de moteurs étudiés						
	1	2	3	...	j	...	n
1	1	0	0	...	0	...	0
2	1	1	0	...	0	...	0
3	1	0	1	...	0	...	0
...
i	0	1	1	...	1	...	0
...
m	0	0	1	...	1	...	1

Il semble réaliste d'imposer que la totalité d'un segment de demande soit satisfaite par une même variante. En conséquence, on définit la variable binaire x_{ij} qui prendra la valeur 1 si la demande du segment i est satisfaite en totalité par un moteur j et 0, dans le cas contraire. Cette information est le résultat d'une consultation d'experts et peut conduire à certaines révisions de spécifications jugées inutilement contraignantes. Il est inutile de créer une variable x_{ij} si le paramètre a_{ij} correspondant est nul². Par ailleurs, si on décide que cette demande peut être couverte par plusieurs variantes, alors la variable x_{ij} peut prendre n'importe quelle valeur comprise entre 0 et 1. Pour forcer la demande du segment i à être satisfaite, on est amené à poser la contrainte de la **relation 1** (qui conduit, dans le cas de variables binaires, à n'avoir qu'une valeur non nulle).

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \text{ pour } i = 1, \dots, m \text{ (satisfaction de la demande)} \quad \text{relation 1}$$

Dans ces conditions, la production y_j de la référence j est alors la somme des productions réalisées pour chaque segment (demande d_i), cette production pouvant être nulle. Cette contrainte est définie par la **relation 2**:

$$y_j = \sum_{i=1}^m d_i \cdot x_{ij}, \text{ pour } j = 1, \dots, n \text{ (production de la référence } j) \quad \text{relation 2}$$

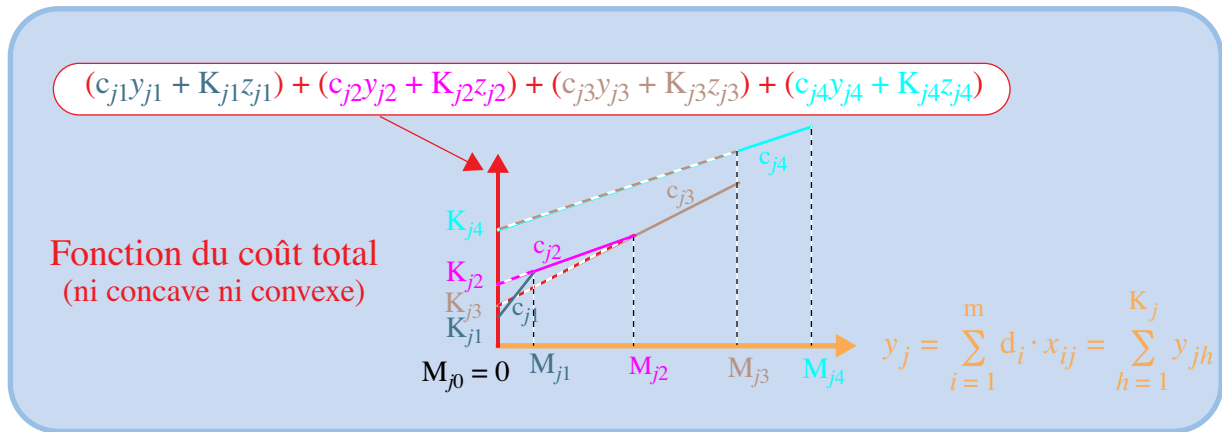
1. Le client n'étant pas unique, on est en présence de distributions de probabilités de spécifications requises, qu'un « porte-parole » du client dans l'entreprise transforme en une valeur unique.

2. Cette particularité, facile à prendre en compte dans la description du problème par un modéleur (voir, **chapitre XVI, § II-1, page 1132**), permet de limiter de manière importante la taille du problème. Cette convention rend

inutile de mettre la **relation 1** sous la forme $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} = 1$.

Pour établir le coût annuel de cette production, il est nécessaire d'introduire des hypothèses explicites sur la forme de la fonction de coût d'une référence. Dans un premier temps, on supposera que les fonctions de coût sont indépendantes. Cette hypothèse restrictive sera levée ultérieurement. On supposera également que l'on est en présence d'une variation de charges fixes annuelles par palier et que, sur chaque palier, le coût variable unitaire peut varier, mais en restant constant sur des plages de valeurs disjointes; ces hypothèses très générales conduisent à une fonction de coût du type de celle décrite dans la figure 26.

FIGURE 26
Fonction de coût de production



On notera que cette fonction de coût total n'est ni concave (ce qui implique que le coût moyen de production ne croisse jamais lorsque x croît) ni convexe (ce qui implique que le coût moyen de production ne décroisse jamais lorsque y_j croît) et que, dans l'exemple retenu, elle permet de prendre en compte des phénomènes de déséconomies d'échelle se produisant à la limite de la saturation. La prise en compte de cette fonction de coût non linéaire dans la fonction-objectif d'un programme linéaire s'effectue sans difficulté, en introduisant autant de productions fictives y_{jk} qu'il y a de plages K_j de valeurs (comprises entre $M_{j, k-1}$ et $M_{j, k}$, la borne supérieure appartenant seule à l'intervalle, avec $M_{j0} = 0$) sur lesquelles le coût variable c_{jk} est constant et qui sont toutes nulles, sauf celle qui inclut la production y_j dans sa plage de valeurs et qui est, bien entendu, égale à cette production ($y_j = y_{jh}$). En nous appuyant sur l'exemple décrit dans la figure 26, la fonction-objectif devient, pour la partie relative au coût de production de y_j :

$$\text{Min } z, \text{ avec } z = (c_{j1}y_{j1} + K_{j1}z_{j1}) + (c_{j2}y_{j2} + K_{j2}z_{j2}) + (c_{j3}y_{j3} + K_{j3}z_{j3}) + (c_{j4}y_{j4} + K_{j4}z_{j4}) + \dots \quad \text{relation 3}$$

avec la série suivante de contraintes, s'ajoutant à celles des relations 1 et 2: la première contrainte¹ permet d'activer au plus l'une des charges fixes de coût ($K_{jk}z_{jk}$), celle pour laquelle $z_k = 1$, étant entendu que si l'on ne produit pas cette référence, tous les z_{jk} sont nuls; les contraintes suivantes forcent à 0 les productions y_{jk} des tranches non retenues, puisque, lorsque $z_{jk} = 0$, les deux bornes sont nulles forçant la production correspondante x_k à être nulle et réciproquement²:

1. Les variables étant non négatives, la première contrainte double se réduit en réalité à $x_1 \leq M_{1y1}$; la formulation retenue a pour seul avantage de permettre la généralisation du raisonnement.

- $z_{j1} + z_{j2} + z_{j3} + z_{j4} \leq 1$
- $0 \leq y_{j1} < M_{j1} z_{j1}$ qui entraîne que $y_j = y_{j1}$ et $y_{j2} = y_{j3} = y_{j4} = 0$ si $z_{j1} = 1$ et $z_{j2} = z_{j3} = z_{j4} = 0$;
- $M_{j1} z_{j2} \leq y_{j2} < M_{j2} z_{j2}$ qui entraîne que $y_j = y_{j2}$ et $y_{j1} = y_{j3} = y_{j4} = 0$ si $z_{j2} = 1$ et $z_{j1} = z_{j3} = z_{j4} = 0$;
- $M_{j2} z_{j3} \leq y_{j3} < M_{j3} z_{j3}$ qui entraîne que $y_j = y_{j3}$ et $y_{j1} = y_{j2} = y_{j4} = 0$ si $z_{j3} = 1$ et $z_{j1} = z_{j2} = z_{j4} = 0$;
- $M_{j3} z_{j4} \leq y_{j4} < M_{j4} z_{j4}$ qui entraîne que $y_j = y_{j4}$ et $y_{j1} = y_{j2} = y_{j3} = 0$ si $z_{j4} = 1$ et $z_{j1} = z_{j2} = z_{j3} = 0$.

La généralisation du raisonnement pour l'ensemble des variantes conduit à la fonction-objectif de la **relation 4** et aux contraintes décrites par les relations 1 à 6 :

$$\text{Min } z, \text{ avec } z = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^{K_j} (c_k y_{jk} + K_{jk} z_{jk}) \right] \quad \text{relation 4}$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} z_{jk} \leq 1, \text{ pour } j = 1 \dots n \quad \text{relation 5}$$

$$M_{j(k-1)} z_{jk} \leq y_{jk} < M_{jk} z_{jk}, \text{ pour } k = 1 \dots K_j \text{ et } j = 1 \dots n, \text{ avec } M_{j0} = 0 \quad \text{relation 6}$$

Cette formulation doit être adaptée pour prendre en compte des effets de synergie positifs ou négatifs liés à la production simultanée de deux ou plusieurs moteurs sur un site de production. Pour ce faire, on dispose de moyens de modélisation pertinents et faciles à mettre en œuvre¹. Examinons quelques cas de figure.

- Supposons que le fait de fabriquer plus de κ variantes se traduise par une augmentation Γ^+ des charges fixes annuelles, il suffit alors de créer la variable binaire γ^+ , d'ajouter à la fonction-objectif le terme $\gamma^+ \Gamma^+$ et d'ajouter aux contraintes la **relation 7** pour forcer γ^+ à prendre la valeur 1 si au moins κ variantes sont mises en production (la fonction-objectif ayant pour effet de tendre à rendre nul γ^+).

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^{K_j} z_{jk} \right] < \kappa + n \gamma^+ \quad \text{relation 7}$$

Cette relation s'adapte sans difficulté à un sous-ensemble de moteurs ou à plusieurs sous-ensembles de moteurs. Dans ce dernier cas, les sous-ensembles peuvent être disjoints, ce que l'on rencontrera en cas d'utilisation d'ensembles de moyens spécialisés techniquement dans la production d'ensembles différents de moteurs. On peut aussi retrouver le même ensemble de moteurs dans plusieurs contraintes de ce type pour obtenir une

2. Si la fonction de coût est concave (fonction de coût total non décroissante), alors la «partie droite» des doubles inéquations est inutile.

1. Voir le **chapitre VIII** et le **chapitre XVI**, § II-2, page 1135.

variation supplémentaire des charges fixes par palier en fonction non pas des quantités totales produites, mais du nombre de références produites.

- Supposons, au contraire, que le fait de fabriquer plus de κ variantes se traduise par une diminution Γ^- des charges fixes annuelles, il suffit alors de créer la variable binaire γ^- , de retrancher à la fonction-objectif le terme $\gamma^- \Gamma^-$ et d'ajouter aux contraintes la **relation 8** pour forcer γ^- à ne prendre la valeur 1 que si au moins κ variantes sont mises en production (la fonction-objectif ayant pour effet de tendre à rendre γ^- égal à 1).

$$\sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^{K_j} z_{jk} \right] > \kappa \gamma^- \quad \text{relation 8}$$

Là encore, cette approche s'adapte sans difficulté à un sous-ensemble de variantes ou à plusieurs sous-ensembles de variantes. En outre, rien n'empêche d'avoir simultanément des effets de synergie positifs ou négatifs sur des ensembles de variantes différents ou non, en généralisation des remarques faites précédemment.

- On peut supposer enfin que certaines charges fixes varient par palier en fonction des quantités produites sur un ensemble de références, indépendamment de la possibilité offerte pour chaque référence d'inclure dans sa fonction de coûts une propre variation de charges fixes par palier. Dans ce cas, le sous-ensemble Ω de moteurs étant concerné par ces variations de charges fixes, il suffit d'adapter la formulation comme suit :
 - créer la variable ω correspondant à la production totale de ce sous-ensemble Ω de moteurs, ce qui conduit à la **relation 9**:

$$\omega = \sum_{j \subseteq \Omega} y_j = \sum_{j \subseteq \Omega} \sum_{i=1}^m d_i \cdot x_{ij} \quad \text{relation 9}$$

- d'ajouter à la fonction-objectif l'incidence de variation de charges fixes $K_{\omega k}$, en suivant la même démarche que celle utilisée pour une référence

$$\sum_{k=1}^{K_{\omega}} K_{\omega k} z_{\omega k}$$

- d'adapter ensuite les relations 2, 5 et 6, ce qui conduit aux relations 10 à 12:

$$\omega \leq \sum_{k=1}^{K_{\omega}} \omega_k \quad \text{relation 10}$$

$$\sum_{k=1}^{K_{\omega}} z_{\omega k} \leq 1 \quad \text{relation 11}$$

$$M_{\omega k-1} z_{\omega k} \leq \omega_k < M_{\omega k} z_{\omega k}, \text{ pour } k = 1 \dots K_{\omega}, \text{ avec } M_{\omega 0} = 0 \quad \text{relation 12}$$

III-2.2 Utilisation de cette approche optimisatrice

La pertinence de cette modélisation reste tout autant tributaire de l'usage qui en est fait pour décrire des scénarios alternatifs que des coûts utilisés dans la fonction économique.

Sur le premier point, il est évident que l'on travaille avec un niveau de détail trop grossier pour pouvoir prétendre représenter correctement les processus effectivement utilisés, la demande effective qui s'adresse au système productif, avec ses fluctuations saisonnières et aléatoires, ou la robustesse du système productif aux aléas. Cette critique peut être formulée pour la plupart des éclairages apportés à la prise de décisions stratégiques : ce qui importe, c'est la pertinence de l'ordre de grandeur des données en volume ou en valeur obtenu. Ceci nous ramène aux problèmes de valorisation.

Les principaux problèmes méthodologiques rencontrés dans l'utilisation de cette approche optimisatrice tournent autour du temps ou, plus exactement, de la prise en compte correcte de l'interdépendance temporelle des décisions à travers le système de coûts utilisé en comptabilité de gestion.

Dans le cas, peu fréquent, où les alternatives étudiées concernent une production nouvelle à partir d'équipements nouveaux, il est facilement envisageable d'utiliser une version dynamique du modèle proposé, étant entendu que la décision de satisfaire un segment de demande par un moteur donné est prise pour l'ensemble des périodes¹ ; d'autres hypothèses sont utilisables, mais semblent plus difficiles à justifier. La séparation entre charges fixes et charges variables permet d'isoler les investissements effectués au démarrage (et donc d'éviter le problème de la détermination de l'amortissement), des charges fixes directes (personnel en particulier) qui peuvent varier par palier en fonction des quantités produites et des charges variables directes (matières, etc.). Ces informations utilisées dans la fonction économique étant datées², il faut envisager de faire appel à l'actualisation pour pondérer correctement des flux financiers sécrétés à des périodes différentes. Dans l'application de cette approche on retrouve les problèmes classiquement posés dans la comparaison d'alternatives d'investissement et, en particulier, celui de la détermination du taux d'actualisation de référence et celui posé par la comparaison de solutions ayant des durées de vie différentes.

Plusieurs problèmes méthodologiques se posent lorsque le problème concerne un ensemble existant de références faisant l'objet d'un approvisionnement externe ou d'une production interne dans un système productif susceptible de n'être modifié qu'à la marge.

- Certains composants-clés, d'une certaine complexité, sont conçus pour être utilisés par de nombreux produits finis dont certains n'existent pas encore ; dans l'industrie automobile, on parle de projets « organes ». Le prix de cession de tels composants pose de redoutables problèmes méthodologiques³. Une décision de standardisation qui remet sensiblement en cause les hypothèses économiques qui ont présidé au lancement de tels composants doit s'appuyer sur une fonction de coût qui garantit la cohérence

1. Ce qui se traduit par le maintien en l'état de la [relation 1](#) et l'adaptation suivante de la [relation 2](#) qui devient :

$$y_{jt} = \sum_{i=1}^m d_{it} \cdot x_{ij}, \text{ les relations 4 à 6 étant modifiées par l'adjonction de l'indice de période, la relation 4 devant en}$$

outre intégrer des coefficients d'actualisation.

2. Ce qui permet, avec un découpage temporel approprié, de prendre en compte d'éventuels effets d'apprentissage sur les coûts récurrents, avec des valeurs que l'on peut raisonnablement considérer comme stables sur chaque plage de temps.

3. Pour une présentation plus complète des problèmes liés au pilotage économique de produits sur leurs cycles de vie, voir Gautier et Giard (2000, [167]).

des décisions au cours du temps et entre décisions stratégiques et tactiques (voir § II-2.4.1, page 124).

- Dans cet ordre d'idées et plus généralement, la décision d'arrêt de la production d'une référence (ou d'un groupe de références) peut conduire à supporter un coût de «désengagement». Cet impact peut facilement être pris en compte par la fonction-objectif¹.
- Les coûts standards existants ne sont pertinents que sur une certaine plage de quantités produites ou approvisionnées: avant toute application de la méthode, il convient de pousser des investigations pour reconstituer la fonction de coûts et, dans le cas d'approvisionnement, de procéder à une consultation préalable des fournisseurs, sur la base de scénarios volumétriques pouvant s'écarter sensiblement de la solution actuelle.
- Le problème de standardisation peut se poser dans le cadre d'une nomenclature à étages. Les décisions prises à un niveau détaillé reposent alors sur des hypothèses de demande directes et de demandes provenant, selon des mécanismes de type MRP, d'autres références faisant elles-mêmes l'objet d'une optimisation de standardisation. Une analyse indépendante de ces différents problèmes conduit à faire dépendre le problème de la standardisation de composants élémentaires d'hypothétiques demandes de composants agrégés et à faire dépendre le problème de la standardisation de composants agrégés, d'hypothétiques coûts de composants élémentaires. Une convergence vers un ensemble de solutions cohérentes peut être assurée empiriquement au prix d'un certain nombre d'itérations, mais on peut aussi préférer adapter ce modèle pour tenir compte de nomenclatures liant les références², ce qui peut conduire à un modèle de trop grande dimension.
- La création de composants nouveaux induit des coûts de gestion liés à l'accroissement de la diversité qui sont difficiles à évaluer. Dans les calculs économiques faits en phase de conception, certaines entreprises comme Intel ou Renault appliquent des taux de charge différents aux composants nouveaux et aux composants existants réutilisés. Cette incitation à réduire la diversité est judicieuse, mais doit être utilisée avec circonspection dans une remise à plat effectuée dans le cadre de l'approche proposée ici.

1. *Note de la page précédente.* En utilisant les notations de la relation 5 de la page 139, pour une charge Φ , il suffit

d'ajouter dans la fonction-objectif le terme $\left\{1 - \sum_{k=1}^{K_j} z_{jk}\right\} \Phi$. Sachant que $\sum_{k=1}^{K_j} z_{jk} = 1$ si la référence j est produite, la charge Φ ne sera pas supportée dans ce seul cas. La généralisation à un ensemble Ψ de ψ références est immédiate $\{1-t\}\Phi$, avec $\sum_{j \in \Psi} \sum_{k=1}^{K_j} z_{jk} - \psi < t$.

2. Il suffit de remplacer la relation 2 de la page 137 ($y_j = \sum_{i=1}^m d_i \cdot x_{ij}$) qui définit la production y_j , comme égale à la somme des demandes d_i qui lui sont affectées par les variables binaires x_{ij} , par la relation suivante:

$y_j = \sum_{i=1}^m d_i \cdot x_{ij} + \sum_{h=1}^m a_{hj} \cdot y_h \cdot x_{hj}$, où la référence h est liée à la référence j par le fait que sa production de 1 unité de la référence h requiert a_{hj} unité de la référence j . (cette référence h étant, à son tour, liée à des demandes finales par la relation 2).