

CONCEPTION DE SYSTEMES PROGRAMMABLES

J.-D. Decotignie

INTRODUCTION

(Le texte de l'introduction est repris du chapitre 2 de
H. Nussbaumer, "Traitement de Projet", cours EPFL, 1981)

Nous nous intéresserons ici au développement d'un produit nouveau destiné à être vendu à de nombreux utilisateurs. Ce produit peut être une machine, un produit programme ou un système combinant du logiciel et du matériel pouvant comporter plusieurs machines.

1 VIE D'UN PRODUIT

Le développement d'un produit nouveau met en jeu un très grand nombre d'activités qui sont généralement regroupées en un projet unique placé sous la responsabilité d'un chef de projet. La vie d'un produit peut être résumée par la figure 1.

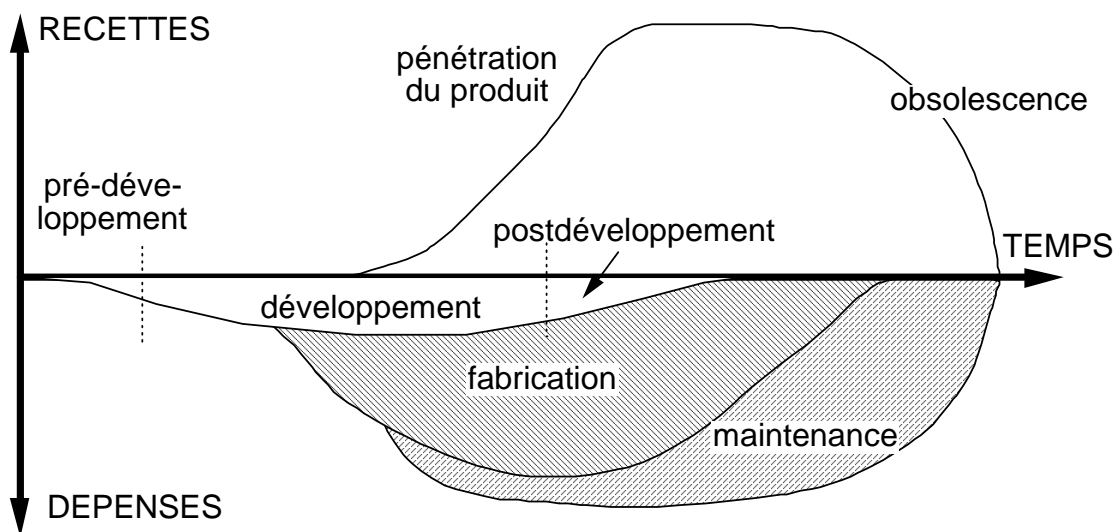


Figure 1 Représentation schématique de la vie d'un produit.

La vie d'un produit débute par une phase de développement qui correspond à la conception d'un produit en fonction d'un cahier des charges. Cette phase se traduit essentiellement par la réalisation et la qualification d'un ou plusieurs prototypes ainsi que par la rédaction d'un dossier de fabrication. Le développement est lui-même divisé en plusieurs phases que nous précisons ultérieurement et qui correspondent en fait à trois étapes principales :

- **Prédéveloppement.** Cette étape coïncide avec la naissance du produit dont le développement est en général décidé à la suite de considérations telles que les besoins du marché, le progrès technologique, les limites de la ligne de produits existants, la concurrence ou la nécessité d'une diversification. Le pré-développement est une phase de conception grossière du produit qui comporte des travaux de recherche appliquée destinée à lever les incertitudes technologiques, et des études de marché permettant de

préciser les fonctions que le produit devra assurer et les performances qu'il devra atteindre. L'étape de prédéveloppement est une phase exploratoire mettant en œuvre des moyens limités et dont le but est de fournir des éléments objectifs permettant d'engager les dépenses de développement. Le produit nouveau peut être évolutif ou révolutionnaire. Dans le premier cas, une partie des équipements de fabrication peut être réutilisée, le développement s'appuie sur l'expérience acquise au cours des études précédentes et l'utilisateur peut mettre en œuvre le produit plus facilement. Par contre, le produit ne peut pas incorporer tous les progrès technologiques, ce qui risque de le rendre moins compétitif et de diminuer sa durée de vie sur le marché. Un produit révolutionnaire présente des avantages et des inconvénients inverses de ceux d'un produit évolutif. Son développement conduit à des dépenses en général importantes et à un grand nombre d'aléas au plan technique et au plan de la pénétration sur le marché. Le choix entre un produit évolutif et un produit révolutionnaire est donc très délicat, mais il doit en général pencher en faveur du produit révolutionnaire lorsqu'un progrès technologique important vient d'être réalisé.

- **Développement.** Le développement proprement dit peut être considéré comme un processus itératif au cours duquel l'équipe conçoit les prototypes et les dossiers de fabrication du produit ainsi que la documentation destinée à l'exploitation et à la maintenance. L'objectif principal de l'étape de développement est d'aboutir à l'annonce du produit en clientèle et sa mise en fabrication.
- **Postdéveloppement.** Cette étape correspond à une phase de correction des défauts du produit, à une réduction des coûts de fabrication et de maintenance, et éventuellement à une amélioration des performances en vue de prolonger la vie du produit sur le marché.

Le développement est suivi, avec un certain recouvrement, par la fabrication et la maintenance. L'ensemble de ces trois postes correspond à la partie principale des dépenses engagées pour le produit, le reste se partageant essentiellement entre les frais de vente et les frais généraux. Les recettes sont constituées par les ventes du produit et naissent au fur et à mesure de la pénétration du produit sur le marché.

Au bout d'un certain temps, le produit se périmé et les recettes diminuent pour tendre finalement vers zéro. Les courbes de la figure 1 indiquent l'allure générale de l'évolution des dépenses et des recettes au cours de la vie d'un produit. Ces courbes appellent plusieurs remarques. Le premier point concerne les frais de fabrication et de maintenance. Ces coûts sont directement liés au nombre de produits fabriqués alors que les coûts de développement sont au contraire indépendants du nombre de produits. L'effort de développement doit donc être proportionné au nombre de produits fabriqués. Un second point important concerne l'importance relative des coûts de maintenance encourus sur toute la durée de vie d'une machine qui sont du même ordre de grandeur que les coûts de fabrication. Il faut donc, au cours du développement, fournir un effort de réduction des coûts de maintenance (amélioration de la fiabilité) qui soit comparable à l'effort de réduction des coûts de fabrication.

Il faut également remarquer que les dépenses de développement ne représentent qu'une faible partie des dépenses totales correspondant au produit (de l'ordre de 10%), mais qu'elles engagent tout l'avenir du produit. Ceci est particulièrement vrai au début du développement et montre toute l'importance des estimations et des choix effectués dans cette étape de la vie du produit. Dans la pratique, cela veut dire également qu'il vaut mieux arrêter très tôt un projet mal engagé plutôt que d'en poursuivre le développement dans des conditions aléatoires. L'étape de développement, et particulièrement son début, doit donc faire l'objet de contrôles très sérieux.

Une autre considération importante concerne le facteur temps. Les dépenses consacrées au développement et à la fabrication ne commencent à être compensées par des recettes que lorsque les produits sortant de fabrication sont livrés en clientèle. Il est donc capital pour l'équilibre

financier du produit que les phases de développement et de mise en fabrication soient réduite au minimum et que les délais initialement estimés soient respectés.

Notons enfin que les produits logiciels occupent une place à part. En effet, dans ce cas, la phase de fabrication est presque inexistante, puisqu'elle se réduit à une simple copie (bande, disque, carte) du programme et à l'impression de la documentation. L'importance relative du développement est donc beaucoup plus grande que pour un produit matériel. De plus, l'incidence des progrès technologiques est nettement plus faible sur le logiciel que sur le matériel. De ce fait, la durée de vie des produits logiciels est en général plus longue que celle des produits matériels et il n'est pas rare de voir les mêmes logiciels utilisés avec plusieurs générations successives de machines. Ceci impose certaines contraintes sur ces dernières qui doivent être conçues pour permettre la réutilisation de programmes existants afin de préserver les investissements réalisés par le constructeur et les utilisateurs pour le développement de ces programmes.

2 L'ÉQUIPE DE DÉVELOPPEMENT

2.1 Environnement

Le développement d'un produit ne se limite pas à des études techniques; il met en jeu des groupes divers dont l'action doit être coordonnée par un **chef de projet**. Les principaux groupes sont les suivants :

- études techniques : circuits, logiques, mécanique, programmation...
- définition des produits : objectifs et spécifications fonctionnels
- études de marchés : prévisions de ventes
- études financières : études de rentabilité
- dossier de fabrication
- analyse des coûts de fabrication
- rédaction technique : documentation technique, de maintenance de vente
- étude de fiabilité : stratégie de maintenance, coûts de maintenance, outils de maintenance
- éducation
- service juridique
- propriété industrielle
- standards
- test, contrôle de qualité.

Le succès du projet dépend dans une très large mesure d'une coopération efficace entre ces différents groupes, bien que leur objectifs soient parfois partiellement contradictoires. Cette coopération s'exerce dans le cadre d'une organisation dont nous verrons ici deux cas extrêmes.

2.2 Formes d'organisation

L'organisation peut prendre deux formes principales : **L'organisation par projet** et **l'organisation par département**. Dans ce dernier cas, le personnel et les moyens sont regroupés par départements spécialisés dans un produit ou un type de produit (figure 2).

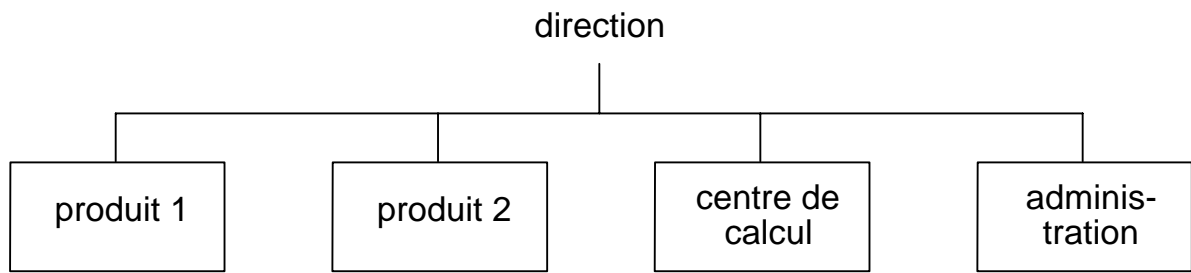


Figure 2 Organisation par département

Les départements sont relativement autonomes. L'organisation est complétée par des services de support où se trouvent concentrées les activités nécessitant de gros moyens ou qui sont communes à l'ensemble de l'établissement (centre de calcul, administration). Cette organisation présente l'avantage de donner au chef de projet le contrôle direct de la plupart des ressources dont il a besoin. De plus, l'équipe tend à être très motivée car les différents groupes s'identifient au projet au lieu de se contenter de fournir un service dont la finalité est mal perçue. Par contre, cette organisation tend à limiter les communications entre départements, ce qui conduit en particulier à une répartition inégale des ressources et à de grandes difficultés pour étaler les pointes de travail. En outre, cette organisation réduit les échanges techniques entre départements et tend à séparer les spécialistes de chaque discipline, ce qui peut conduire à terme à une mauvaise vitalité technique. Enfin, les problèmes potentiellement graves risquent de n'apparaître à l'extérieur du département que lorsqu'il est trop tard pour les corriger facilement.

Avec l'**organisation par projet**, l'équipe se réduit à un noyau comprenant par exemple le chef de projet, le service de plans et contrôle du projet, la conception logique et l'architecture (figure 3).

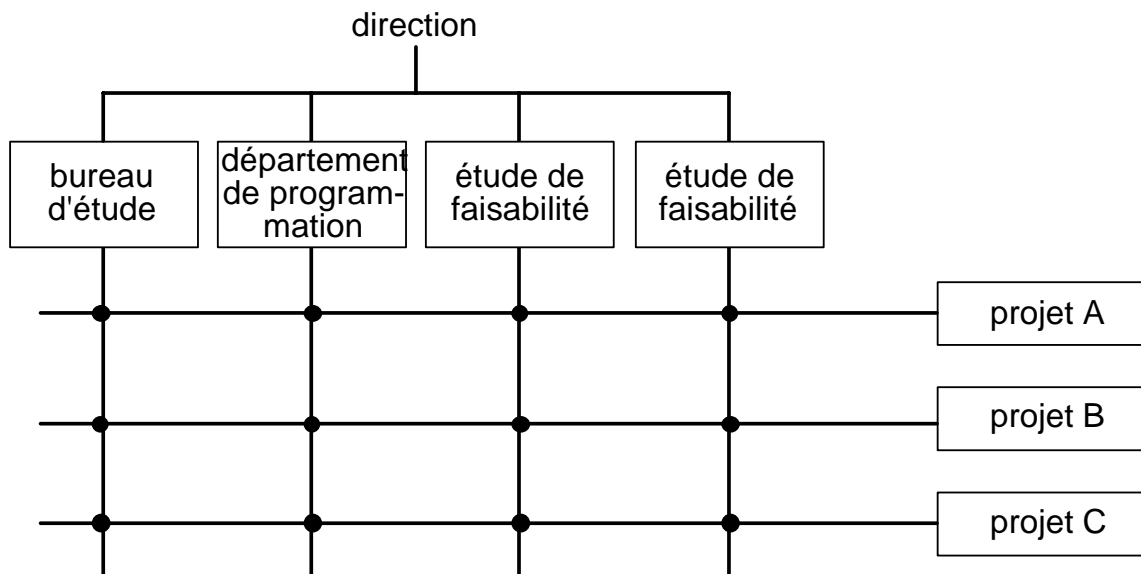


Figure 3 Organisation par projet

Au fur et à mesure de ses besoins, l'équipe de projet fait appel à des services spécialisés tels que le bureau d'études, le service d'étude de circuits ou le département de programmation.

Les avantages et les inconvénients de ce type d'organisation sont inverses de ceux de l'organisation par département. Le regroupement des spécialistes dans des services spécifiques permet d'assurer un meilleur entretien des connaissances et une meilleure qualification professionnelle. Les ressources sont mieux réparties et les pointes de travail ont des chances d'être mieux absorbées à condition qu'elles ne se produisent pas simultanément dans les différents projets. De plus, le rattachement hiérarchique séparé des chefs de projets et des chefs des services ou des départements permet à la direction d'exercer un contrôle plus efficace et d'être alertée plus rapidement en cas de problème grave. Par contre, il faut noter que le chef de

projet doit consacrer une partie importante de son temps à négocier la mise à disposition des ressources et que la motivation du personnel des services spécialisés est limitée.

En pratique, il n'existe pas de solution parfaite et l'organisation doit être prévue en fonction des hommes et des besoins. Pour éviter une certaine sclérose, il est bon que cette organisation évolue dans le temps.

3 LES PHASES DU DÉVELOPPEMENT

Pour faciliter le contrôle du projet, celui-ci doit être divisé en phases distinctes étagées dans le temps et correspondant chacune à une étape clairement définie de l'avancement du projet. Le passage d'une phase à la suivante doit se faire après une revue complète du projet, la **revue de fin de phase**, afin de vérifier si le projet se déroule conformément du plan et afin de s'assurer que les dépenses qui seront engagées à la phase suivante sont bien justifiées. Nous distinguerons ici six phases :

1) *Définition du produit*

L'objectif de cette phase est de démontrer la faisabilité du produit et d'obtenir le déblocage d'un budget de développement.

Les principales activités pendant cette phase sont les suivantes :

- détermination des objectifs fonctionnels et des objectifs de performance
- études d'architecture
- préparation du plan de développement : équipement, personnel, budget, calendrier
- première estimation des coûts de fabrication et de maintenance.

2) *Conception*

Cette phase correspond à la conception de base du produit. La fin de cette phase doit se concrétiser par le déblocage du budget total de développement et le début de la mise en place de la collaboration avec les services de ventes et de fabrication.

Les activités principales liées à cette phase sont les suivantes :

- conception du produit, construction et test de modèles (matériel et logiciel)
- remise à jour du plan de développement
- définition des spécifications fonctionnelles et de performances
- plan de test
- remise à jour des prévisions de vente et de prix de revient
- études financières

3) *Implantation*

A la fin de cette phase, le produit et sa documentation doivent passer avec succès le test de faisabilité. Le produit est annoncé à la clientèle.

Cette phase mobilise des ressources importantes et se traduit par des activités variées :

- implantation détaillée du produit, construction des modèles de test
- finalisation des spécifications fonctionnelles
- remise à jour des spécifications de maintenance
- test et qualification du produit et du dossier
- remise à jour des prévisions de vente et de coûts
- études financières
- préparation du dossier d'annonce, manuels...

4) *Préproduction*

La fin de cette phase doit se traduire par la mise en fabrication du produit.

Activités :

- finalisation de l'implantation
- transmission aux usines du dossier de fabrication
- construction et test (dans les usines) des modèles de préproduction
- finalisation des spécifications de performances
- développement des outils et des documents de maintenance
- études de coûts et études financières
- révision du plan.

5) *Production*

Cette phase se termine par la livraison de la première machine au client.

Activités :

- changements techniques sur la machine en fonction des résultats de test
- finalisation du dossier de maintenance
- test complet sur les premières machines de production
- remise à jour des estimations de coûts et de marché
- études financières
- révision du plan.

6 *Qualification*

A la fin de cette phase, le produit doit atteindre ses objectifs fonctionnels, de coût et de fiabilité.

Activités :

- changements techniques : réduction des coûts de maintenance et de fabrication, correction des défauts, amélioration des performances
- installation et maintenance du produit par les équipes spécialisées
- mise à jour de la documentation
- collection des statistiques de fonctionnement
- gestion du stock de produits
- revue périodique du projet.

3.1 **Processus itératif de développement**

Les différents éléments qui servent à évaluer un produit, tels que le prix de vente, les prévisions de vente ou les coûts de fabrication, dépendent étroitement les uns des autres. Par exemple, les quantités qui seront vendues dépendent du prix de vente qui est lui-même fonction du coût de fabrication qui est lié à son tour aux quantités vendues. Il est donc impossible d'arriver en une seule étape à définir convenablement ces différents paramètres. De ce fait, chaque phase de développement correspond à un ou plusieurs cycles d'une estimation itérative des principaux paramètres caractérisant le produit : quantités (prévisions de ventes), prix, coûts de développement, coûts de maintenance, prix de vente, spécification (figure 4)

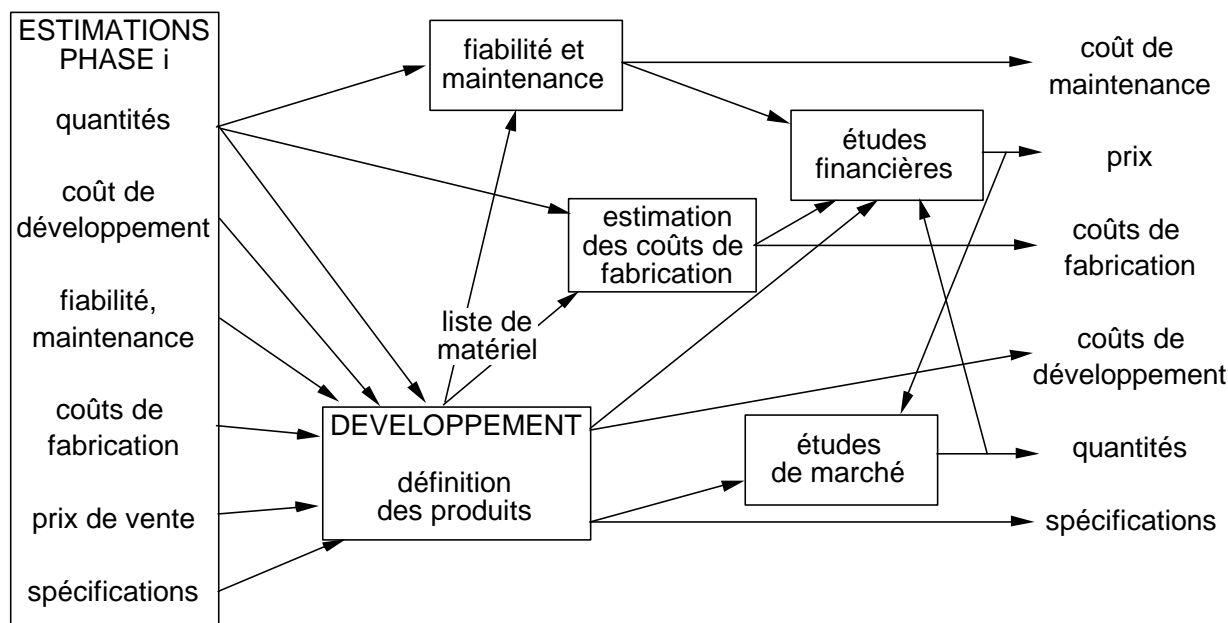


Figure 4 Développement itératif

A chaque cycle, les estimations sont affinées et la marge d'erreur est réduite. Les paramètres déterminés au cours du cycle i servent de données et d'entrée au cycle $i+1$. Un circuit d'approbation des différents documents permet de s'assurer à chaque itération que les différentes fonctions concernées ont donné leur avis sur le projet d'une façon explicite.

3.2 Revue de fin de phase

La fin de chaque phase de développement doit être marquée par une revue formelle de l'ensemble du projet. La revue doit fournir à la direction toutes les informations nécessaires pour lui permettre de prendre une décision motivée quant à la suite à donner au projet. En outre, le passage d'une phase à la suivante doit être subordonné à un accord des différentes parties concernées. Les principaux objectifs de la revue sont les suivants :

- identification précoce des problèmes potentiels
- évaluation de l'impact commercial
- définition de plans d'action pour résoudre les problèmes et limiter les risques
- engagement des différentes fonctions concernant les objectifs du plan
- décision de poursuivre le projet, de le modifier ou de l'arrêter.

Le contenu de la revue peut varier en fonction de la phase de développement, de la nature du projet et de l'environnement. D'une manière générale, une revue doit prendre en compte les éléments suivants :

- évolution technique du projet
- identification des composants qui posent un problème de production
- état du calendrier réel en fonction du calendrier prévu
- situation de la concurrence
- besoins en ressources pour atteindre les objectifs de la phase suivante
- propositions concernant les fournisseurs et les usines de fabrication
- état des études de fiabilité, de disponibilité et de maintenance
- implications juridiques et commerciales
- situation propriété industrielle (brevets)

- état de l'ensemble du projet.

4 DOCUMENTATION DU PROJET

Comme nous l'avons indiqué précédemment, toutes les informations concernant le projet doivent être explicitées afin d'éviter les incompréhensions ou les erreurs et afin de permettre une réévaluation périodique des hypothèses initiales. La forme et la nature des documents utilisés peuvent varier considérablement en fonction du type de projet et des conditions dans lesquelles il est développé. Nous donnerons ici une liste type des documents de projet ainsi qu'une description plus détaillée des documents de développement. Les problèmes liés à la représentation du matériel et du logiciel ainsi que ceux ayant trait à la gestion interne du projet seront abordés aux chapitres suivants.

4.1 Les différents types de documents

Les différents types de documents peuvent être classés en quatre catégories :

1) Documentation de développement du projet

- besoins du marché
- objectifs et spécifications de performances
- objectifs et spécifications fonctionnels
- plan de test
- hypothèses et prévisions de ventes
- estimation de coût
- plan et calendrier de développement.

2) Documentation interne de gestion du projet

- objectifs professionnels, mandats de travail
- comptes-rendus d'exécution
- plan d'emploi du personnel
- plan budgétaire
- diagramme d'avancement des travaux/suivi du projet
- réunions de projet, comptes-rendus de réunions de projet.

3) Documentation de système

- dossier de fabrication, plans, listes de matériel
- manuel du système
- manuel des unités du système
- manuel d'utilisation
- manuel de l'opérateur
- manuel de maintenance
- manuel d'installation
- cours.

4) Documentation commerciale

4.2 Objectifs et spécifications de performances

Les objectifs et les spécifications de performances définissent les performances du produit en ce qui concerne la fiabilité et la maintenance (reliability and serviceability, RAS). Les objectifs correspondent à la phase initiale du développement et représente la réponse par l'équipe de développement aux besoins du marché. Ces objectifs constituent le but à atteindre par le développement. Les spécifications correspondent aux phases finales du développement et constituent un but à atteindre pour que le produit soit satisfaisant pour l'ensemble des parties concernées.

Les objectifs et spécifications de performances peuvent contenir les éléments suivants :

1) Performances du produit

- nombre d'interruptions non planifiées (par mois)
- temps moyen de réparation (heures)
- maintenance non planifiée : nombre maximum d'heures d'arrêt non planifié du système (par mois) pour x% de parc machines
- maintenance planifiée : nombre moyen d'heures par mois d'arrêt planifié
- niveau d'acceptation, pourcentage du parc machines atteignant les objectifs de performances x mois après le début des livraisons.

2) Personnel de maintenance

Nombre moyen d'hommes-heures/mois par machine pour la maintenance.

3) Configuration de test

Description de la ou des configurations de test représentatives des systèmes installés.

4) Utilisation estimée (par mois)

- machines
 - nombre moyen d'heures par mois sous tension
 - nombre moyen d'heures par mois correspondant à l'exécution d'un travail
- composants d'un système
 - mêmes données
- systèmes
 - mêmes données plus l'utilisation relative des différents composants par le système.

5) Conditions particulières de fonctionnement, de service

Par exemple, intervention de l'utilisateur.

6) Systèmes utilisateurs du produit

Liste des systèmes.

7) Fréquence maximum des erreurs intermittentes

- erreurs détectées
- erreurs non détectées.

4.3 Objectifs et spécifications fonctionnels

La distinction entre objectifs et spécifications est la même que pour les performances. Les objectifs et spécifications fonctionnels décrivent le système et les fonctions exécutées. Ils constituent, avec les objectifs et les spécifications de performances, les documents de base du produit au niveau du développement. Ils peuvent comprendre les éléments suivants dans le cas d'un matériel informatique :

1) Introduction

- identification des responsables, date, lieu
- identification du produit
- caractéristiques de base.

2) Description générale

- description du produit
- systèmes utilisateurs
- composants du système
- unités d'entrée-sortie
- divers.

3) *Description détaillée*

- description fonctionnelle d'ensemble
- description fonctionnelle de chaque unité
- relations entre les différentes unités
- techniques nouvelles ou particulières
- compatibilité avec d'autres produits
- facteurs humains
- durée de vie physique.

4) *Caractéristiques détaillées de fonctionnement*

- jeu d'instructions
- détection d'erreurs
- temps d'exécution des instructions
- temps d'accès
- capacité de traitement
- contrôles internes, externes.

5) *Options*

- liste des options avec leurs dates d'annonce
- liste des options requises par pays, par marché
- description des différentes options
- applications.

6) *Caractéristiques physiques*

- environnement
- taille, poids
- câblage
- alimentation extérieure : tension, consommation, 50-60 Hz
- température, humidité, ...
- problèmes de transport
- problèmes d'installation.

7) *Esthétique industrielle*

- forme
- modularité, couleurs, aspect, compatibilité
- facteurs humains
- disposition des consoles
- accès aux commandes internes.

Les objectifs et spécifications de logiciel sont assez différents du document équivalent correspondant au matériel et peuvent par exemple contenir les éléments suivants :

- configurations, liste des configurations de systèmes et d'entrée-sortie compatibles avec les programmes
- modularité, compatibilité
- aspect marketing
- description fonctionnelle
- spécifications de performance
- besoins mémoire, protection mémoire
- instructions et sous-routines
- routines
- facilités de maintenance
- procédures d'erreur

- utilisation d'un moniteur
- calendrier.

4.4 Prévisions de ventes

Le document précisant les prévisions de ventes sert à établir le plan de charge des usines, la durée moyenne de vie du produit chez le client, le prix de vente et les estimations du stock de produits installés. Ce document doit comporter les prévisions de **ventes brutes** (matériels vendus), ventilées par mois ou par année selon le degré d'avancement du projet. Dans le cas où les produits sont loués, il faut inclure également une prévision de **ventes nettes** indiquant la différence entre les produits vendus et les produits rendus par les clients.

Les prévisions de ventes sont établies à partir d'un document d'**hypothèses de prévisions de ventes** définissant le produit, son marché et l'environnement économique pendant la vie du produit. Les hypothèses doivent être explicitées, même si elles sont très incertaines, afin de permettre une modification ordonnée des prévisions de ventes en fonction de l'évolution du produit et des conditions extérieures. Ce document peut comporter les éléments suivants :

- résumé du plan
- définition du produit :
 - matériel
 - logiciel
 - architecture système
- rapport prix/performance
- fiabilité et maintenance
- plan de marketing
- concurrence
- hypothèses commerciales : effort de vente, ventes liées à d'autres produits
- contraintes de fabrication
- environnement économique.

5 FONCTIONS DE SUPPORT DU DÉVELOPPEMENT

Nous avons vu ci-dessus que le développement d'un produit mettait en œuvre un grand nombre de fonctions de support autres que la conception technique d'une machine ou d'un programme. Afin d'illustrer les fonctions de support, nous en décrivons ici trois qui jouent un rôle capital : la définition des produits, les études de maintenance et de fiabilité et le contrôle de qualité.

5.1 Définition des produits, études de marchés, études financières (Product planning)

Cette fonction, qui peut correspondre à plusieurs services dans le cas d'un projet important, est généralement rattachée directement au chef de projet car elle joue un rôle stratégique essentiel. Les activités principales concernant différents travaux de planification tels que le suivi du plan de développement, l'interaction avec d'autres fonctions telles que les ventes, le marketing ou les services financiers ainsi que la rédaction des objectifs et spécifications fonctionnels. D'une manière générale, les services de planifications servent de point focal au projet, en particulier pour les revues périodiques du projet. Ils doivent avoir une vue globale du projet sous tous ses aspects et proposer des options nouvelles sur le produit, une extension des produits existants ou des produits nouveaux en fonction de leur connaissance du marché, du produit, des contraintes techniques et de ressources, ainsi que des possibilités technologiques nouvelles.

5.2 Études de maintenance et de fiabilité (Reliability and Serviceability, RAS)

Les coûts de maintenance pendant toute la durée de vie d'un produit sont souvent du même ordre de grandeur que les coûts de fabrication. De plus, l'appréciation portée par l'utilisateur sur le produit dépend pour une grande part de la disponibilité du système et de la qualité de la maintenance.

Les études de maintenance et de fiabilité ont donc une très grande importance. Elles peuvent être divisées en deux parties principales, l'évaluation des coûts de maintenance et l'optimisation du projet sous l'angle de la fiabilité et de la maintenance.

L'évaluation des coûts de maintenance est une opération qui peut être largement mécanisée et qui consiste à partir d'un certain niveau de conception du produit pour évaluer les paramètres définissant la fiabilité, par exemple le temps moyen entre pannes, le temps de réparation, les dépenses de personnel ou le coût des pièces. Ces différents éléments permettent ensuite de déterminer les coûts de maintenance.

L'optimisation du projet est une activité qui se poursuit de façon permanente pendant toute la durée de vie du projet et qui consiste à rechercher une réduction des coûts de maintenance et une augmentation de la disponibilité du produit par différentes méthodes qui peuvent être par exemple les suivantes :

- systèmes de diagnostic et de télédiagnostic
- découpage optimum du produit en sous-ensembles remplaçables (optimisation de la somme coût du bloc + coût de l'intervention)
- stratégie de stockage des pièces détachées
- rodage en usine des composants du système (burn in)
- système de collecte et d'analyse des défauts.

Certains choix peuvent avoir une incidence très importante sur la maintenance ou la disponibilité du produit. Par exemple, la décision de dépanner les matériels chez le client au lieu de le faire en usine ne peut améliorer considérablement la disponibilité du produit qu'au prix d'un accroissement important des coûts de maintenance. Il est très important de prévoir des cours et des manuels bien étudiés pour l'éducation des utilisateurs et des équipes de maintenance. En effet, une partie non négligeable des appels de maintenance est due à une mauvaise utilisation du produit, et les temps de dépannage dépendent de la qualification du personnel de maintenance.

5.3 Test et contrôle de qualité

Afin d'avoir un jugement impartial, la fonction de test et de contrôle de qualité doit être une entité indépendante du projet et travaillant pour le compte de la direction. Cette fonction doit s'assurer par des essais et des études que le produit, y compris la documentation et le dossier de fabrication, est conforme à ses spécifications et aux engagements vis-à-vis de l'extérieur. Le service de test et de contrôle de qualité ne définit ni les spécifications, ni les objectifs de qualité. Ceux-ci sont du ressort du développement.

Le contrôle de qualité peut intervenir de deux façons différentes : par des essais formels et par des contrôles de routine. Les essais formels ont lieu normalement avant les revues de fin de phase et se traduisent par une liste de problèmes que l'équipe de développement s'efforce de corriger. La fin de l'essai se concrétise par un rapport final qui décrit le test effectué, les différents problèmes détectés et la solution à ces problèmes apportée par le développement. Le rapport comprend également un jugement d'ensemble du produit et de son dossier.

La tendance actuelle en matière de contrôle de qualité consiste à suivre le projet en permanence plutôt que de se contenter d'essais formels relativement espacés dans le temps. Dans ce cas, le principe général qui est appliqué est le suivant : **"La qualité fait partie intégrante de la conception de base du produit"**. Dans cet esprit, le chef de projet établit en début de projet un plan de test qui doit être approuvé par le contrôle de qualité. Ce plan est remis à jour

périodiquement et couvre l'ensemble du produit et des fonctions concernées par le produit (système, matériel, logiciel, documentation...), avec les objectifs suivants :

- identification des tests et des informations de test requis par les différentes fonctions concernées par le produit
- établissement d'une hiérarchie de tests allant du composant au système complet
- élimination des oublis et des redondances dans le cycle de tests du produit
- évaluation de l'avancement du projet aux différents points de contrôle.

Le plan de test comporte un certain nombre de **points de contrôle** qui permettent d'évaluer l'avancement du projet. Ces points de contrôle se divisent en points de contrôle principaux situés à la fin d'une phase, et en points de contrôle intermédiaires. Ils sont établis par le contrôle de qualité avec l'accord du chef de projet et servent à l'identification précoce des problèmes et de leurs solutions, ainsi qu'à la formalisation de l'accord du contrôle de qualité pour le passage d'une phase à la suivante. En cas d'échec de passage d'un point de contrôle, le chef de projet doit établir un plan de récupération.

Le rôle d'un service de contrôle de qualité est triple : le service doit assurer des essais indépendants, il doit participer à la conception et à l'implantation du produit ainsi qu'aux essais effectués par d'autres fonctions. Enfin, il doit procéder à un examen critique du plan et des procédures de test, de la conception et de l'implantation du produit ainsi que des résultats de test obtenus par d'autres fonctions.

6 PROBLÈMES RÉCURRENTS

Lors du développement d'un produit nouveau, le chef de projet se trouve constamment confronté à un certain nombre de problèmes concernant principalement un coût excessif du produit, des estimations qui se révèlent erronées ou un processus de développement qui ne se déroule pas conformément au plan. Nous essaierons ici de préciser ces trois points en dégagant quelques règles pratiques.

6.1 Contrôle des projets

Le contrôle des projets est assuré en premier lieu par des plans formels concrétisés par des documents, des revues périodiques aux points de contrôle, et une série d'essais. Comme une mauvaise orientation du projet peut avoir des conséquences très graves au niveau de l'entreprise, il est bon que ces outils soient complétés par une organisation du travail assurant un équilibre entre les différentes fonctions (check and balance), de façon à faciliter la détection précoce des problèmes potentiels. Il est désirable également d'établir des mesures de productivité pour les différents travaux dans le double but de permettre une meilleure estimation des tâches pour des projets futurs et de détecter un problème potentiel lorsqu'un travail déterminé dépasse nettement les normes habituelles (nombre trop élevé d'itérations, utilisation excessive de l'ordinateur).

Un soin particulier doit être apporté aux interfaces entre les différents groupes du projet et entre les différentes parties du produit. En effet, une grande partie des problèmes rencontrés au cours du développement naissent à ces interfaces. D'une manière générale, la transmission d'information (spécifications, résultats d'implantation...) entre groupes doit se faire de façon formelle avec des documents précis (documents écrits, dessins, programmes...). Les informations et implantations partielles doivent être validées au moment de leur transmission, par exemple pour un essai ou une promenade dans le code.

6.2 Les estimations

L'équipe du projet est amenée à effectuer un grand nombre d'estimations sur les différents éléments du projet. Ces estimations sont très délicates à effectuer avec précision et conditionnent dans une large mesure l'avenir du projet. Par exemple, une estimation initiale trop élevée du coût d'un produit risque de faire avorter prématurément son développement alors qu'une estimation trop basse risque de conduire au développement d'un produit non rentable. Les principales estimations à effectuer sont les suivantes :

- techniques (performances, matériel, logiciel, fiabilité)
- coût du matériel
- marché
- développement (personnel, délais, équipements, achats)

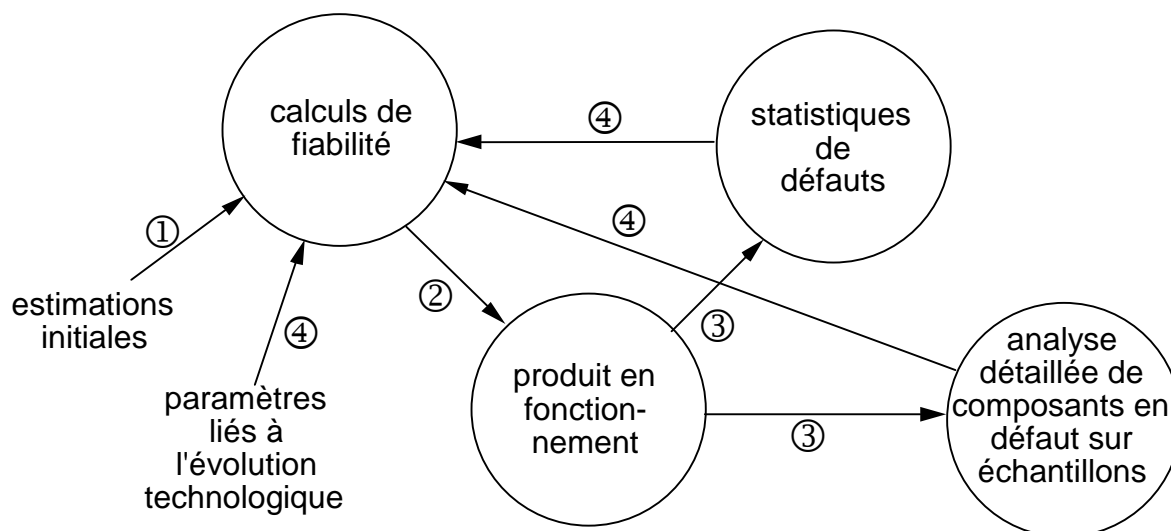


Figure 5 Exemple de boucle de rétroaction pour les calculs de fiabilité

Les estimations sont essentiellement basées sur l'expérience. De ce fait, elles ne sont valables que dans un contexte bien déterminé, ce qui implique qu'un changement important, soit sur le plan de l'organisation, soit sur le plan technologique se traduise par des estimations imprécises. Une organisation de développement doit donc être conçue de façon à ce que la confrontation entre les résultats obtenus et les estimations initiales serve à affiner les estimations futures (figure 5).

Dans le cas d'estimation de fiabilité, les coûts de maintenance du produit sont calculés à partir d'estimations initiales de taux de défaillance des composants. Les taux de défaillance réels des composants sur la machine sont ensuite mesurés à partir d'une analyse statistique des défauts du produit et grâce à une étude détaillée de certains composants en défaut. Pour un nouveau développement, ces éléments permettent d'affiner les estimations initiales des taux de défaillance des composants, à condition que les paramètres liés à l'évolution technologique soient également pris en compte.

6.3 Coût d'un produit

Le prix de revient d'un produit dépend de trois éléments principaux, le coût de développement, le coût de fabrication et le coût de maintenance. Dans une structure donnée, les autres coûts (ventes, administration...) sont proportionnels. Une erreur courante consiste à concevoir un produit de façon à minimiser uniquement le coût de fabrication. Il est extrêmement important d'optimiser le produit pour minimiser l'ensemble des coûts. En effet, les coûts de développement et de maintenance ne sont pas nécessairement liés aux coûts de fabrication. De plus, les coûts de maintenance peuvent égaler ou même dépasser les coûts de fabrication. Enfin, l'avènement de l'intégration à grande échelle tend à réduire les coûts de fabrication et à augmenter la part relative de coûts de développement.

D'une manière générale, l'effort de développement (et donc son coût) doit être proportionné à la valeur et à la quantité des produits qui seront fabriqués. De ce fait, le niveau d'intégration du produit et la nature même du produit (évolution/révolution) dépendent de son marché potentiel. L'expérience montre que les services d'études sont souvent peus au fait des problèmes qui se posent au niveau de la fabrication. La minimisation des coûts de fabrication implique donc une collaboration avec les services de fabrication dès le début du projet.

La réduction des coûts de fabrication doit faire l'objet d'un effort constant pendant toute la durée du projet. L'emploi de quelques méthodes simples facilite l'analyse des coûts et suggère les points sur lesquels un effort particulier doit porter. La méthode la plus utilisée consiste à répartir les coûts sur les différentes fonctions du produit et à isoler les fonctions de coût élevé implantées avec le plus petit nombre de composants. Il faut alors chercher à réduire le coût des composants

ainsi isolés soit par la recherche de nouveaux fournisseurs, soit grâce à une conception nouvelle. A ce stade, l'analyse de valeur peut rendre certains services. Cette technique consiste à rechercher quelle est la fonction réelle que le composant doit réaliser et à éliminer les attributs inutiles. Ceci permet de suggérer une nouvelle conception plus fonctionnelle et de coût plus réduit.

AS/11.10.93