

TECHNOSUP

Les FILIÈRES TECHNOLOGIQUES des ENSEIGNEMENTS SUPÉRIEURS

Management de projet technique

Méthodes et outils

Christian CAZAUBON

Gino GRAMACCIA

Gérard MASSARD



La collection TECHNOSUP dirigée par Claude Chèze est une sélection d'ouvrages dans toutes les disciplines, pour les filières technologiques des enseignements supérieurs.

Niveau **A Approche** (éléments, résumés ou travaux dirigés) *Initiation, mise à niveau*

Niveau **B Bases** (cours avec exercices et problèmes résolus) *IUP - IUT - BTS*

Niveau **C Compléments** (approfondissement, spécialisation) *Écoles d'ingénieurs, Maîtrise*

L'ouvrage (niveau B) :

L'ouvrage est un guide synthétique pour l'analyse méthodologique de l'évolution du projet technique depuis l'idée initiale jusqu'à la réalisation du prototype.

Il présente et analyse les outils et méthodes les plus utilisés et les plus utiles pour analyser, estimer, prévoir, concevoir, organiser, planifier, contrôler...

Sont notamment étudiés : les méthodes AMDEC, IDEFO, QFD, les techniques de plannings (PERT, GANTT), les tableaux de bord pour la maîtrise des délais et des dépenses...

Les exemples et les applications proposés sont analogues à ceux qu'auront à connaître dans l'entreprise, les jeunes ingénieurs et techniciens.

Les auteurs :

Christian Cazaubon est Maître de conférences en électronique à l'IUT Bordeaux I où il enseigne l'Informatique industrielle et dirige un groupe d'innovation technique au Centre de recherche, d'études et de développement (CRED).

Gino Gramaccia est Professeur des Universités en Sciences de l'information et de la communication à l'IUT Bordeaux I où il enseigne le management de projet au Centre de recherche, d'études et de développement (CRED).

Gérard Massard est Ingénieur Qualité au Centre d'essais en vol (Etablissement de la délégation générale pour l'armement). Il enseigne le management de projet dans plusieurs programmes de formation.

Site de l'ouvrage : <http://perso.wanadoo.fr/masscom/>

341735 GESTION DE L'ENTREPRISE
2-7298-5704-4
9 782729 857042
MANAGEMENT DE PROJET TECHNIQUE
E: METHODES ET OUTILS
Biblaire G.G.C.
\$49.95 **\$48.20** SPECIAL

Illustration de couverture : Dessin de Léonard de Vinci.

ISBN 2-7298-5704-4

Préface

Le management de projet est devenu une fonction majeure dans les entreprises soumises aux turbulences d'un environnement très concurrentiel. Mais la maîtrise d'un projet nécessite un outillage spécialisé fort complexe utilisé dans des domaines aussi divers que l'estimation, la planification, l'organisation et le pilotage. Inventorier ces outils et les analyser en fonction des besoins est la tâche délicate entreprise par les auteurs de cet ouvrage, à la fois praticiens expérimentés et enseignants confirmés.

Christian CAZAUBON, Gino GRAMACCIA sont enseignants-chercheurs au Centre de Recherche, d'Etudes et de Développement (C.R.E.D.) de l'IUT Bordeaux 1, respectivement en Electronique et Informatique Industrielle et en Sciences de l'Information et de la Communication. Gérard MASSARD, Ingénieur au Centre d'Essais en Vol (Base de Cazaux, Gironde) est également chargé de cours. Tous trois ont en commun une longue expérience de la conduite de projets réalisés dans le cadre de contrats avec des PME. Ils sont aussi tous les trois fortement impliqués dans l'encadrement d'équipes de stagiaires ingénieurs et techniciens. En dialogue constant avec de nombreux responsables de PME confrontés à d'épineux problèmes de développement, ils ont parfaitement ressenti la nécessité d'une méthodologie spécifique pour la maîtrise de processus complexes dans lesquels la technique, les délais et les coûts sont déterminants. Leur réponse est cet ouvrage, fruit d'une recherche et d'une pratique interdisciplinaires.

Un point fort du projet est son analyse méthodologique de l'évolution du projet, depuis l'idée initiale jusqu'à la réalisation du prototype. A cet effet, les différents chapitres sont organisés en cinq grandes parties, correspondant aux cinq phases majeures de la progression du projet, successivement consacrés à :

- analyser le besoin,
- étudier la faisabilité,
- programmer l'action,
- concevoir le système technique,
- piloter le projet.

Le lecteur-utilisateur dispose donc ainsi d'une panoplie complète et rapidement opérationnelle dans des domaines de compétences aussi divers que l'analyse fonctionnelle, la gestion de la qualité, l'appréciation des risques, l'organisation des équipes, les techniques d'estimation et de prévision, de planification, de contrôle...

Les exemples de projets proposés dans cet ouvrage sont à dominante technique. L'électronique et l'informatique industrielle, technologies génériques majeures, y tiennent une part importante. On trouvera également des exemples plus généraux puisés dans le domaine de la communication d'entreprise. Il s'agit, pour la plupart, de projets de recherche et de développement de produits nouveaux. Une autre caractéristique importante de l'ouvrage est d'avoir retenu des projets de taille restreinte en termes de coûts, de délais et d'objectifs techniques. Ce choix est délibéré car, quelle qu'en soit la taille, un projet ne peut être mené à bien que dans le cadre d'une approche globale rigoureuse et cohérente faisant appel à des méthodes et des procédures en tous points analogues. Or, ce sont bien des projets d'envergure limitée qu'auront à gérer, ou

contribueront à mettre en œuvre, de jeunes ingénieurs ou techniciens, surtout s'ils sont tentés par la création d'entreprise.

La première édition de cet ouvrage a été bien accueillie par les professionnels des projets et par le public des techniciens et des ingénieurs en formation (BTS, IUT, IUP, Mastères, cycles doctoraux, Grandes Ecoles). L'ouvrage a su trouver sa place parmi les traités classiques consacrés aux méthodes et aux outils du management de projet. Sa réédition était donc devenue nécessaire pour répondre aux besoins de connaissances dans une discipline dont les principes et les méthodes se sont généralisés à tous les secteurs de l'innovation.

Parmi les différentes recensions de l'ouvrage dans les revues spécialisées, on notera : *Qualitique* (mai 1998), *La revue des entreprises* (juin 1998), *Instantanés techniques* (juin 1998), *Industries et Techniques* (juillet 1998), *La Cible* (Afitap) (novembre 1998), *Communication & Langages* (1999), *Enjeux-Afnor* (2000). On peut également consulter son site Internet : <http://perso.wanadoo.fr/masscom/>

Claude CHEZE

Professeur des Universités

Ancien Directeur d'Ecole d'Ingénieurs et d'IUT

Sommaire

Avant-propos.....	ix
--------------------------	-----------

Chapitre 1 – Manager un projet.....	1
1 La notion de projet.....	1
2 Le management de projet.....	2
3 Les phases d'un projet.....	3

Phase A : analyser le besoin

Chapitre 2 – Tester l'idée nouvelle.....	7
1 L'idée nouvelle mise à l'épreuve.....	7
2 Valider l'idée nouvelle.....	9

Chapitre 3 – Déployer la qualité.....	15
1 L'esprit de la méthode QFD.....	15
2 La maison de la qualité.....	16
3 Les quatre phases du QFD.....	22
4 Application électronique : le plan QFD du Mididanse.....	24

Chapitre 4 – Analyser les fonctions.....	27
1 L'expression du besoin.....	27
2 Les catégories de fonctions.....	28
3 Le groupe de travail.....	29
4 La recherche des fonctions.....	29
5 La méthode FAST.....	32
6 Le cahier des charges fonctionnel.....	34

Chapitre 5 – Modéliser pour comprendre : La méthode IDEFØ.....	37
1 Domaine d'application de la méthode.....	37
2 Modéliser pour comprendre.....	38
3 Séparer le QUOI du COMMENT.....	38
4 Utiliser une représentation graphique.....	39
5 Une analyse descendante, hiérarchique et structurée.....	41
6 Modéliser la dualité fonctions / relations fonctionnelles.....	42
7 Travailler en équipe.....	44
8 Consigner par écrit.....	44

Phase B : étudier la faisabilité

Chapitre 6 – Concevoir le scénario du projet.....	45
1 La prévention des risques.....	45
2 Stratégie d'engagement et limitation des risques.....	48

Chapitre 7 – Prévoir les défaillances.....	53
1 Buts et principe de l'AMDEC.....	53
2 Les étapes de l'analyse.....	54
3 Les niveaux de risques.....	58
4 Le plan d'action.....	59
5 La fiabilité prévisionnelle.....	60

Phase C : programmer l'action

Chapitre 8 – Manager le projet.....	61
1 Les structures d'organisation par projet.....	61
2 Les acteurs d'un projet.....	65
3 L'équipe de projet.....	67
4 Le chef de projet.....	70
Chapitre 9 – Découper le projet.....	75
1 Principe de construction de l'OTP.....	75
2 Découpage d'un grand projet.....	80
3 Exemples d'application.....	81
Chapitre 10 – Analyser les coûts.....	85
1 La classification des coûts.....	85
2 L'estimation des coûts.....	86
3 L'optimisation des coûts.....	87
4 L'information sur les coûts.....	89
5 Exemples d'application.....	89
6 Le budget du projet.....	92
Chapitre 11 – Planifier le projet.....	97
1 Découpage en activités élémentaires.....	97
2 Identification des contraintes.....	99
3 Modélisation de l'enchaînement des activités.....	100
4 Evaluation des durées.....	102
5 Détermination des dates.....	103
6 Planification du projet : le diagramme de GANTT.....	104
Chapitre 12 – Planifier l'emploi des ressources.....	109
1 Contraintes d'utilisation des ressources.....	109
2 Les acteurs de la planification.....	110
3 Gestion de l'utilisation des ressources.....	111

Phase D : concevoir le système technique

Chapitre 13 – Identifier les modules techniques.....	117
1 Avant projet.....	117
2 Décomposition de deuxième niveau.....	119
3 Décomposition en niveaux élémentaires.....	120
4 Exemples de découpage en éléments.....	121
5 Attribution des responsabilités.....	123
6 La phase d'intégration.....	124
Chapitre 14 – Concevoir les modules techniques.....	125
1 Décomposition d'un système électronique.....	125
2 Décomposition d'un système micro-informatique.....	131
3 Décomposition d'un système mécanique.....	139
Chapitre 15 – Concevoir à l'aide de l'outil CAO.....	141
1 La conception assistée en électronique.....	141
2 La conception assistée en mécanique.....	144
3 La documentation technique.....	146
Chapitre 16 – Concevoir en programmation.....	149
1 Organigrammes.....	150

2 Décomposition du programme.....	152
3 Programmation en assembleur.....	153
4 Programmation en langage évolué.....	154

Phase E : piloter le projet

Chapitre 17 – Maîtriser les délais de réalisation.....	155
1 Les facteurs de risques.....	155
2 La notion d'avancement physique.....	156
3 Mesure de l'avancement physique d'une activité.....	157
4 Déterminer l'avancement physique d'un projet.....	159
5 Etablissement et ajustement des prévisions.....	161
6 Mesure et contrôle de l'état d'avancement.....	163
Chapitre 18 – Maîtriser les coûts.....	167
1 Facteurs de risques.....	167
2 Evolution des coûts prévisionnels.....	168
3 Valeur acquise ou Coût Budgété du Travail Effectué.....	168
4 Mise en application de la méthode.....	169
5 Contrôle intégré des coûts et des délais.....	170
Chapitre 19 – Engager des actions correctives.....	173
1 Analyse des dysfonctionnements.....	173
2 Redéploiement des ressources.....	174
3 Utilisation des marges.....	174
4 Renforcement de la capacité d'action.....	175
5 Renégociation des objectifs.....	176
Annexe – Les progiciels de gestion de projet.....	177
1 L'apport d'un progiciel.....	177
2 Les outils proposés.....	177
Index.....	179
Bibliographie.....	181

Avant-propos

Les entreprises ont connu, en vingt ans, de profondes mutations. Pour être compétitives, elles ont dû s'adapter aux contraintes d'une concurrence mondialisée, se conformer aux standards de technologies complexes et pointues, accélérer le développement de nouveaux produits et améliorer encore la qualité et le service au client. Le **management de projet**, dans ses développements les plus récents, constitue la réponse sans doute la plus appropriée pour maîtriser la complexité induite par de telles turbulences.

Cette forme de management a séduit de nombreux théoriciens et professionnels qui ont largement contribué à son essor dans les entreprises modernes. En France, elle a bénéficié, en quelque dix ans, d'apports théoriques et méthodologiques importants, pour aboutir, sous l'égide d'organismes comme l'AFNOR et l'AFITEP¹, à une activité de normalisation qui précise les contours conceptuels d'une fonction particulièrement adaptée aux défis que doit relever l'entreprise. Le groupe ECOSIP (Economie des systèmes intégrés de production) a jeté les bases d'une recherche pluridisciplinaire à partir d'hypothèses fortes sur les enjeux de ce nouveau management et ses conséquences sur les systèmes d'organisation. De nombreux auteurs, comme Vincent Giard, Gérard Herniaux, Christophe Midler, Ivan Chvidchenko, Dominique Tissier², et plus récemment, Hervé Courtot³ dans le domaine des risques, ont dressé l'inventaire complet des principaux concepts théoriques et opératoires, confirmant l'urgence, pour les utilisateurs concernés, d'une plus grande maîtrise des éléments qui président à la qualité et à la rentabilité d'un projet.

Si la voie théorique et méthodologique est maintenant tracée, la **panoplie des outils** actuellement disponibles a de quoi décourager l'utilisateur débutant. Une littérature foisonnante a formalisé un outillage complexe issu de différentes disciplines constituées auxquelles le management de projet a fait beaucoup d'emprunts. On peut citer par exemple la gestion de la qualité, l'analyse de la valeur, l'analyse fonctionnelle, la gestion des risques, les techniques d'estimation, de prévision, de planification et de contrôle, le management d'équipes, etc.

Le développement de logiciels spécialisés (logiciels de bureautique, d'archivage, de planification) devrait contribuer à promouvoir l'utilisation de ces outils. Mais dans ce domaine encore des résistances sont à craindre. Certaines sont légitimes, si l'on songe aux coûts d'investissement. D'autres, plus irrationnelles, s'expliquent par les préjugés bien connus dont pâtit l'outil informatique (complexité, fonctionnalités largement surestimées par rapport aux besoins, etc.).

Le jeune chef de projet est un peu face au dilemme d'un chercheur de trésor dans la caverne d'Ali Baba : quel magot pourrait-il emporter sachant qu'il n'a qu'un dromadaire pour tout moyen de transport ? Selon quels critères choisir ? Un coffre chargé de pierres précieuses aurait tôt fait d'engloutir l'animal dans les sables du désert. A l'inverse, s'il se contente de peu, est-il sûr de choisir le diamant le plus beau ?

¹ Association Française des Ingénieurs et Techniciens d'Estimation, de Planification et de Projets.
<http://www.afitep.fr>

² Voir bibliographie générale.

³ Hervé Courtot, *La gestion des risques dans les projets* Economica, Paris, 1998.

Un tri raisonné dans la profusion des outils susceptibles de trouver une application en management de projet devient maintenant une priorité pour les utilisateurs, expérimentés ou non, désireux de mieux maîtriser leur métier de chef de projet.

La notion de « petit projet » surprendra les familiers de projets conventionnels, dont la taille et l'enjeu font l'objet d'une réflexion stratégique et justifient l'utilisation de ressources coûteuses et l'emploi d'outillages complexes. Au-delà des considérations de taille, rien ne différencie pourtant un projet classique d'un petit projet. Les objectifs de réalisation, de délais et de coûts sont certes réalisés à l'échelle de quelques semaines à quelques mois, mettant en oeuvre des budgets modestes et des ressources peu importantes (un ingénieur, deux techniciens, deux stations de CAO, par exemple). Mais aux plans de la gestion et du management, les *procédures fonctionnelles* (mettant en jeu des systèmes d'organisation) et *relationnelles* (mettant en jeu des stratégies d'interaction et de communication entre acteurs) sont en tous points analogues.

Les domaines d'application des petits projets sont, entre autres, le *développement de petits produits* dans les PME en phase de lancement (dans des pépinières d'entreprise, par exemple), la *mise en place d'organisations spécifiques* au sein d'une entreprise (l'implantation d'une structure qualité, l'organisation d'un événement de communication : une convention, le lancement d'un journal d'entreprise, etc.). On observe un temps de gestation très court entre l'idée initiale ou la saisie du besoin et, en règle générale, la réalisation d'un prototype. On pourrait alors objecter que la maîtrise technique des procédés et des outils de développement, étayée d'une bonne dose d'intuition et de débrouillardise, rend superflu l'emploi d'un outillage de management de projet. L'expérience montre tous les jours le contraire. Technique et intuition conjuguées ont entre autres pour effets pervers :

- la méconnaissance du besoin réel du demandeur,
- la prise de positions peu conciliantes, le refus de négocier,
- l'oubli des détails, favorisant l'approximation, les dérives insidieuses,
- une trop forte culture *métier*, oublieuse de la coopération transversale,
- une progression unidirectionnelle, au bénéfice d'un seul scénario,
- l'hypertrophie de la dimension technique, aux dépens des facteurs coûts et délais,

Une méthodologie et une boîte à outils adaptées, sans constituer une panacée, forcent à la rigueur, assurent une efficacité maximale et conduisent au succès. Une méthodologie et une boîte à outils adaptées, sans constituer une panacée, forcent à la rigueur, assurent une efficacité maximale et conduisent au succès. On trouvera, à côté d'outils plus traditionnels comme la technique IDEF0, la méthode AMDEC, le planning PERT, le planning GANTT, des outils d'importance majeure mais moins répandus : c'est le cas de la méthode QFD (*Quality Function Deployment*) pour la prise en compte des exigences du client, de la *méthode de la valeur acquise* utilisée pour la maîtrise des coûts et des délais. La dimension technique n'est pas absente. On présente en phases D et E une panoplie d'outils pour l'*optimisation des procédures de conception* et le *pilotage des actions*. De nombreux exemples sont donnés dans le domaine de l'électronique, de l'informatique industrielle et de la mécanique.

L'intérêt de telles méthodes n'est maintenant plus à démontrer à l'heure où le management de projet a conquis ses lettres de noblesse dans tous les secteurs de l'économie et de la vie sociale. Sur ce point, l'importance déterminante des travaux de l'AFITEP mérite ici d'être soulignée. Au moment de rééditer cet ouvrage, nous tenions à le rappeler.

Manager un projet technique

1 La notion de projet

Qu'y a-t-il de commun entre le programme européen Ariane, le Tunnel sous la Manche, la construction d'une usine, le lancement d'un médicament nouveau, ou encore l'étude et le développement d'un nouveau type de carte électronique, la mise en oeuvre d'un plan qualité, l'organisation d'une manifestation culturelle ? De tels projets, car il s'agit bien de projets, n'ont bien sûr rien de comparable aux plans du contenu, de la taille et des enjeux. Ils ont cependant plusieurs points communs :

- en termes de processus, ils réalisent un objectif autonome, avec un début et une fin, ce qui suppose la maîtrise d'activités non répétitives dans un cadre temporel et financier contraignant ;
- en termes de résultat, ils répondent à un besoin spécifique et singulier, sous la forme d'un ouvrage, d'un service, d'un produit, d'une organisation...;
- ils comportent une dimension innovante, ce qui implique une part de risque non négligeable ;
- ils emploient une quantité déterminée de ressources (main-d'oeuvre, machines) au sein de structures spécifiques mobilisant des acteurs de métiers différents.

La norme AFNOR X 50-105 : « Le management de projet - Concepts » précise cette définition d'un projet :

« Un projet se définit comme une démarche spécifique, qui permet de structurer méthodiquement une réalité à venir. Un projet est défini et mis en oeuvre pour élaborer la réponse au besoin d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle et il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données ».

La logique de projet marque le passage d'une organisation traditionnelle par fonctions (ventes, production, maintenance...), donc à un régime d'activités stabilisées, à un mode de fonctionnement transversal, basé sur le regroupement de moyens, de ressources et de compétences *ad hoc* partagées avec d'autres activités de l'entreprise ou spécifiquement dédiés au projet. On considère, à juste titre, qu'un projet est complexe. Cette complexité résulte en priorité, dans l'entreprise, des difficultés de management de compétences multiples mises au service d'une activité temporaire consommant des ressources communes ou spécifiques. Ces difficultés sont de plusieurs ordres :

- conception et mise en place d'une structure *ad hoc* et de mécanismes de liaison pour la coordination d'activités hétérogènes et nombreuses ;
- recherche de formes de cohabitation entre cette structure et l'organisation conventionnelle de l'entreprise ;
- adaptation à des modifications fréquentes et importantes ;

- prise de décision dans un contexte (du moins initialement) caractérisé par une forte incertitude ;
- arbitrages entre les éléments susceptibles d'induire des situations conflictuelles ;
- recherche d'un juste équilibre entre les trois facteurs déterminants du projet (technique, coûts, délais) et optimisation des ressources disponibles.

2 Le management de projet

Le management de projet a pour finalité de proposer des solutions stratégiques en réponse aux situations complexes spécifiques au projet. Selon la norme AFNOR X 50-105, le management de projet recouvre la distinction *gestion de projet vs direction de projet ou pilotage de projet*. L'approche gestionnaire constitue la base instrumentale, informative et évaluative du pilotage. Elle « *recouvre des notions pluridisciplinaires et interdépendantes où interviennent des problèmes de technique, de coûts et de délais... elle s'étend sur toutes les activités permettant de s'assurer que le projet se déroule conformément aux objectifs visés* ».

2.1 Gérer un projet

La norme stipule que la gestion de projet comprend entre autres :

- la maîtrise des délais et la planification opérationnelle ;
- l'estimation et l'évaluation des coûts ;
- la maîtrise prévisionnelle des coûts ou *coûtenance* ;
- la logistique du projet aux plans documentaire et matériel (approvisionnement) ;
- la préparation des tableaux de bord.

La gestion de projet regroupe donc l'ensemble des procédures d'aide à la décision stratégique.

2.2 Manager un projet

Le pilotage renvoie aux actions de conception de la stratégie, d'organisation, de coordination, de maîtrise des processus et d'optimisation des ressources, tant humaines que matérielles. Au sens global, le management de projet regroupe l'ensemble des compétences classiques du management, à savoir l'analyse et maîtrise des conditions pour une meilleure réactivité en cas de dérive des délais et des coûts. La spécificité de ce management concerne les aspects organisationnels du projet : *au plan structurel*, définition des rôles, conception d'une structure *ad hoc* et du système de communication ; *au plan interindividuel*, recherche des conditions pour une cohésion maximale de l'équipe projet, arbitrage des conflits, motivation des acteurs engagés dans le projet.

2.3 Les principaux acteurs d'un projet

Le management du projet doit être confié à un personnage central, pluricompétent, donc bon technicien, bon gestionnaire et bon communicateur : le **chef de projet**. Interlocuteur privilégié du client et surtout garant des résultats, il doit disposer du pouvoir et des compétences nécessaires pour décider et agir en toute indépendance, conformément à la délégation d'autorité que lui a reconnu sa hiérarchie. Dans l'entreprise, les différents intervenants au sein du projet sont choisis sur des critères d'expertise. Détachés de leur service d'origine ou temporairement mis à disposition, ils exécutent leur mission sous la responsabilité du chef de projet. Les partenaires conventionnels du projet sont le maître

d'ouvrage et le maître d'oeuvre. Selon l'AFITEP¹, « le Maître d'ouvrage est la personne physique ou, le plus souvent, la personne morale qui sera propriétaire de l'ouvrage. Il fixe les objectifs, l'enveloppe budgétaire et les délais souhaités pour le projet », tandis que le maître d'oeuvre est « la personne physique ou morale qui reçoit mission du maître d'ouvrage pour assurer la conception et le contrôle de la réalisation d'un ouvrage conformément au programme ».

3 Les phases d'un projet

Le découpage en phases est devenu une opération classique en management de projet. Ivan Chvidchenko a formalisé cette opération dans un ouvrage de référence². Le principe consiste à prévoir quatre ou cinq séquences enchaînées aux objectifs bien identifiés, marquées par un jalon de contrôle. Cette progression en phases relève autant d'une logique de contrôle que d'une logique de développement. Un projet évolue en effet selon une logique de croissance et de maturation jusqu'à son achèvement complet. Cette modélisation a été reprise et simplifiée par l'AFITEP (voir figure 1).

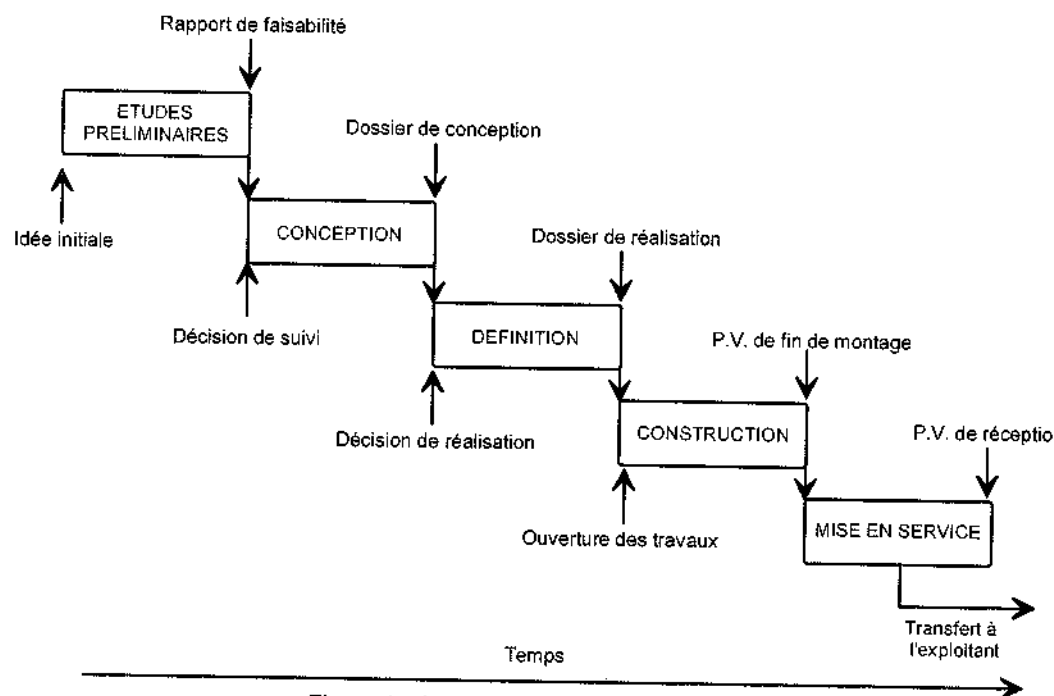


Figure 1 – Les grandes phases d'un projet

En nous inspirant de ce modèle, nous proposons un découpage en cinq phases, centré sur le développement de petites études (voir l'avant-propos) :

- **phase A** : analyser le besoin ;
- **phase B** : étudier la faisabilité ;
- **phase C** : programmer l'action ;
- **phase D** : concevoir le système technique ;
- **phase E** : piloter le projet.

¹ AFITEP, Le management de projet, principes et pratiques, AFNOR, 1991, p. 7.

² Cet ouvrage (La gestion des grands projets), paru en 1974 et souvent réédité depuis, a été enrichie d'une suite co-rédigée avec Jean Chevallier : Conduite et gestion de projets, publié chez Cépaduès-Éditions, Toulouse, 1993.

3.1 Phase A : analyser le besoin

Principaux outils et méthodes : **idée, concept et image** d'un produit nouveau, **méthode QFD, méthode FAST, cahier des charges fonctionnel, méthode IDEF0**.

La notion de **besoin** a pris, dans la terminologie du management de la qualité, une signification économique précise, liée à la dynamique d'échanges rapprochant un client et un fournisseur. Les définitions proposées dans la littérature spécialisée hésitent entre un sens psychologique général (« l'expression d'un manque ») et un sens marketing relatif aux performances fonctionnelles des produits proposés sur le marché (le besoin peut être « satisfait » par telle fonction de tel produit). Il constitue, avec le produit, l'un des pôles de la transaction intervenant entre le fournisseur et le client. Au besoin, exprimé ou latent, se substitue un produit, existant ou à concevoir ; au manque fonctionnel, plus ou moins bien analysé et explicité par le client, répond un système de fonctions intégrées dans un produit-objet ou un ensemble organisé de services proposés par le fournisseur.

Le besoin n'a pas (ou n'a plus) le statut de l'évidence comptable et immuable, au sens où il suffirait de le constater, de le quantifier et d'en archiver les principales caractéristiques pour mieux ajuster une réponse fonctionnelle définitive. Le besoin est une entité économique vivante, évolutive. Sa genèse, sa stabilisation, son évolution puis sa disparition sont des processus complexes, liés à de multiples facteurs d'ordre culturels, politiques, sociologiques, économiques, technologiques... L'émergence du besoin, dans la sphère de l'utilisateur, résulte de l'**inadéquation** entre les fonctions matérielles (une fonction technique) ou immatérielles (une information livrée) telles qu'elles sont réalisées par un produit existant, et les exigences de l'utilisateur. Cette divergence peut avoir différentes causes :

- des fonctions superflues, non souhaitées par le client ;
- des fonctions non satisfaites par le produit existant ;
- l'absence d'un langage commun au client et au fournisseur. Par exemple un chimiste, à la recherche de solutions électroniques, prend le risque de la confusion, donc du temps perdu et de l'échec, s'il ne parvient à traduire son besoin au moyen d'un langage commun à tous les partenaires de son projet.

La « traductibilité » du besoin dans les termes d'un cahier des charges pour un ajustement optimal entre tous les acteurs d'un projet industriel constitue l'un des aspects les plus intéressants des méthodologies du management de la qualité et du marketing. Elle fonde en cohérence et en stabilité la logique de leur transaction. C'est, entre autres, le but du **cahier des charges fonctionnel**.

Différents acteurs interviennent, à différents niveaux, dans cette dynamique du besoin. Les ouvrages spécialisés font la distinction, dans le pôle client, entre **demandeur** et **utilisateur**, et dans le pôle fournisseur, entre **concepteur** et **réalisateur**. L'utilisateur (l'opérateur, par exemple) n'est pas nécessairement celui qui demande (le service achats) ; le rôle du concepteur ne se limite pas à la proposition d'une solution technique. Il peut être étendu à la conception de solutions méthodologiques en matière de contrôle, de maintenance, de fournitures d'informations, etc.

L'approche analytique du besoin et la recherche d'une réponse adaptée feront l'objet des applications présentées en phase A de notre trajectoire méthodologique. Dans cette première partie, nous présenterons les méthodes que nous jugeons les plus pertinentes pour la construction d'une offre de conception dans le cas d'un projet de développement de produit. Pour reprendre une expression chère aux spécialistes de la méthode du déploiement de la qualité (*Quality Function Deployment*), nous nous mettrons à l'écoute de la **voix du client** pour tenter d'en donner une représentation fonctionnelle fidèle et contractuelle.

3.2 Phase B : étudier la faisabilité

Principaux outils et méthodes : **scénario de projet, méthode AMDEC, estimation des besoins en ressources, contrat de projet.**

L'horizon temporel d'un projet présente, au départ, son lot d'incertitudes et de complexité. L'optimisation des choix d'orientation, en phase de faisabilité, se fonde sur l'analyse, le filtrage et le regroupement d'informations complexes et nombreuses en provenance d'un environnement qui n'est pas toujours favorable. Les objectifs techniques seront-ils réalisés dans les délais et aux coûts prévus ? L'équipe de projet disposera-t-elle de ressources opérationnelles en temps utile ? Les concepteurs sauront-ils maîtriser à temps et dans quelles conditions les technologies de développement ? Sur quel financement appuyer un projet plus ambitieux ? Enfin quelle sorte d'organisation optimale mettre en place ? Un premier chapitre examine les différents aspects des scénarios de projets. Un second chapitre est consacré à la présentation d'une méthode rigoureuse, destinée à la prévention des risques dans les systèmes complexes : la **méthode AMDEC** (analyse des modes de défaillance et de leur criticité). Encore peu répandue dans l'industrie, cette méthode est également peu enseignée.

3.3 Phase C : programmer l'action

Principaux outils et méthodes : **structures, équipe et chef de projet, organigramme technique de projet, estimation des coûts, budget de projet, réseau PERT, planning GANTT, planning des ressources, histogramme de charge.**

La phase C correspond à la conception des mécanismes de **coordination** et des dispositifs de **planification**. Le terme de planification ici prend le sens étendu d'opération de conception des plans d'action du projet intégrant trois dimensions fondamentales :

- l'analyse, la hiérarchisation et la répartition des tâches ;
- la conception de leur enchaînement logique dans la durée au moyen des différents plannings ;
- la conception des outils de contrôle ou des tableaux de bord.

On appelle **programme** l'ensemble organisé de ces plans d'action.

D'après le Vocabulaire de gestion de projet³, la *planification* est « la discipline ayant pour objet de prévoir et de suivre les objectifs (délais, coûts, etc.) de Réalisation d'Ouvrage ». Pour Dominique Tissier⁴, « la planification des projets est l'ensemble des dispositifs par lesquels la direction de l'entreprise et le responsable d'un projet coordonnent les actions nécessaires à l'atteinte des objectifs de celui-ci ».

La planification permet ainsi :

- d'*obtenir une visibilité maximale* du projet tout au long de son déroulement et en particulier à certains événements datés (les jalons) ;
- de *coordonner les actions* nécessaires à la réalisation des objectifs du projet ;
- de *piloter le projet* et, si nécessaire, de constater et de corriger les écarts éventuels au moyen des tableaux de bord.

³ AFITEP, Vocabulaire de gestion de projet, AFNOR, 1989, p. 65.

⁴ Dominique Tissier, Guide pratique pour la gestion des unités et des projets, Paris, INSEP Editions, 1987, p. 241.

Chapitre 2

Tester l'idée nouvelle

L'idée nouvelle est à l'origine du projet. Ses sources sont multiples : un laboratoire universitaire, un laboratoire de recherche et de développement, les services marketing, chez les clients, les distributeurs... Les spécialistes du marketing, pour leur part, ont largement développé les techniques de vigilance et de créativité pour la recherche d'idées de produits nouveaux. Citons, entre autres, parmi les techniques dites *intuitives*, le *brainstorming*, la *synectique* (déballage marathon d'idées), et parmi les techniques dites *rationnelles*, l'*analyse morphologique* (caractérisation de tous les paramètres entrant dans la solution d'un problème), les *matrices de découvertes* (croisement de deux ensembles d'éléments à l'aide d'une structure matricielle¹).

Dès lors que l'idée est conçue, il est important d'en explorer les contours commerciaux, techniques, financiers : c'est la phase embryonnaire du projet. A ce stade, il est conseillé de mettre en présence toutes les intelligences susceptibles de critiquer, d'enrichir, de valider l'idée nouvelle. Cette idée peut être, au départ, une simple intuition abstraite ou une hypothèse fonctionnelle d'un produit nouveau conçue par un acteur maîtrisant son domaine d'expertise. De l'intérêt commercial, technique, financier de l'idée dépend naturellement la suite des opérations relatives au projet.

1 L'idée nouvelle mise à l'épreuve

Le service marketing occupe une fonction préliminaire dominante dans la promotion de l'idée. Reste à savoir comment organiser une fédération d'acteurs qui auraient pour tâche de confronter leurs points de vue au sein de l'équipe projet.

Dans l'entreprise, cette mission peut être confiée à un acteur central en management de projet dont on étudiera plus loin le statut et les compétences : le **chef de projet**. Plusieurs options d'organisation sont possibles :

- constitution d'un groupe pluridisciplinaire d'analyse de la valeur, réunissant, dans l'entreprise, différentes compétences ;
- collaboration active, dans le cadre d'un projet d'étude de faisabilité, avec un centre universitaire de recherche et de développement ;
- intervention d'un prestataire de service institutionnel (organisme d'aide à l'innovation) ;
- consultation pour avis des clients réguliers de l'entreprise ;
- constitution d'un *panel d'utilisateurs* autour d'un prototype.

¹Yves Chirouze, Le Marketing, Chotard et associés éditeurs, Paris 1987, tome 1, pp.128-139 qui résume l'essentiel de ces techniques. Kotler & Dubois, pp. 220-226.

Cette mission de médiation et de consultation d'avis différents a pour but d'étudier un premier scénario conceptuel de l'idée pour tenter d'établir solidement la faisabilité globale du projet.

La figure 1 schématise cette structure d'acteurs.

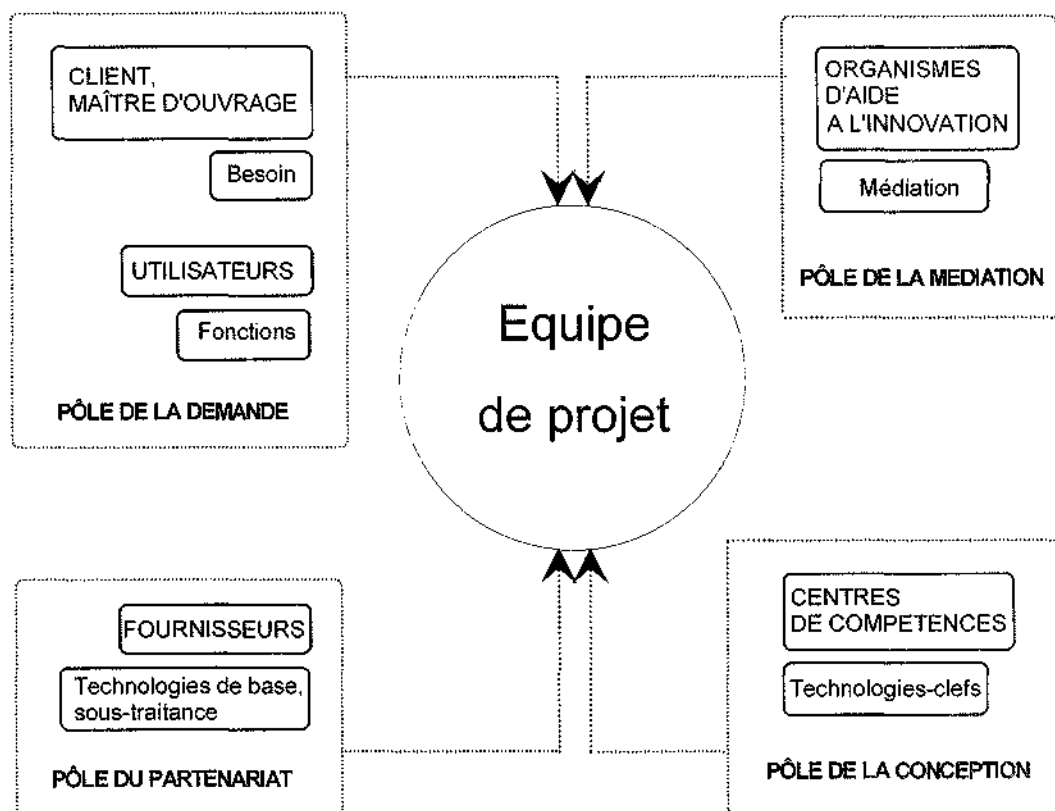


Figure 1 – Les acteurs « testeurs » de l'idée

Le chef de projet prend l'initiative de consulter des représentants de quatre pôles de compétences :

- **le pôle de la demande**, qui regroupe des prospects (les clients) et des utilisateurs potentiels, consultés de manière informelle, par exemple à l'occasion d'un salon spécialisé, ou de façon formelle dans le cadre du panel d'utilisateurs. On estime, au sens strict, que le client s'exprime en termes de **besoin** et l'utilisateur en termes de **fonctions**.
- **le pôle de la médiation**, qui fait intervenir les organismes d'aide à l'innovation : les conseils régionaux et leurs organismes de tutelles (délégations régionales à la recherche et à la technologie...), l'ANVAR, les réseaux de diffusions technologiques... Les centres de ressources technologiques proposent aux innovateurs des formules d'*incubation de projet*. Des matériels et des compétences spécifiques de laboratoires de recherche sont mis à la disposition de porteurs de projets désireux de transformer une idée de recherche en produit commercialisable.
- **le pôle de la conception**, formé des différents centres de compétences susceptibles de fournir un conseil d'expert sur la faisabilité technique de l'idée : les services techniques de l'entreprise, les laboratoires universitaires de recherche académique ou de recherche et de développement. Ces centres maîtrisent les *technologies-clefs* indispensables à la conception du projet.

Les technologies-clefs sont, en théorie, les technologies innovantes qui assurent à l'entreprise qui les maîtrise, une compétence distinctive dans ses activités de développement de produits nouveaux (par exemple la maîtrise des procédés de production de raquettes de tennis en matériaux composites), et donc procurent à l'entreprise un avantage concurrentiel².

– **le pôle du partenariat**, associant l'ensemble des fournisseurs et sous-traitants potentiels pour la fourniture des composants et la réalisation de sous-ensembles du projet.

L'objectif est de cerner l'idée sous ses trois facettes de la manière la plus cohérente possible :

- l'*idée* elle-même, définie dans ses composantes fonctionnelles principales, telles qu'elles peuvent être objectivées dans un produit ;
- le *concept de produit*, défini comme une réponse fonctionnelle à un besoin particulier (l'avis de l'utilisateur est prioritaire dans la définition de ce concept) ;
- l'*image du produit*, qui correspond à la valeur subjective et symbolique que l'utilisateur pourrait accorder au produit (au conditionnel, donc, si l'on se situe dans le cadre de la mise à l'épreuve de l'idée).

A propos du produit, la théorie du marketing fait la distinction entre **idée**, **concept** et **image**. Selon Kotler & Dubois, une idée de produit est une « possibilité de produit, décrite en termes fonctionnels, objectifs, que l'entreprise peut envisager de lancer sur le marché », tandis qu'un concept de produit est une « représentation subjective particulière, destinée au consommateur, que l'entreprise essaie d'incorporer à l'idée de produit ». Enfin « l'image de produit est une représentation subjective particulière que les consommateurs acquièrent du produit »³. Le concept est une hypothèse élaborée par l'entreprise sur l'usage particulier que peut faire le consommateur (ou l'utilisateur) du produit : pour une même idée, on peut concevoir plusieurs hypothèses (concepts).

Le groupe de travail (ou son responsable) doit ensuite fournir un travail de filtrage important et fixer des délais rigoureux tout en aménageant des dispositifs de secours (sujets en réserve, contacts permanents et privilégiés avec des industriels fournisseurs d'idées originales...). Si l'idée semble *a priori* faisable (dans l'attente d'une évaluation plus rigoureuse qui implique, à d'autres étapes, la mise en oeuvre d'outils plus sophistiqués), on procède alors à sa *validation*.

2 Valider l'idée nouvelle

On entend par l'expression **valider l'idée**, la démarche qui permet d'en affirmer ou d'en authentifier le caractère novateur. Cette démarche peut regrouper quatre opérations :

- la recherche d'informations ;
- le test du concept ;
- l'analyse globale du scénario commercial ;
- l'étude critique d'un prototype.

²Pierre Dussauge et Bernard Ramanantsoa, Technologie et stratégie d'entreprise, Mc Graw-Hill, Paris 1987, p.102.

³Kotler & Dubois, op. cit. pp. 226-227.

2.1 La recherche d'informations

L'information est la matière première dans un projet innovant : elle permet d'évaluer le degré d'originalité de l'idée, et en dernière instance, les chances de succès commercial du futur produit. L'objectif de cette démarche est d'étudier l'*antériorité* de l'idée et de faire le point des premiers documents techniques susceptibles d'aider à la conception et, ce qui semble fondamental, de réduire les risques liés à l'innovation.

Types d'informations pour analyser l'environnement de l'idée	
Les NORMES définissent les concepts et les méthodes relatives à la gestion de la qualité. Edictées par des associations pour la promotion de la Qualité, elles sont publiées par l'A.F.N.O.R. (Association Française de Normalisation). Ce ne sont ni des lois, ni des règlements : elles ont seulement valeur de modèle dont l'application résulte de la pression exercée par les clients et par la concurrence. Les spécialistes dans tous les domaines de l'industrie ont actuellement, pour la France, traité plus de 12000 normes. Leur consultation est une première étape incontournable pour qui prétend innover.	Le BREVET est un titre de propriété délivré à un inventeur en contrepartie de la divulgation de son invention qui jouit alors du droit exclusif pour son exploitation. La durée de protection est de 20 ans. Il faut savoir qu'un brevet ne protège qu'une invention, autrement dit une solution technique à un problème technique. Ce qui suppose que cette invention soit susceptible d'applications industrielles. L'enveloppe SOLEAU n'est pas un titre de propriété. Elle permet de prendre date et ainsi d'exploiter l'invention en cas de dépôt ultérieur par un tiers portant sur la même invention ⁴
Principales sources d'informations	
Les sources internes à l'entreprise :	- les rapports des vendeurs ; - les statistiques de ventes ; - le fichier client ; - les réclamations des clients.
Les sources externes :	- les laboratoires et les centres techniques ; - les foires et les salons professionnels ; - les forums, les colloques ; - les fournisseurs et les distributeurs ; - les échantillons d'utilisateurs potentiels.
Les organismes fournisseurs d'informations :	- l'Institut national de la propriété industrielle (INPI) ; - l'Agence nationale pour la valorisation de la recherche (ANVAR) ; - l'Association française pour la normalisation (AFNOR) ; - les Agences régionales de l'information scientifique et technique (ARIST) ; - l'INSEE, qui propose des listes d'adresses par professions.
<i>Le réseau Internet offre d'innombrables possibilités de consultations de publications à caractère scientifique en temps réel. Les chercheurs ont accès à une multitude de banques de données régulièrement mises à jour par les laboratoires du monde entier. Sous l'impulsion de Renater, le réseau français de la recherche relié au continent américain, nombre de laboratoires se sont connectés à Internet. Tous les spécialistes d'un même domaine peuvent communiquer, échanger des données, rédiger un article en commun. Le développement du « réflexe-réseau » va enrichir encore la palette du chercheur. Par un système d'abonnement, les chercheurs échangent leurs contributions sur des thèmes les concernant. A terme, le risque évident est de « noyer » la propriété intellectuelle des découvertes dans le flot anonyme des échanges.</i>	

⁴Paul Maître et Jacques -Didier Miquel, De l'idée au produit, Editions Eyrolles, Paris, 1992, p. 112-113 et Philippe Gorre, Guide de l'innovateur, Chotard & associés éditeurs - ANVAR, Paris 1982, chapitre VII.

- *Le concept est-il clair et facile à comprendre ?* Réduites à quelques mots-clefs essentiels, la formulation du concept ne pose pas de problèmes de compréhension particuliers aux professionnels.

- *Ce produit correspond-il, pour vous, à un besoin réel ?* Oui, dans la mesure où il permet d'automatiser des protocoles d'expériences et d'éviter ainsi tout risque induit par les manipulations.

- *Quels sont les avantages d'un tel produit ? Et à l'inverse, ses points faibles ?* Il ne présente pas de points faibles s'il satisfait aux contraintes spécifiques à l'utilisation d'un matériel professionnel, notamment en matière de sécurité, de performance (précision des mesures), ergonomie (installation sur paillasse et simplicité d'utilisation).

- *Le besoin peut-il évoluer ?* Oui, mais vers d'autres applications intégrées à des systèmes de contrôle plus complexes.

- *Achèteriez-vous le produit ?* Très probablement.

- *Le besoin peut-il disparaître ?* C'est peu probable : il s'agit d'une amélioration fonctionnelle importante.

Un second exemple de test de concept est proposé par une P.M.E. spécialisée dans la mesure en zones industrielles à risques d'explosion (dans une usine chimique, par exemple). L'idée d'un multimètre parlant a été soumise à de nombreux clients dans le cadre de salons spécialisés.

Le multimètre parlant. La société a pu constater, auprès de certains de ses clients, des besoins particuliers de mesures (en volts et en ampères) dans des installations industrielles difficiles d'accès ne permettant pas la lecture directe d'un afficheur. L'idée qui découle de ce problème est d'équiper un multimètre classique d'une fonction de synthèse vocale, ce qui, à défaut de pouvoir lire la mesure, permettrait de l'entendre.

- *Le concept est-il clair et facile à comprendre ?* Réduites à quelques mots-clefs essentiels, la formulation du concept ne pose pas de problèmes de compréhension particuliers aux professionnels.

- *Ce produit correspond-il, pour vous, à un besoin réel ?* Il existe un besoin de mesures en volts et en ampères (les fonctions du multimètre) sur des sites industriels où la lecture d'un afficheur est impossible.

- *Quels sont les avantages d'un tel produit ? Et à l'inverse, ses points faibles ?* Il ne présente pas de points faibles s'il satisfait aux contraintes spécifiques à l'utilisation d'un matériel professionnel, notamment en matière de sécurité (prioritaire, en l'espèce !), performance (précision des mesures), ergonomie (qualité de la synthèse vocale), encombrement (celui d'un multimètre classique), poids...

- *Le besoin peut-il évoluer ?* Oui, mais vers d'autres applications intégrées à des systèmes de contrôle plus complexes.

- *Le besoin peut-il disparaître ?* C'est peu probable : il s'agit d'une amélioration fonctionnelle importante. Toutefois l'installation de capteurs spécifiques reliés à un centre de contrôle peut être, pour certains sites industriels, une solution de substitution.

- *Achèteriez-vous le produit ?* Très probablement.

2.3 Analyse globale du scénario commercial

Parmi les nombreux outils disponibles, la *grille de J.T. O'Meara*⁷ permet de donner une idée plus réaliste de la faisabilité commerciale du projet et de déterminer les niveaux de concurrence.

L'étude est menée au moyen de quatre critères d'évaluation :

- la *commercialisation* (circuits de distribution, rapport avec la gamme actuelle, rapport prix/performance) ;
- la *durée de vie du produit* ;
- la *production* ;
- le *potentiel de croissance*.

Reprenons l'exemple de la chambre de périfusion programmable. Le groupe de travail établit, sous la direction du chef de projet et à l'aide de la grille, diverses hypothèses commerciales basées sur une synthèse des informations recueillies. Les hypothèses retenues sont indiquées en tramé dans le tableau 1. Dans cet exemple, l'évaluation donne un résultat, plutôt encourageant, de 36/48.

2.4 Etude critique à partir d'un prototype

Dans cette démarche, l'équipe de conception réalise un prototype à partir des spécifications fournies par le panel d'utilisateurs⁸. Ce prototype est ensuite remis aux utilisateurs pour expérimentation. L'équipe de développement analyse les défauts constatés en utilisation et affine la conception en conséquence. Cette méthode, certes plus coûteuse, présente deux avantages :

- elle fait apparaître des fonctions oubliées en conception en analysant le comportement du produit dans son milieu naturel d'utilisation ;
- elle incite le client à accepter le produit en l'associant à sa conception.

2.5 L'exploration marketing

L'étude de marché est l'une des composantes techniques du marketing qui a pour but de construire l'offre de produit en direction des clients potentiels, donc de concevoir un produit en réponse à un besoin identifié avec précision, de déterminer quelle valeur nouvelle il apporte au client-cible par rapport à ce que proposent les produits concurrents. Elle contribue à réduire les risques associés à la commercialisation d'un nouveau produit. L'exploitation des résultats de l'exploration marketing (à l'aide de différentes techniques : enquête par questionnaire, entretiens semi-directifs, par téléphone) a pour but de permettre la formalisation des exigences des clients-cibles, de consolider ou au contraire d'imposer la révision des hypothèses de conception. Deux objectifs majeurs à la clef : le déploiement des constituants de la qualité (caractéristiques d'ingénierie) (voir chapitre 3) et la préparation du cahier des charges fonctionnel (voir chapitre 4).

Enfin, l'étude de marché constitue l'étape préliminaire indispensable pour justifier ou non une protection par brevet au plan national ou, par extension, à l'étranger. Quand les ressources (ou les motivations) font défaut, le dépôt d'une enveloppe Soleau est un bon réflexe peu coûteux (voir p. 10). Le lancement du projet prend appui sur une « rampe » marketing fiable, destinée à réduire les risques spécifiques à l'innovation.

⁷O'Meara (J.T.), « *Selecting profitable products* », Harvard Business Review, janvier-février 1961.

⁸Voir J. Davidson Frame, *Le nouveau management de projet*, AFNOR 1995, p. 60.

d'une *prévention active* : il s'agit de remonter le flux du produit, à partir des réclamations des clients, pour rechercher les causes des problèmes constatés. L'objectif est d'éviter qu'ils se reproduisent. C'est l'objet de la maîtrise de la qualité (*Quality Control*).

A l'inverse, pour les *nouveaux produits*, l'approche qualité doit suivre la genèse (ou le flux) du produit d'amont en aval, jusqu'à l'obtention des qualités attendues. Les exigences du client « *sont prises en compte dans le plan qualité et dans la conception de la qualité puis déployées selon une méthode rigoureuse jusqu'à la phase de production, en tenant compte des contraintes et spécificités de fabrication* »². Cette méthodologie est appelée **déploiement de la fonction qualité** et relève d'une démarche de *prévention prospective*.

La voix du client doit être entendue et comprise par l'ensemble centralisé et coordonné de tous les acteurs intervenant dans la genèse du produit. On compte au premier chef les responsables du marketing, (qui sont par fonction les plus proches des clients), mais également les concepteurs et les personnels de fabrication.

Le QFD est cet outil de travail en équipe qui permet à tous les intervenants de coordonner leurs efforts et leurs compétences respectives pour la réalisation d'un produit en tout point conforme à la demande du client.

En ce sens, le déploiement de la fonction qualité marque, outre le rapprochement du client et du producteur, la fin des cloisonnements fonctionnels dans l'entreprise. John R. Hauser et Don Clausing font l'analyse de cette culture de « fiefs » dans les compagnies³ et ses conséquences : un environnement coûteux et déprimant, de nombreuses actions correctives et au final la perte des avantages compétitifs.

2 La maison de la qualité

Les différents acteurs de la qualité (et donc en priorité le client qui exprime ses exigences), communiquent au sein de la **maison de la qualité**.

Cette maison est l'outil principal de la méthode : il s'agit d'un instrument graphique (une matrice) qui assure la mise en relation et la conversion des différents langages d'acteurs (voir le tableau 4). Elle permet entre autres de convertir ce que demande le client dans son langage à lui, à savoir les caractéristiques réelles, le *Quoi ?* (partie gauche) dans le langage du concepteur, le *Comment ?* (partie supérieure) et d'établir des corrélations entre les *Comment ?* (le toit de la maison).

La construction de la maison peut apparaître comme une opération complexe. Mais comme toujours, tout dépend du domaine et de l'objet d'application. Entre une démonstration indicative à partir d'un exemple simple (une machine à café) et un exposé complet sur les possibilités de la méthode appliquée à un problème de corrosion de carrosserie automobile, on peut choisir un compromis didactique le moins réducteur possible. Pour une application probante du QFD, il est conseillé de traiter une quantité suffisante de données dans des conditions d'applications réalistes.

Exemple : un projet de rénovation d'un journal

Ce projet concerne une association qui a pour mission la diffusion et la valorisation de l'information scientifique et technique. On aborde un produit de complexité moyenne, qui s'apparente surtout à un service. Sont amenés à coopérer au sein du groupe QFD l'équipe de rédaction, le trésorier, les différents services de composition, d'impression et de fabrication du journal.

²Yoji Akao, op. cit. p. 4.

³John R. Hauser et Don Clausing, La maison de la qualité, in : Harvard-L'Expansion, n° 51, Hiver 1988-1989, pp. 6-17.

Le questionnaire suivant est soumis à un échantillon de vingt lecteurs

– Quelles sont les modifications susceptibles d'être apportées dans la présentation du journal ? Évaluez de 1 à 5 le **degré d'importance** que vous accordez à chaque modification. Chaque degré, évalué par vous, constitue un objectif d'amélioration spécifique à atteindre pour la revue.

– Par son aspect, Gesi est-il encore loin, selon vous, de ressembler à un journal professionnel ? L'échelle ci-jointe vous permettra d'indiquer votre réponse.

[Exemple d'expression du choix : 1 2 3 4 5].

On propose aux lecteurs de l'échantillon de comparer le bulletin actuel à l'idée qu'ils se font d'un bulletin professionnel (sont citées en référence diverses publications d'organismes et d'associations importants). Ils doivent lister tous les attributs que doit posséder, selon eux, un journal de qualité professionnelle et susceptibles d'être pris en compte dans la rénovation de GeSi. Une échelle de 1 à 5 permet d'évaluer, pour chaque attribut, son **degré d'importance** et sa **qualité actuelle par rapport à la concurrence**. Après regroupement, le résultat se présente de la manière suivante⁴ :

Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3	Qualité	D°
Réaliser un journal « pro »	"Look" attrayant	Papier glacé	1 2 3 <u>4</u> 5	5
		Logo réactualisé	1 2 3 <u>4</u> 5	4
		Photo couleur	1 2 3 <u>4</u> 5	5
	Lecture plus facile	Illustrations	1 2 3 <u>4</u> 5	5
		Articles aérés	1 2 3 <u>4</u> 5	3
		Touches de couleurs	1 2 3 <u>4</u> 5	3
		Résumé introductif	1 2 3 <u>4</u> 5	2
	Express. correcte	Eviter les coquilles	1 2 3 <u>4</u> 5	4
		Eviter les « trous »	1 2 3 <u>4</u> 5	4
		Eviter erreurs signes math.	1 2 3 <u>4</u> 5	4

Chiffre souligné : perception de la qualité actuelle de GeSi par rapport à la concurrence.

D° : degré d'importance estimé pour chaque attribut.

Tableau 1 – Classement des attentes et perceptions des lecteurs

⁴ Les résultats obtenus ont encouragé le Bureau à soumettre à l'Assemblée un projet de rénovation qui le votera à une large majorité.

La différenciation par niveaux correspond à la spécification progressive des exigences, telles qu'elles peuvent être formulées par le client.

Ces exigences sont ensuite interprétées par l'équipe interfonctionnelle de conception et de fabrication du journal. Au vu des résultats, elle doit se livrer à une première réflexion stratégique : *comment améliorer sensiblement et à moindre coût la performance journalistique ?* En langage marketing, comment améliorer le *positionnement stratégique* ? La perception qu'ont les lecteurs du papier est plutôt bonne, compte tenu de la note 4 rapportée au degré d'importance (5). Pour cet attribut, une amélioration peut être envisagée pour un faible coût et un résultat satisfaisant. Un effort particulier reste à fournir dans le traitement des coquilles. Sur ce point, les auteurs peuvent être mis à contribution, ce qui évitera des frais de correction. En revanche, l'adjonction de coûteuses illustrations couleurs (quadrichromie) est un vrai problème (D° à 5, perception à 2) : des compromis devront être recherchés.

2.2 Etape 2 : traduire les exigences dans le langage du concepteur

Quelles sont les caractéristiques d'ingénierie à maîtriser dans le produit final susceptibles d'affecter les attributs énoncés par la clientèle, donc, dans l'exemple, destinés à satisfaire les exigences des lecteurs ? Quelles corrélations significatives établir entre ces caractéristiques et les attributs de la qualité demandée ? Les maçons de la qualité interviennent à ce niveau.

Reprenons l'exemple : dans la partie gauche de la maison, on fait figurer les attributs souhaités (déploiement de la qualité demandée) ; dans la partie supérieure, les caractéristiques qualité du produit final (déploiement des constituants de la qualité) ; dans la partie droite, le tableau de perception des lecteurs par rapport à un concurrent idéal (voir tableau 2).

Déploiement de la qualité demandée			Déploiement des constituants de la qualité		Identité visuelle		Lisibilité						Composition (résultat)			Perception
Niv. 1	Niv. 2	Niveau 3	Couché brillant	Idée-force du logotype	Grammage	Trame en quadrichromie	Nb. de mots dans chapeau	Nombre des intertitres	Densité des aplats	Contraste des illustrations	Mise en page	orthographe	Saisie textes	Saisie équations		
Réaliser un journal professionnel	"Look"	Papier glacé	5												1 2 3 4 5	
		Logo réactualisé	4												1 2 3 4 5	
		Photos couleur.	5												1 2 3 4 5	
	Lecture															
		Illustrations	5												1 2 3 4 5	
		Articles aérés	3												1 2 3 4 5	
		Touches de couleurs	3												1 2 3 4 5	
	Résumé introductif	2												1 2 3 4 5		
	Expression															
		Coquilles	4												1 2 3 4 5	
		"Trous"	4												1 2 3 4 5	
	Erreurs mathématiq.	4												1 2 3 4 5		

Tableau 2 – Les caractéristiques d'ingénierie en réponse à la qualité demandée

On remarque que plusieurs caractéristiques d'ingénierie (ou constituants de la qualité) peuvent affecter un seul attribut.

C'est le cas du **grammage** (poids en grammes au m^2) et de la caractéristique *couché brillant* qui concernent l'attribut *qualité du papier*.

De même, la qualité demandée **articles aérés** est affectée par le *nombre des intertitres*, le *nombre des illustrations* et la *mise en page*.

A l'inverse, une seule caractéristique peut concerner plusieurs attributs : la technique du **scanner** permet d'éviter les erreurs de saisie manuelle (oublis de mots ou de phrases, coquilles ou oublis dans les formules mathématiques).

En toute rigueur, le choix des caractéristiques d'ingénierie sont choisies selon deux critères : leur **mesurabilité** et leur **perceptibilité**. Le **grammage** (le poids en grammes au m^2), le **couché brillant** (le papier glacé), les astuces de mise en page, l'aspect contrasté des photos sont des qualités ressenties par le client. Pour certaines de ces caractéristiques, on ne dispose pas toujours d'unités de mesures prédéterminées. Par exemple, les différentes qualités de papier sont désignées par des références qualitatives (*Jumbo*, *couché sans bois et sans chlore* pour le papier *couché brillant*). C'est le cas également de la *force d'expressivité du logotype* dont la réactualisation est souhaitée. On quantifie ces caractéristiques en notant, par exemple sur 10 et pour chaque caractéristique concernée, différents niveaux de qualité. Par exemple, le papier *Jumbo* est un papier de haut de gamme évalué à 8 sur 10. Pour le logo, l'équipe convient d'un barème identique : le logo actuel est évalué à 5 et un logo professionnel, par exemple, à 9/10.

Pour l'exigence d'une **photographie couleur**, qui participe de l'identité visuelle du journal (si, de surcroît, la couleur intervient en couverture), le constituant qualité correspondant peut s'exprimer en termes de *définition de la trame* (nombre de points par cm^2 , soit, par exemple, 300 points/ cm^2 pour une qualité maximale).

L'exigence d'une **lecture plus facile** se spécifie, entre autres, au niveau 3, par les attributs *touches de couleurs*. Un meilleur repérage des intertitres au moyen d'aplats par exemple de couleur cyan peut constituer une réponse technique appropriée.

L'évaluation du **rendu des couleurs** dans les aplats s'exprime en *valeurs d'encre* dont on mesure la *densité*. Un aplat de cyan, pour un rendu satisfaisant, doit avoir une densité d'encre de 140.

Le constituant **mise en page**, qui affecte également la demande de *lecture plus facile*, peut être mesuré en pourcentage d'espace de page non utilisé. Le bulletin actuel, monté à la mode artisanale, présente de nombreux « blancs » dont l'importance est estimée à 20% de la page en moyenne.

L'exigence d'**expression correcte** se décline en trois attributs de niveau 3 : *éviter les coquilles* (5 par page en moyenne, dans le GeSi actuel), *éviter les trous* (des pans de texte oubliés à la saisie, 1 par 5 pages, soit 0,2 par page), *éviter les erreurs dans la reproduction des formules mathématiques* (erreurs de signes, par exemple), estimées à 0,5 par page. L'ensemble de ses mesures figure dans le sous-sol de la maison de la qualité (voir tableau 4) et permet de déterminer les valeurs-cibles utilisées dans la planification de la qualité.

2.3 Etape 3 : établir des corrélations entre exigences et caractéristiques

L'équipe interfonctionnelle s'efforce maintenant de mettre en évidence et d'évaluer le degré de corrélation entre les constituants de la qualité et les exigences formulées par le client. L'analyse et l'évaluation du poids de ces constituants (ou caractéristiques) dans la satisfaction de ces exigences sont des éléments importants du dialogue utilisateur-concepteur.

L'expression matricielle des corrélations prend la forme de conventions symboliques notées à l'intersection des axes x et y. Yoji Akao identifie trois types de corrélations : une corrélation forte, qu'il figure (par exemple) par un ⊗, une corrélation moyenne, notée ○, une corrélation faible indiquée par un △. Ces symboles expriment ce que notre auteur appelle la « polarisation stratégique », autrement dit l'objectif stratégique à atteindre sur lequel doivent porter prioritairement les efforts (voir p. 22).

Des variantes sont possibles. Pour notre part, on a utilisé les caractères « wingdings » de Word 6, symboles auxquels on attribue un poids (voir tableau 3). Pour cette opération, l'équipe s'appuie sur l'expérience des professionnels de l'imprimerie.

Dans l'exemple du papier, on note une corrélation forte et positive entre l'exigence d'un papier plus luxueux et le choix de conception : le professionnel propose un papier *couché brillant* qui devient alors une caractéristique de la qualité du produit fini, appelée encore caractéristique critique ou caractéristique significative (voir tableau 4).

On note de même une corrélation étroite et positive entre l'exigence de *photos couleur* et le constituant *définition de la trame en quadrichromie*. On note également que ce constituant est en corrélation moyenne et positive avec d'autres exigences (illustrations, logo, touches de couleurs). Il est possible d'en calculer l'importance relative par rapport aux autres constituants en sommant les différentes valeurs de corrélations (voir tableau 5).

Le nombre des intertitres et la mise en page contribuent fortement à une lecture plus facile. Il y a également corrélation étroite et positive. Le nombre des illustrations peut intervenir, mais dans une moindre mesure, dans la satisfaction de cet attribut. Il y a donc *corrélation moyenne*. Le même raisonnement peut être fait pour tous les attributs.

⊗	Corrélation forte/positive	2
○	Corrélation moyenne/positive	1
⊗	Corrélation moyenne/négative	-1
●	Corrélation forte/négative	-2

Tableau 3 – Les types de corrélation

On doit, de la même manière, mettre en évidence des corrélations **entre les caractéristiques elles-mêmes**, et en particulier des corrélations conflictuelles : c'est la fonction du toit (voir tableau 4).

On remarque une *corrélation forte et négative* entre les constituants *définition de la trame en quadrichromie* et *nombre des illustrations*. Pour être plus précis, elle se justifie surtout par l'usage de la quadrichromie et le fort accroissement des coûts qu'elle entraîne. Il faudra donc, à ce niveau, rechercher des compromis.

Une corrélation conflictuelle est également possible entre les caractéristiques *nombre des intertitres* et *densité des aplats*. Le risque (esthétique) est l'usage agressif des taches de couleur cyan dans une même page. En revanche, on peut faire apparaître une corrélation forte et positive entre *densité des aplats* et *couché brillant* : l'objectif est alors de renforcer l'effet esthétique.

2.4 Etape 4 : planifier la qualité

On fait figurer les grandeurs mesurables des caractéristiques techniques (ou constituants de la qualité) au bas de la maison. Dans le tableau 4, pour chaque constituant, on a noté trois choses : le poids des constituants (qui sont le poids des corrélations : voir tableau 3), les valeurs des constituants correspondant au bulletin actuel et les valeurs correspondant à un journal professionnel qu'on assimilera aux objectifs techniques de GeSi. La mise au

point des objectifs stratégiques pour la planification de la qualité dans le projet de rénovation doit faire également l'objet d'une quantification comparée. On mettra donc en évidence le taux d'amélioration et le poids des qualités demandées.

– **Le taux d'amélioration.** Yoji Akao et al. l'expriment de la manière suivante⁵ :

$$\text{niveau cible planifié} / \text{niveau actuel de notre produit}$$

Déploiement de la qualité demandée			Déploiement des constituants de la qualité				Identité visuelle		Lisibilité				Composition (résultat)			Perception		
			Degré d'importance				Couche brillant	Idée-force du logotype	Grainage	Trame en quadrichromie	Nb de mots dans chapeau	Nombre des intertitres	Densité des aplats cyan	Nombre des illustrations	Mise en page		Orthographe	Saisie textes
Niv. 1	Niv. 2	Niveau 3																
Réaliser un journal professionnel	"Look"	Papier glacé	5	😊		😊												1 2 3 4 5
		Logo réactualisé	4		😊		😊											1 2 3 4 5
		Photos couleur	5				😊					😊						1 2 3 4 5
	Lecture	Illustrations	5				😊					😊						1 2 3 4 5
		Articles aérés	3							😊		😊	😊					1 2 3 4 5
		Touches de couleur	3				😊				😊	😊	😊					1 2 3 4 5
		Résumé introductif	2					😊				😊	😊					1 2 3 4 5
	Expression	Coquilles	4						😊	😊				😊				1 2 3 4 5
		"Trous"	4												😊			1 2 3 4 5
		Erreurs mathémat.	4														😊	1 2 3 4 5
		Poids des constituants	2	2	1	5	3	4	2	4	4	4	2	2				
Mesures	Unités de mesure		éval.	éval.	g	Nb. pts/cm²	mots	nb/p	densité	nb/p	%	nb/p	nb/p	nb/p				
	GeSi actuel		8/10	5/10	90	×	×	1	1.70	0,5	20	5	0,2	0,5				
	Journal professionnel		8/10	9/10	90	300	50	3	1.40	2	10	0	0	0				

Tableau 4 – La maison de la qualité

A partir de l'exemple de l'exigence *photo couleur*, on peut tenir le raisonnement suivant : cet attribut a une note de 5 pour le degré d'importance (ainsi en jugeant les lecteurs), une note de 2 pour l'évaluation du bulletin actuel.

Par convention, on a estimé que le concurrent professionnel pouvait obtenir une note de 5. Dans ce cas précis, il est impératif de viser le niveau 5. Le taux d'amélioration recherché sera donc de $5/2 = 2,5$. Le même raisonnement doit être appliqué à la totalité des attributs.

– **Le poids des qualités demandées.** Compte tenu des choix stratégiques de l'entreprise, quel peut être le poids des qualités demandées dans la planification de la qualité ?

⁵Op. cit. p. 28.

Le mode de calcul proposé par les auteurs est le suivant :

dégré d'importance x taux d'amélioration x polarisation stratégique = poids absolu, puis transformation du poids absolu en % de la valeur totale de tous les poids absolus.

Qualité demandée		Plan qualité							
		Degré d'importance	Analyse concurrentielle		Planification			Pondération	
			Notre produit	Journal professionnel	Qualité planifiée	Taux d'amélioration	Polarisations stratégiques	Pondération absolue	Pondération qualité demandée
Niv. 1	Niveau 2								
Look attrayant	Papier glacé	5	4	5	5	1,25	☺	12,5	13,3
	Logo réactualisé	4	3	5	4	1,33	☺	10,6	11,4
	Photos couleur	5	2	5	5	2,5	☺	25	26,9
	Illustrations					...		...	...
	Articles aérés							...	...
Total								93	100

Tableau 5 – Diagramme de déploiement de la qualité demandée

Les choix stratégiques sont relatifs à la volonté de renforcer et d'enrichir l'identité visuelle du journal. On donnera la valeur de 2 (J) aux exigences liées à cette identité et 1 (K) à *Lecture plus facile* et *Expression correcte*.

On limitera cette application à l'exigence « Look » attrayant. On aura donc pour le calcul du poids absolu de l'exigence *Photos couleur* : $5 \times 2,5 \times 2 = 25$.

Pour le poids de la qualité demandée (total des poids absolus = 93) : $25/93 \times 100 = 26,9$.

L'ensemble des valeurs relatives à « Look » attrayant sont présentés dans la tableau 5. La qualité demandée *Photos couleur* a le poids le plus élevé (26,9). L'équipe est convaincue que le succès de la revue passera principalement par une identité visuelle améliorée, notamment par la décision d'investir dans la quadrichromie.

3 Les quatre phases du QFD

Les souhaits du client sont répercutés à chaque étape de la genèse du produit jusqu'au stade de fabrication selon le même raisonnement matriciel (voir tableau 6).

Dans la première maison, on fait figurer le plan qualité constitué des caractéristiques ou constituants critiques mesurables de la qualité. Ce sont les moyens par lesquels l'ingénieur compte satisfaire les exigences du client. Dans une seconde maison, ces caractéristiques sont présentées à leur tour comme des exigences à satisfaire, et les moyens critiques de la qualité déployés sont les sous-systèmes et les composants (ou les pièces) qui entrent dans la conception détaillée du produit. Dans notre exemple

d'imprimerie, il s'agira du film, du montage, de la plaque (la matrice qui servira à l'impression), du blanchet (le support en caoutchouc sur lequel la feuille est imprimée) et enfin de la feuille imprimée.

Dans une troisième maison, les procédés nécessaires à la fabrication (flashage, imposition pour le montage, insolation, développement, impression) deviennent les moyens par lesquels seront réalisées les pièces, et enfin dans la maison de la production seront déployées les directives de travail et de contrôle ou encore les spécifications de production qui permettront de réaliser les caractéristiques qualités déduites des exigences du client.

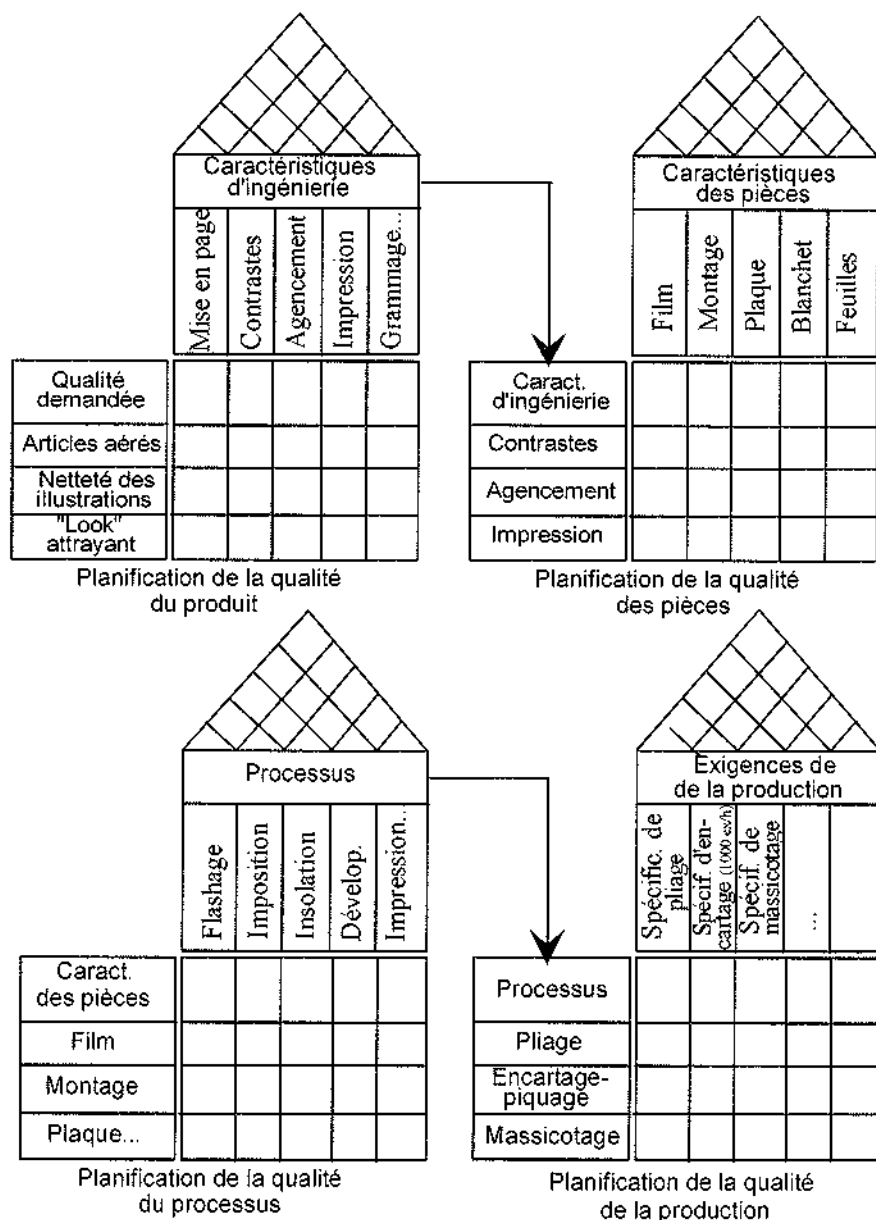


Tableau 6 – Les 4 phases du QFD : la voix du client porte jusqu'au stade de fabrication

4 Application électronique : le plan QFD du Mididanse

Un exemple de projet technique, le *Mididanse*⁶, illustrera cette méthodologie.

Un élève de Conservatoire de musique, fort d'une idée d'instrument de musique originale, consulte un centre de recherche et de développement en électronique. Son objectif est de réaliser un prototype en vue d'une industrialisation de son produit. Il sollicite une bourse Jeunes auprès de l'ANVAR. Il fait appel aux compétences du centre pour la conception du prototype et l'étude de marché.

Le **Mididanse** est une interface électronique permettant de capter les mouvements d'un danseur et de les restituer en musique. Le système est composé d'un réseau de capteurs et d'émetteurs infrarouges et hautes fréquences qui détectent les positions et les mouvements des danseurs sur scène, d'un microcontrôleur qui traite instantanément ces informations et les restitue à la norme Midi, d'un logiciel qui pilote un synthétiseur (clavier, boîte à rythmes). Le clavier est éliminé! Le danseur compose directement sa propre musique (voir figure 1).

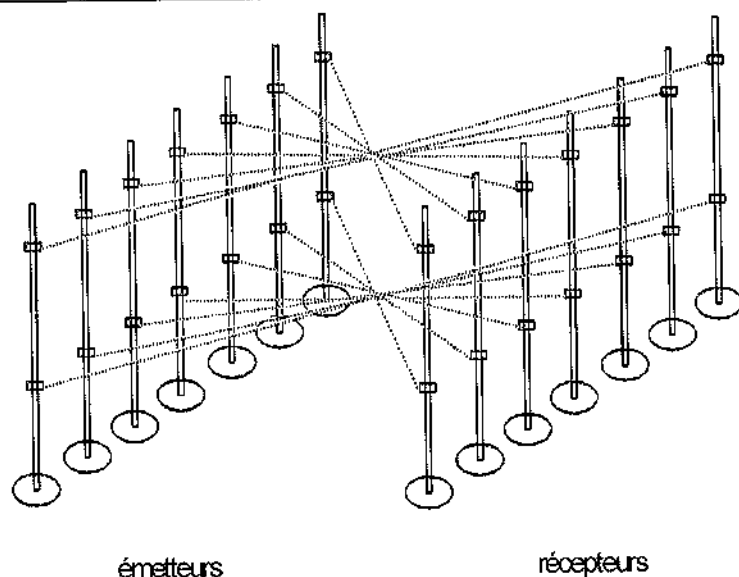


Figure 1 – Principe du rayonnement dans le Mididanse

Les deux possibilités fonctionnelles principales sont, pour les différents niveaux :

- *pouvoir composer sa musique* (en dansant), donc, au niveau 2, jouer les notes en évoluant dans le champ de rayonnement. Ce qui implique au niveau 3 :
 - jouer une note ;
 - faire varier l'intensité de la note (vélocité) ;
 - moduler la note.
- *pouvoir danser* (en composant sa musique), donc, au niveau 2, évoluer sans contraintes dans le champ de rayonnement. Ce qui implique au niveau 3 :
 - ne pas heurter les supports ;

⁶Cet exemple est repris aux chapitres 9, 10 et 14.

- entrer/sortir aisément du champ de rayonnement ;
- obtenir une grande souplesse d'utilisation chorégraphique du clavier infrarouge.

La maîtrise simultanée de ces deux activités par un danseur-musicien requiert du système une très grande docilité fonctionnelle.

Sont ainsi déployés les constituants de la qualité d'un appareil qui doit offrir de sérieuses garanties de précision et de fiabilité.

On note en particulier, dans le toit, l'existence d'une relation forte négative entre l'encombrement des supports et le constituant *Couper les faisceaux infrarouges*, qui est la caractéristique de base du système. Les supports constituent en effet une gêne importante pour les danseurs. La maison de la qualité de ce projet est présentée dans le tableau 7.

Diagramme de déploiement des constituants de la qualité			Constituants de la qualité	Performances instrumentales				Applications chorégraphiques			
				Niveau 1		Niveau 2		Niveau 3		Caractéristiques et positions des supports	
Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3		Couper faisceaux IR	Emettre des ultrasons	Couper faisceaux IR	Agrir sur la fréquence de la note	Faible encombrement des supports	Orientabilité et stabilité des supports	Fiabilité et précision des transmissions IR	Géométrie du rayonnement infrarouge
1. Composer sa musique en dansant	11. Jouer les notes	111. Jouer une note	⊕	⊕				⊗		⊕	
		112. Faire varier l'intensité de la note (vitesse)	⊕								
		113. Moduler la note			⊕	⊕					
2. Danser tout en composant sa musique	21. Evoluer sans contraintes dans le champ délimité par le système	211. Ne pas heurter les supports						⊕			
		212. Entrer/sortir aisément du champ infrarouge						⊕	⊕		
		213. Obtenir une grande souplesse d'utilisation chorégraphique du clavier infrarouge		⊕					⊕		⊕
3. Installer...	31. ...	311. ...									

⊕ Corrélation fortement positive / ⊕ Corrélation positive / ⊗ Corrélation négative

Tableau 7 – Le plan qualité du Mididanse

La pratique de la méthode QFD suppose, plus que toute autre méthode, l'aménagement de pratiques interdisciplinaires. Un minimum de conditions réalistes s'impose associant tous les acteurs de la fonction Qualité, à commencer par le client. Deux objectifs sont à réaliser à travers l'application de la méthode :

- la formation à une *culture de la coopération* entre les spécialistes (ingénierie, marketing...), aux techniques et aux finalités d'un langage commun au service de la qualité,
- une *sensibilisation à l'écoute du client*, donc à son intégration dans le processus de conception du produit⁷.

⁷Voir point de vue de Arnaud Méric de Belfon, Directeur de Recherche à Bassard Consultants, in : Harvard-L'Expansion, op. cit. p. 18.

Chapitre 4

Analyser les fonctions

L'analyse fonctionnelle est une *méthode de recherche systématique* des fonctions que doivent remplir un produit, un service ou un ouvrage conçus pour répondre à un besoin spécifié¹. Utilisée en *conception*, mais également dans l'analyse des *modes de défaillances* (AMDEC...) pour l'amélioration des produits existants, elle peut intervenir avec profit à tous les stades de la vie d'un produit : marketing, conception, amélioration, production, essais, maintenance, destruction.

Toutes les professions impliquées dans l'analyse du besoin, la conception, la réalisation, le contrôle d'un produit ou d'un procédé, sont concernées par cette méthodologie. Ce sont, par exemple, les responsables marketing, les maîtres d'ouvrages, les ingénieurs et les techniciens (conception, méthodes), les qualitatifs, les designers, les acheteurs... L'analyse fonctionnelle doit occuper une place majeure dans les phases amont d'un projet. Elle permet de définir et de hiérarchiser les différentes fonctions du produit et leur niveau de performance tels qu'ils apparaissent dans le **cahier des charges fonctionnel**.

L'expression contractuelle du besoin du client est formalisée dans un document qui prolonge le CdCF : la *spécification technique du besoin* (STB). Ce document fige quatre types de références :

- les *exigences fonctionnelles* du produit, issues de l'analyse fonctionnelle ;
- les *exigences de sûreté de fonctionnement*, définies en termes de fiabilité, de maintenabilité, de sécurité, de robustesse ;
- les *exigences relatives à la conception* (solutions techniques imposées, composants normalisés à étudier, interfaces) ;
- les *exigences relatives à la qualification et à l'acceptation du produit* dans le cadre des procédures visant à établir la conformité du produit défini au besoin spécifié et la conformité du produit réalisé au produit défini².

1 L'expression du besoin

La norme AFNOR NFX 50150 définit le besoin comme étant une « *nécessité ou un désir éprouvé par l'utilisateur, et non le volume du marché. Un besoin peut être exprimé ou implicite, avoué ou inavoué, latent ou potentiel. Dans tous les cas, il constitue le besoin à satisfaire pour lequel l'utilisateur est prêt à faire un effort* ». Le besoin est au cœur d'un dialogue premier et décisif entre le demandeur et le fournisseur. Il doit être exprimé et compris de manière à « *conduire la progression technique vers la solution la mieux*

¹Voir l'ouvrage collectif de l'AFAV, Exprimer le besoin (op. cit.) et le mémento Afnor de Robert Tassinari, L'analyse fonctionnelle, 1995.

²Voir Jean Cavallès et al., Méthodes de management de programme, Teknea, Toulouse, 1995.

adaptée [...], c'est-à-dire la mise en relation entre ce qui est attendu du produit et sa propre concrétisation » (norme NF X 50100).

2 Les catégories de fonctions

La norme AFNOR X150-150 définit la fonction comme *l'action d'un produit ou de l'un de ses constituants exprimés exclusivement en terme de finalité*. Elle constitue l'interface conceptuelle, immatérielle, entre le besoin et le produit. La règle veut que les fonctions soient exprimées à l'aide d'un verbe à l'infinitif, assorti si nécessaire d'un complément. Cette règle de grammaire présente l'avantage d'éviter les ambiguïtés sémantiques liées à l'usage des substantifs. L'analyse fonctionnelle distingue quatre catégories de fonctions :

2.1 Les fonctions principales ou fonctions de service

Ce sont les fonctions qui réalisent le service attendu par le client.

- **Elles peuvent être utilitaires :**

- pour un réfrigérateur : conserver les aliments au froid,
- pour un compte-tours : mesurer la vitesse du moteur,
- pour une lampe de poche : faire l'appoint de lumière.

- **Elles peuvent être relationnelles :**

- pour une séance de cinéma dans une maison de retraite : distraire les pensionnaires...

- **Ou encore pédagogiques :**

- pour un cours de guitare : enseigner la technique des accords barrés.

- **Ou enfin sémiologiques :**

- pour un parfum : signifier une certaine forme de courtoisie, contribuer au pouvoir de séduction.

2.2 Les fonctions secondaires

On dit souvent qu'un produit est conçu pour satisfaire, en plus de sa fonction principale, un besoin complémentaire (ou secondaire). Ceci est vrai si l'on ajoute que ce besoin est induit par la fonction principale. On aura par exemple :

- pour un stylo, être esthétique, être agrafable, ne pas salir les poches, ne pas sécher trop vite, etc.
- pour un réfrigérateur américain, donner l'heure...
- pour une lessive, ne pas abîmer les mains, ne pas polluer...

A fonction principale égale, les fonctions complémentaires participent au jeu concurrentiel. A la condition toutefois de fournir au client des services susceptibles d'être réellement utilisés.

2.3 Les contraintes

Les contraintes sont des fonctions imposées au produit par l'environnement d'utilisation, l'état des technologies, les règlements et les normes. Elles peuvent être également définies comme des fonctions d'adaptabilité du produit à son environnement global. Les contraintes les plus sévères interviennent dans le domaine de la sécurité.

2.4 Les fonctions techniques

Les fonctions techniques sont des propriétés internes et spécifiques au produit. Elles sont définies par les modes d'interaction des constituants ou des procédés du système. Elles correspondent à un type de solution imaginée par le concepteur pour la réalisation de la fonction principale, le but de l'analyse de la valeur étant de réduire le nombre de ces fonctions en cherchant à maintenir ou à améliorer la performance du produit.

De nombreuses méthodes d'analyse fonctionnelle ont pour but la recherche exhaustive et la représentation logique, abstraite et immatérielle des fonctions à satisfaire. On examinera sans doute les plus connues : la technique de représentation graphique des interacteurs (la « pieuvre » de la société APTE³), la méthode FAST (*Functional Analysis System Technique*) et la méthode IDEFØ (voir chapitre 5).

3 Le groupe de travail

L'analyse fonctionnelle ne doit pas être l'exclusivité du bureau d'études. De multiples compétences sont nécessaires, d'une part pour la collecte de toutes les informations concernant la nature du besoin, d'autre part pour la recherche systématique des fonctions du produit étudié. Les spécialistes de la méthode préconisent la constitution d'un *groupe de travail pluridisciplinaire*⁴ réunissant 6 à 8 spécialistes du sujet étudié sous la direction d'un animateur confirmé :

- un responsable du service marketing ou commercial,
- des ingénieurs du bureau d'études, des méthodes, du design,
- un responsable du service financier,
- un spécialiste qualité,
- des responsables du service achat, de l'après-vente, de la production,
- des utilisateurs du futur produit...

4 La recherche des fonctions

Une méthode simple consiste à identifier tous les *éléments extérieurs* qui interagissent avec le produit et ce pour l'ensemble de son cycle de vie, de sa fabrication à sa destruction. Les fonctions du produit ne se limitent pas à celles liées à son utilisation. Les conditions de stockage et de transport, les nécessités d'installation et de maintenance doivent être prises en compte dans la recherche des fonctions.

L'environnement d'un produit, quelle que soit la phase du cycle de vie, est composé des éléments, actifs ou passifs, dynamiques ou inertes, matériels ou immatériels, qui interagissent avec lui. Ils sont pris en compte pour la recherche des fonctions. On aura par exemple :

- des personnes (opérateur, installateur, utilisateur, réparateur...),
- des animaux, des insectes, des microbes,
- des machines,

³ Dans ce chapitre, nous ferons plusieurs emprunts conceptuels à la société APTE, cabinet spécialisé dans la méthodologie de l'analyse de la valeur, auteur notamment du fameux graphisme de la rosace ou de la pieuvre.

⁴ Voir Robert Tassinari, *Pratique de l'Analyse fonctionnelle*, Dunod, Paris 1992, p. 31.

- des fluides,
- des éléments climatiques,
- des éléments physiques inertes (terrain, rochers...),
- des phénomènes physiques actifs (ondes électromagnétiques),
- des éléments institutionnels (normes, règlements...),
- des éléments culturels, etc.

En théorie, le besoin correspond à la nécessité d'agir sur cet environnement au moyen d'un produit (potentiel, donc techniquement inconnu s'il n'est pas encore conçu, ou existant, s'il doit être amélioré) susceptible de générer des fonctions.

Dès lors, on identifiera :

- le besoin,
- les éléments de l'environnement,
- les fonctions d'un produit,
- le produit et ses fonctions techniques.

Exemple simple : un enseignant désire rédiger une partie de son cours sur un tableau blanc. Il dispose, dans son environnement, de plusieurs éléments sur lesquels il se propose d'agir (les élèves, sa propre main, etc.) ou d'utiliser de façon optimale (l'éclairage de la salle de cours, le support du tableau pour les crayons, de l'alcool pour nettoyer, etc.). Son besoin est de mieux faire passer son message en utilisant les moyens disponibles. Il lui manque toutefois un outil indispensable : un marqueur spécial qui lui permettrait d'optimiser toutes ces ressources. Logiquement, la première étape d'identification de ce produit consiste à lister, à partir des éléments extérieurs, toutes les fonctions qu'il devra satisfaire. Ensuite il pourra l'acheter s'il existe ou ... déposer un brevet après sa conception.

Toutes ces propositions sont représentées dans la figure 1.

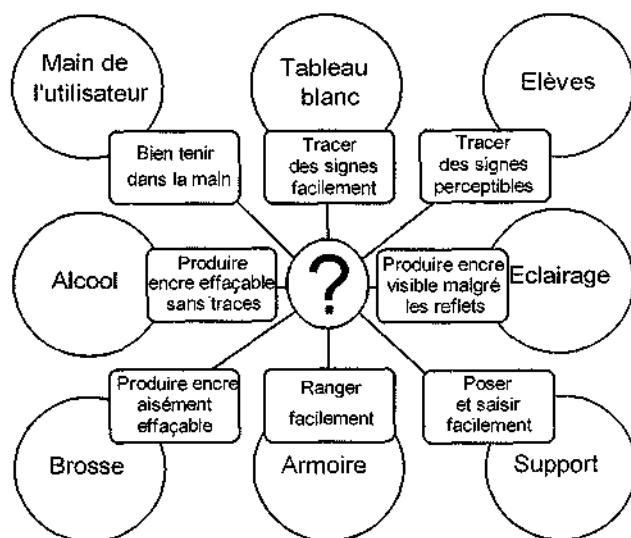


Figure 1 – Recherche des fonctions du marqueur

Ces éléments peuvent développer entre eux des *relations d'interaction* via le système à étudier, d'où le nom d'*interacteurs* qu'on leur donne parfois. C'est

précisément l'analyse de ces interactions qui doit aider à la recherche des fonctions du système.

- les *fonctions de service* sont caractérisées par des interactions entre plusieurs éléments extérieurs ; c'est le cas, dans l'exemple d'un marqueur, de l'élément *élève* et de l'élément *tableau blanc* ; la relation entre ces deux éléments va commander l'émergence de fonctions de service qu'il faudra identifier, par exemple produire une encre visible ou facilement effaçable (voir plus bas l'exemple du compte-tours) ;
- les *contraintes* définissent des interactions qui s'établissent seulement entre le système et des éléments de son environnement ; par exemple, notre crayon ne doit pas tacher les doigts, il doit plaire à son utilisateur.

L'analyse des composantes de l'environnement doit donc permettre d'orienter la recherche, en groupe de travail, des fonctions de service du produit et des contraintes auxquelles il doit satisfaire.

On peut utiliser alors des techniques graphiques comme la *rosace®* du cabinet APTE, graphe de type polaire figurant les liaisons entre le produit et les éléments de son environnement et les fonctions.

– **Exemple d'application : le compte-tours sans fil.**

On se propose de concevoir un système qui aurait pour fonctions de calculer et d'afficher la vitesse de rotation d'un moteur facilement adaptable à différents véhicules de faible cylindrée. Le système doit permettre de capter, de traiter les signaux émis par la bobine, signaux dont la fréquence sera proportionnelle à la vitesse de rotation du moteur. Il n'a aucune liaison mécanique et électrique avec le moteur ou toute autre partie du véhicule, seule une antenne permet de capter les impulsions émises par la bobine.

Parmi les composantes potentielles de l'environnement d'un tel système, les ondes électromagnétiques émises, par exemple, par des lignes haute tension ont une importance majeure (elles provoqueront un dysfonctionnement du système lorsque le véhicule passera sous les lignes). C'est le cas également du moteur et de ses parasites, et bien sûr du conducteur. Le graphique de la pieuvre permet au groupe de travail d'explorer de façon rationnelle (donc, non intuitive) toutes ces composantes et d'en représenter les interactions (voir figure 2).

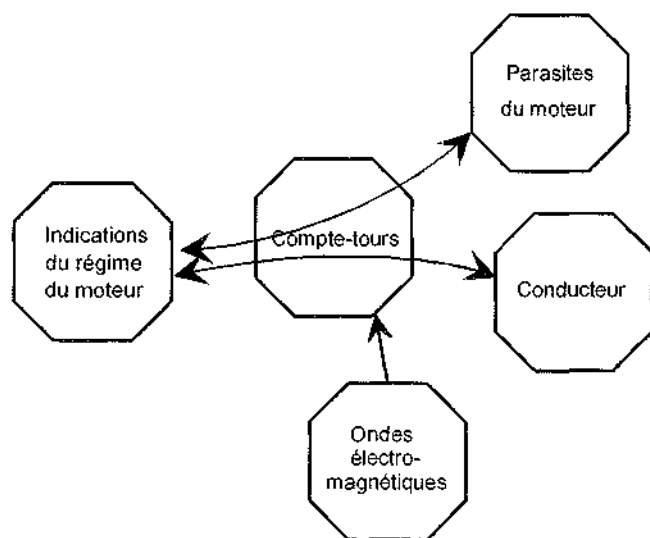


Figure 2 – Les interacteurs dans le compte-tours

Quel est le besoin?

L'utilisateur (un automobiliste, un motocycliste...) doit pouvoir, à l'aide de ce système, *contrôler le régime de son moteur*.

On note trois interactions principales :

- l'interaction entre l'utilisateur et le régime du moteur ; la fonction est : *donner des indications de vitesse* ;
- l'interaction entre les impulsions émises par la bobine, détectées et traitées par le système, et le régime du moteur ; la fonction qui en découle est *afficher la vitesse du moteur* : c'est la fonction principale ;
- l'interaction « contrainte » entre les O.E.M. et le système de détection, qui imposera aux concepteurs d'imaginer des solutions techniques pour pallier cet inconvénient.

L'application d'une telle méthode se heurte parfois, dans le groupe de travail, au désir de proposer (ou d'imposer) au demandeur une solution technique. C'est un réflexe technicien qui a pour inconvénient majeur de méconnaître tous les contours du besoin. Ce « *technocentrisme* », reflet d'une culture technique forte et exclusive, a pour principal inconvénient d'induire des coûts injustifiés. La question-clé à laquelle doit toujours se raccrocher le groupe est : *à quoi va servir le système à concevoir ?* Cette méthode donne de bons résultats mais ne permet pas de faire apparaître les relations de dépendance logique entre les fonctions. La méthode FAST présente cette particularité.

5 La méthode FAST

Cette méthode complète la boîte à outils d'analyse fonctionnelle en introduisant des paramètres de liaison entre les fonctions. Elle peut être utilisée avec profit pour la reconception de produits existants. Pour le développement de produits nouveaux, il est recommandé d'établir la liste des fonctions à l'aide de la méthode précédente pour les ordonner ensuite à l'aide du diagramme FAST. La fonction de représentation logique de la méthode FAST permet de contrôler l'exhaustivité des fonctions que doit satisfaire le produit. Les trois cheminements logiques du diagramme (Comment ? Pourquoi ? Quand ?) mettent en évidence les fonctions inutiles ou au contraire les omissions dans la recherche des fonctions.

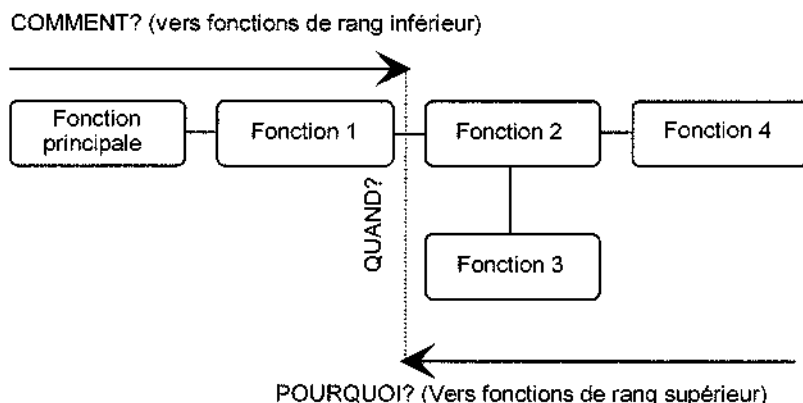


Figure 3 – Principe de la méthode FAST

Le diagramme FAST doit être tracé de gauche à droite selon deux axes de questionnement : l'axe gauche-droite du *Comment ?* et l'axe inverse du *Pourquoi ?* On place à gauche la fonction principale, la réponse à la question *Comment ?* permettant de

déduire les fonctions qui la réalisent. Les fonctions justifiant une réponse à la question *Pourquoi ?*, donc logiquement orientées vers la fonction principale, sont dites de *rang supérieur*. La chaîne du *Comment ?*, qui relie les fonctions de rang inférieur, met en évidence le *chemin critique*. Les réponses à la question *Quand ?* déterminent les fonctions qui doivent être satisfaites simultanément (Voir figure 3).

– Exemple d'application : Le portail automatique.

L'objectif est de concevoir une carte électronique contrôlant le fonctionnement complet d'un portail. Celui-ci doit bien sûr s'ouvrir et se fermer mais il doit posséder d'autres fonctions essentielles pour ce type de produit (sécurité, différentes vitesses...). La figure 4 représente le diagramme FAST détaillé de ce projet.

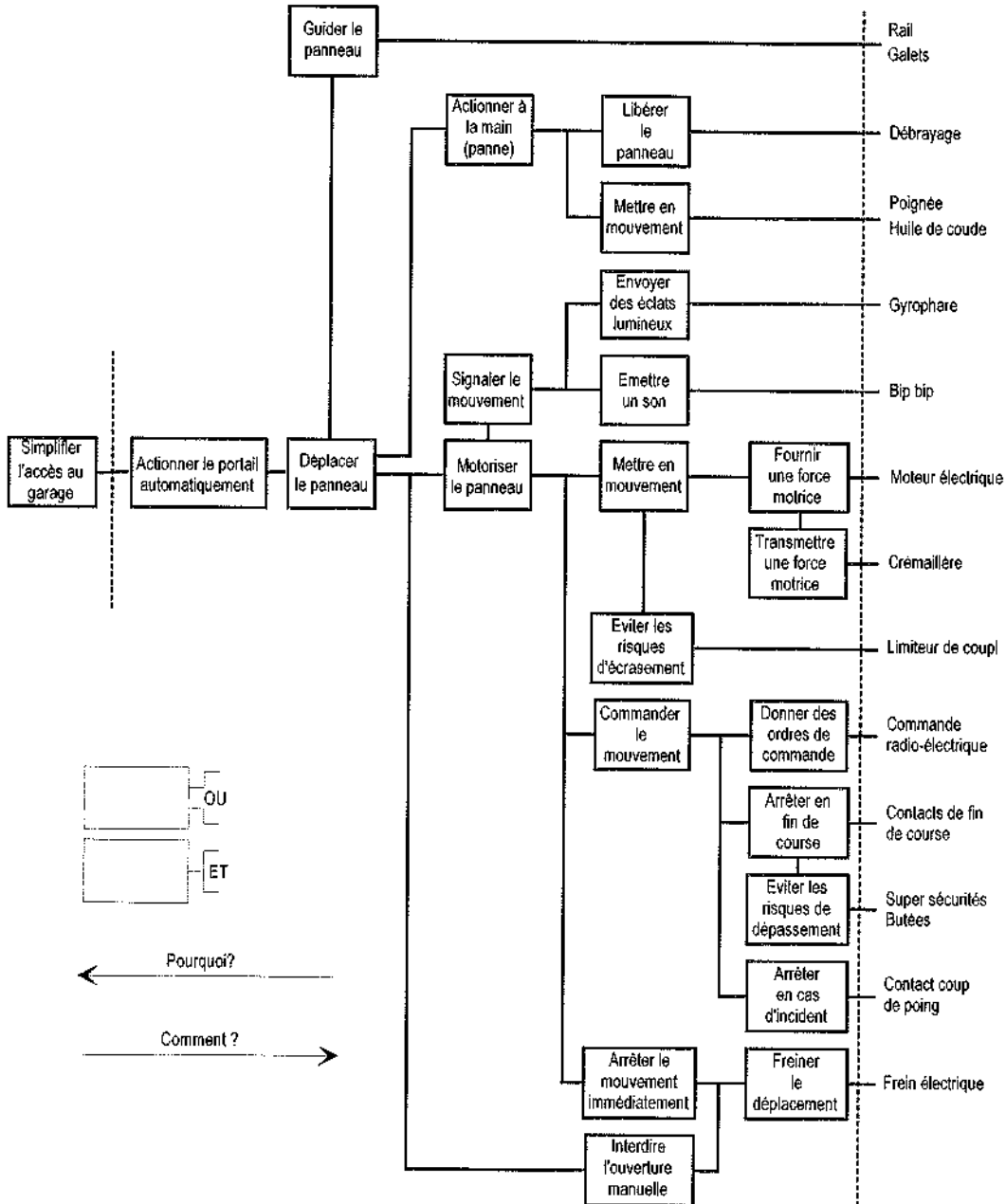


Figure 4 – Diagramme FAST d'un portail automatique

L'analyse fonctionnelle doit amener le concepteur à envisager l'étude de son produit comme un ensemble de services à rendre et non plus comme une opportunité pour imposer au client les solutions techniques, mêmes brillantes, qui lui tiennent à cœur.

L'identification préalable des fonctions que doit satisfaire le produit et leur représentation logique sous forme de diagrammes offrent aux partenaires en présence (client et fournisseur) les meilleures chances de concevoir un produit de qualité. Cette méthode permet d'optimiser les objectifs fonctionnels que doit réaliser le futur produit avant toute décision d'investissement coûteuse. Le recensement et l'analyse logique des fonctions n'est cependant qu'une première étape : il reste maintenant à définir leurs caractéristiques et à les classer dans le but d'établir le *cahier des charges fonctionnel*.

6 Le cahier des charges fonctionnel

Le cahier des charges fonctionnel (CdCF) est la référence formalisée du besoin. Ses fonctions principales sont les suivantes :

- il exprime les besoins des utilisateurs en termes de fonctions à satisfaire, caractérisées et hiérarchisées ;
- c'est un document de référence qui se limite à l'exposé des exigences fonctionnelles du demandeur sans pour autant aliéner la liberté du concepteur-réalisateur ; à la différence du cahier des charges traditionnel, il n'impose pas d'exigences de moyens ;
- il stimule la créativité du concepteur-réalisateur dans la recherche et l'analyse de solutions optimales sur des critères de performances et de coûts ;
- il offre un support de dialogue entre les partenaires du projet pour l'analyse des niveaux d'exigences fonctionnelles.

Le CdCF constitue une première étape importante dans l'analyse du besoin. La base contractuelle, quant à elle, est formalisée dans le document de spécification technique du besoin (STB).

Les fonctions identifiées seront *classées* ou *hiérarchisées* selon leur importance dans la satisfaction du besoin. Les différentes rubriques du CdCF sont les suivantes :

- Le coefficient de pondération

Ce coefficient est attribué par le groupe de travail pour déterminer la valeur relative de chaque fonction. On utilise généralement une échelle de 1 à 5.

- Le critère d'appréciation

Ce critère permet d'apprécier la manière dont une fonction est remplie ou une contrainte respectée. La vitesse, la puissance, la consommation, l'esthétique, le confort sont des exemples de critères d'appréciation qui doivent être complétés d'une échelle pour déterminer leur niveau.

- Le niveau d'un critère d'appréciation

Le niveau de critère est précisé à l'aide d'une valeur chiffrée (en watts, en décibels, en mots...) ou par une référence (norme, référence esthétique...) dans l'échelle spécifique retenue pour le critère d'appréciation d'une fonction.

- La flexibilité

Les niveaux de critères ne sont pas nécessairement des valeurs fixes ou des références incontournables. Ils sont dits *flexibles* quand ils peuvent varier à l'intérieur d'une fourchette dont les limites (hautes et basses) sont *négociées* avec le demandeur. La flexibilité peut se caractériser de trois manières :

– par la *limite d'acceptation*, qui définit le niveau de critère d'appréciation en-deçà ou au-delà duquel le besoin ne peut être satisfait,

– par la *classe de flexibilité*, qui précise le degré de négociabilité du critère d'appréciation. On distingue généralement quatre classes

Classe	Flexibilité	Négociabilité
F0	Nulle	Impératif
F1	Faible	Peu négociable
F2	Bonne	Négociable
F3	Forte	Très négociable

– par le *taux d'échange*, défini comme le prix que le demandeur est prêt à payer pour un « peu de performance en plus ». Exemple : le prix d'une chaîne Tony de 2 x 15 watts est de 1000€ et, pour la même marque, de 2 x 30 watts, de 1200€. Le client est-il disposé à payer 150€ de plus pour 15 watts supplémentaires?

Exemple d'application : l'enseigne lumineuse

Le besoin : l'accès aux locaux administratifs d'une entreprise d'informatique industrielle n'est pas fléché. Ce qui pose un problème d'orientation et d'accueil pour les clients et les visiteurs. Le directeur propose à un groupe d'étudiants de seconde année de plancher sur un projet de système intégrant une technologie de la spécialité

La fonction principale un projet de système d'affichage lumineux est retenu. La fonction principale est d'émettre deux messages : *Bonjour* et *Secrétariat* (Voir tableau 1).

Le système doit permettre la programmation de quatre messages supplémentaires : *Bonjour*, nom d'étudiant, horaire, information urgente. L'esthétique (ou le *design*) du dispositif et son aptitude à clignoter sont les fonctions complémentaires (ou secondaires). Le concepteur doit prendre en compte trois contraintes : le dispositif doit être solidement fixé, il doit être facilement réparable, il doit être bon marché.

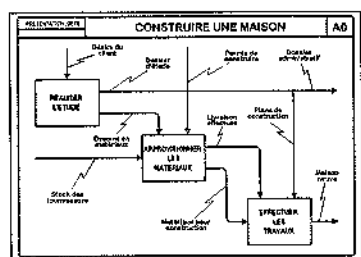
Le cahier des charges fonctionnel du système comprend ainsi quatre nouvelles rubriques : le critère d'appréciation des fonctions et des contraintes, le niveau du critère, sa flexibilité et la classe de flexibilité.

N° d'ordre	Désignation	Critère	Niveau	Flex.	Cl.
Fp1	Afficher 2 messages : « <i>Bonjour</i> » « <i>Secrétariat</i> »	Distance de lisibilité	10 mètres	+/-2 m	F2
Fp2	Programmer d'autres messages	Affichage des messages	4 messages	0	F0
Fcomp. 1	Etre esthétique	Test auprès échantillon d'utilisateurs	Au moins 6 pour/10		F2
Fcomp. 2	Clignoter	- Vitesse de clign. - Durée du clign.	- 2 fois/s - 10s	0 +/-2s	F0 F3
Fc1	Etre solidement fixé	Test de solidité			F1
Fc2	Etre aisément réparable	Démontabilité			F2
Fc3	Etre bon marché	Coût	300€		F1

Tableau 1. CdCF d'un système technique : l'enseigne lumineuse

Chapitre 5

Modéliser pour comprendre : La méthode IDEFØ



IDEFØ (Integrated Definition language), également connue sous le nom de S.A.D.T.® (Structured Analysis and Design Technique) est une méthode d'analyse et de spécification fonctionnelle. Cette méthode, conforme aux normes FIPS (Federal Information Processing Standard 183 et 184), a été mise au point en 1976 aux Etats-Unis par Douglas T. ROSS (Société SOFTECH avec ITT) pour des applications aérospace. De renommée mondiale, la méthode IDEFØ est largement

utilisée en France dans les domaines de l'informatique, de l'aéronautique, du spatial et des télécommunications. Elle peut tout aussi bien s'appliquer à d'autres activités.

1 Domaine d'application de la méthode

On peut utiliser IDEFØ dans tous les cas où l'on souhaite analyser et décrire un système sous son aspect fonctionnel. La description peut tout aussi bien porter sur :

- les fonctions remplies par un élément matériel,
 - offrir les fonctionnalités d'un réveil matin,
 - réguler la température ;
- la description d'un processus,
 - organiser un voyage,
 - former des stagiaires à IDEFØ ;
- les deux à la fois,
 - transporter des voyageurs.

Il est possible d'utiliser la méthode à plusieurs stades d'avancement dans la réalisation d'un projet. Ainsi peut-on réaliser :

- le modèle d'un système existant,
- le modèle du système souhaité,
- le modèle du système à réaliser,
- un modèle théorique général

La modélisation graphique permet d'exprimer des idées d'une façon précise et concise. Le formalisme de représentation évite les ambiguïtés. L'approche descendante structurée constitue un guide méthodologique appréciable. Dès lors la méthode peut être utilisée :

- comme outil de dialogue,
- comme support à la réflexion,
- pour conserver une trace écrite.

Pour en expliquer les concepts de base, reprenons les principes énoncés par D. T. ROSS¹.

2 Modéliser pour comprendre

Notre capacité à travailler dans l'abstrait est, semble-t-il, assez limitée. Comprendre ce que nous observons, concrétiser ce que nous imaginons, suppose dans la plupart des cas le recours à des méthodes et moyens (maquette, dessin, formule, ...) permettant de concrétiser et de visualiser ce qui n'est au départ qu'une simple construction mentale. De même, faire partager aux autres nos idées nécessite l'utilisation d'une codification commune servant de base à la communication. La méthode IDEFØ a pour premier objectif de répondre à ces deux impératifs d'un processus de conception ou d'analyse qui sont de **comprendre et de se comprendre**. Comme tout modèle, les représentations produites ne présentent bien entendu qu'une vue réductrice et imparfaite de la réalité. Mais cette simplification n'est pas une anomalie. Pas plus qu'elle ne constitue un obstacle à la compréhension d'une réalité parfois complexe. Bien au contraire en privilégiant et en accentuant certaines caractéristiques de l'objet observé, elle permet de se focaliser sur l'essentiel en supprimant les détails jugés inutiles.

3 Séparer le QUOI du COMMENT

L'étude d'un système peut être menée à différents niveaux d'abstraction :

- **Fonctionnel** (QUOI ?) qui décrit les fonctions de service à assurer.
- **Conceptuel** (COMMENT ?) qui décrit les principes mis en oeuvre.
- **Logique et organisationnel** (AVEC QUI ?, OU ?, QUAND ?, AVEC QUOI ?) qui définit les moyens nécessaires et leurs conditions d'utilisation.
- **Physique et opérationnel**, qui affecte les moyens nécessaires et en assure la mise en oeuvre.

IDEFØ s'intéresse en priorité au premier niveau en permettant de décrire le système existant, projeté ou à réaliser, sous son aspect fonctionnel. Ainsi, les services attendus d'un moyen permettant de transporter des passagers peuvent-ils se décrire par un ensemble de fonctions telles que : « assurer le déplacement », « offrir des éléments de confort », « garantir la sécurité », sans préjuger du concept mis en oeuvre (par les air, sous la mer, sur l'eau, dans l'espace, sur terre) et encore moins de la solution retenue (à la voile, dans un véhicule à roues, ...). Il faut noter l'intérêt d'une telle approche qui permet d'isoler le QUOI du COMMENT. Elle incite à prendre du recul par rapport à certains éléments de solutions a priori évidentes, et favorise la créativité en permettant l'émergence de concepts originaux. On peut penser par exemple que l'hydroglisseur n'aurait jamais vu le jour sans une remise en cause préalable du principe de sustentation des bateaux traditionnels.

La méthode IDEFØ relève bien d'une approche fonctionnelle (décomposition fonctions / sous fonctions) et non systémique (décomposition système / sous système). Elle est donc particulièrement bien adaptée pour décrire les services attendus d'un matériel ou d'un processus. Elle permet toutefois d'introduire des éléments de solution, soit par le choix des dénominations utilisées (ex. : « *bon de commande* » au lieu de « *expression de l'intention d'achat* ») soit en utilisant des éléments de représentation du modèle appelés « mécanismes ». Pour cette raison, on peut dire que IDEFØ se situe à mi-chemin entre une méthode de spécification fonctionnelle et une méthode de conception.

¹S.A.D.T. un langage pour communiquer » D. T. ROSS 1977

4 Utiliser une représentation graphique

L'échange et la capitalisation d'idées, point fort de la méthode, supposent l'utilisation d'un formalisme d'expression connu et compris de tous. A ce titre, le recours à une représentation graphique standardisée comporte de nombreux avantages. Moins permissive et souvent plus concise que le langage naturel, elle permet entre autres :

- d'orienter le rédacteur dans sa démarche d'analyse ;
- de garantir la standardisation des documents produits ;
- de limiter les risques d'ambiguïtés ;
- d'obtenir une grande densité d'informations.

Un modèle IDEF0 est constitué d'un ensemble hiérarchisé de **diagrammes** permettant de représenter à divers niveaux de détail et sous une forme relativement concise, des systèmes simples (machine à laver, réalisation d'un voyage) à très complexes (navette spatiale, système de navigation d'un AIRBUS A320). La méthode propose, comme on le verra dans la suite de ce chapitre, deux formes de représentation (actigramme et datagramme) s'appuyant sur le même formalisme graphique. On ne s'intéressera toutefois dans un premier temps qu'à l'actigramme, plus utilisé et mieux adapté à une approche fonctionnelle.

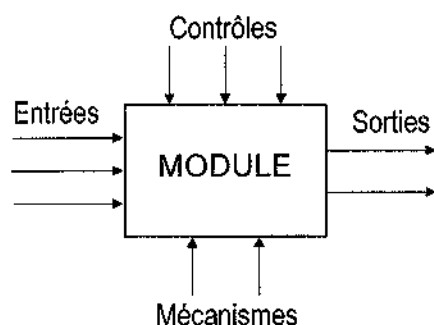


Figure 1 - Le module et ses interfaces

Les entrées, connectées à gauche, sont consommées par l'activité pour produire les sorties. Elles ne conditionnent pas le comportement du module. Elle ne peuvent pas non plus déclencher son activité. Un module peut ne pas avoir d'entrée quand ce qu'il produit ne nécessite l'apport d'aucun flux fonctionnel extérieure (ex : *production de l'heure par une montre*).

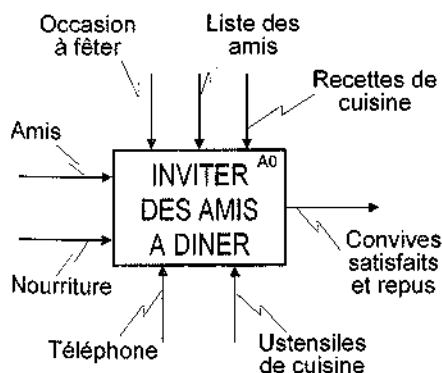


Figure 2 - Une activité fonctionnelle

L'élément de base d'un diagramme IDEF0 est le **module**. Dans un actigramme, celui-ci représente une activité fonctionnelle du système que l'on souhaite décrire. Cette fonction est identifiée par un verbe à l'infinitif précisé éventuellement par un complément (réguler la température, organiser une visite, offrir les fonctionnalités d'un réveil, ...). Les modules communiquent entre eux et avec leur environnement par l'intermédiaire de leurs **interfaces**. Ils échangent ainsi des flux matériels (*nourriture,...*) ou d'information (*liste des amis,...*). Les interfaces ont une fonction différente selon la position de leurs points de connexion.

Les sorties, connectées à droite, sont le résultat de l'activité fonctionnelle du module. Celui-ci doit bien entendu avoir au moins une sortie.

Les contrôles, connectés en haut, ne sont jamais consommés par l'activité. Il agissent sur son déroulement en la déclenchant (*occasion à fêter*) ou en influençant fortement son comportement (*recette de cuisine*). Une activité doit avoir au moins un contrôle qui la déclenche.

Les mécanismes, connectés en bas, ne sont pas à considérer comme des éléments du modèle fonctionnel. Ils offrent la possibilité de décrire des éléments physiques mis en oeuvre pour réaliser la fonction. Un diagramme peut ne pas comporter de mécanismes.

Comme le montre la figure 3, un diagramme IDEF0 est constitué d'un ensemble de modules réunis par des canaux.

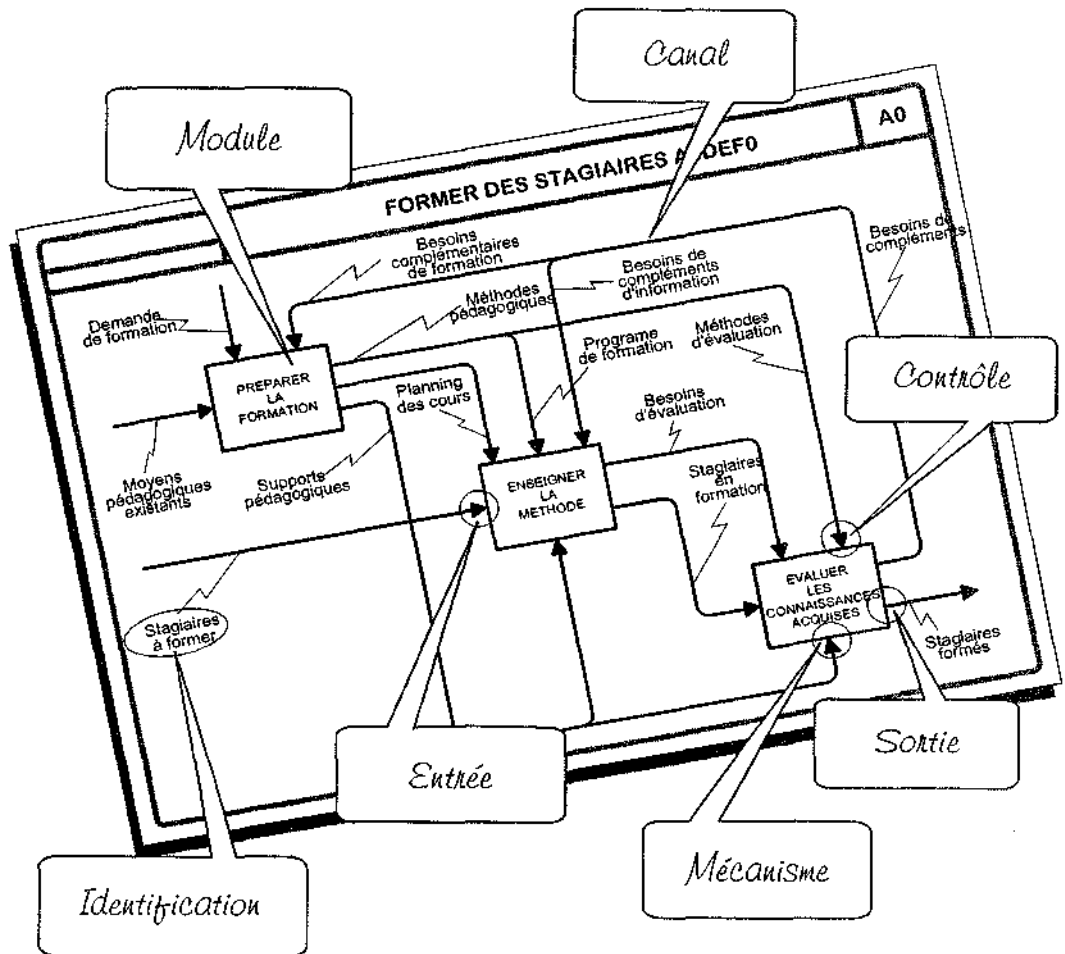


Figure 3 - Le formalisme de représentation IDEF0

Modules et canaux sont caractérisés par des **identifications**. Celles-ci doivent être à la fois précises et concises. Pour les expliciter, un complément d'informations sous forme textuelle est souvent nécessaire. Pour obtenir une bonne lisibilité mais aussi respecter l'équilibre du modèle, la norme recommande de se limiter à un nombre de modules par diagramme compris entre 3 et 6. Ceux-ci sont disposés en diagonale.

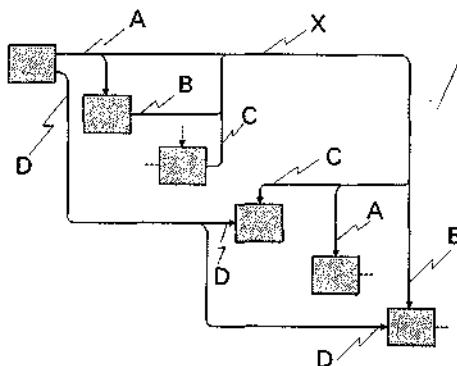


Figure 4 - Organisation des travaux

Les canaux réalisent l'échange des flux entre les modules. Ils peuvent se regrouper en un flux de rang supérieur (X) ou se diviser en canaux de rang inférieur (A,B,C). Un même canal peut se ramifier pour se connecter à plusieurs modules (D).

Certains flux peuvent être à la fois entrée (en tant qu'éléments consommables) et contrôle (en tant qu'événements liés à leur fourniture). Ils seront alors représentés uniquement en contrôle. Chaque module a au minimum une sortie et un contrôle.

5 Une analyse descendante, hiérarchique et structurée

L'analyse fonctionnelle d'un système peut être menée à plusieurs niveaux de détail. Ainsi une fonction générale telle que « *effectuer un voyage* » peut-elle se décomposer en un ensemble de fonctions de plus bas niveaux telles que : « *préparer le voyage* », « *voyager* », « *défaire et ranger les bagages* ». Mais ces fonctions ne sont pas élémentaires et pourront à leur tour être décomposées en un ensemble de fonctions de niveau inférieur, elle mêmes à nouveau décomposables (« *étudier l'itinéraire* », « *prendre les billets* », ...).

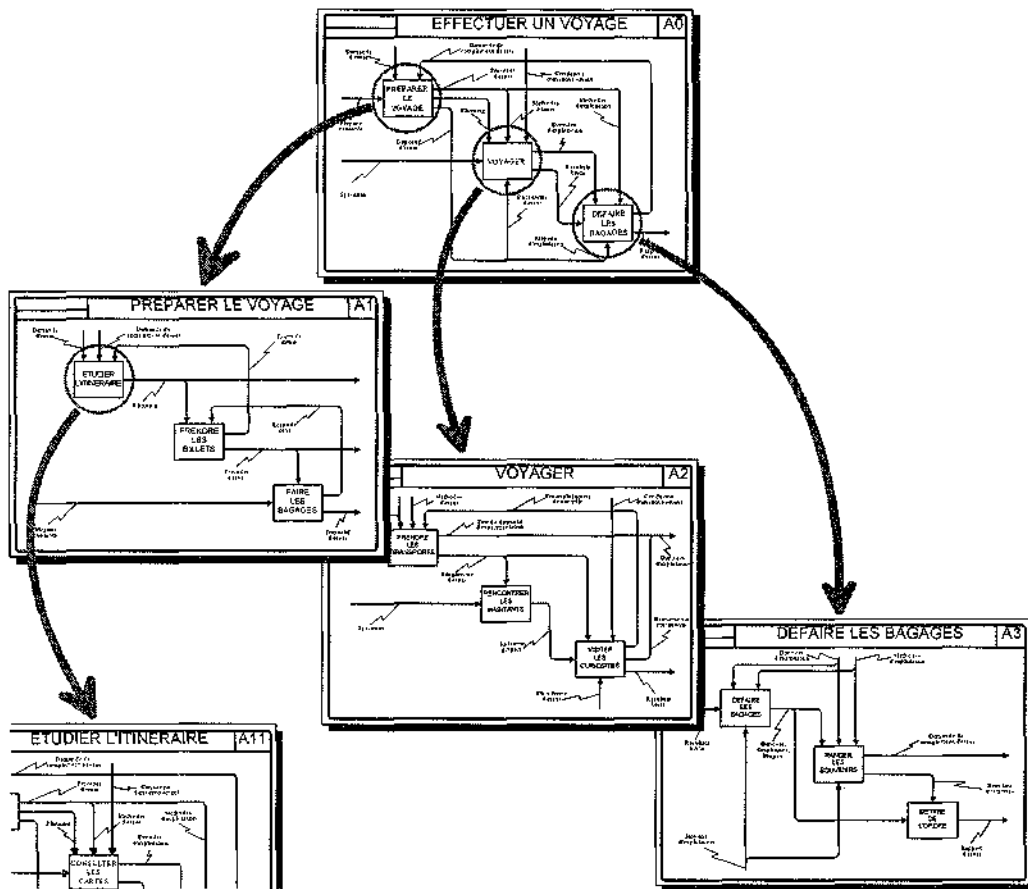


Figure 5 – Construction d'un modèle par affinement

Il n'y a bien entendu aucune limite théorique à cette **décomposition par affinement**. Seuls le rédacteur et ses interlocuteurs sont à même de juger quand le niveau atteint paraît suffisant.

Les diagrammes qui constituent le modèle se construisent ainsi selon une **approche globalement descendante**. Descendante parce qu'elle sera toujours menée du général vers le particulier. Globalement parce qu'il n'est pas rare que l'étude d'un niveau fasse apparaître des éléments de nature à remettre partiellement en cause le ou les niveaux supérieurs. Il sera alors nécessaire de remonter dans la hiérarchie pour assurer la cohérence de l'ensemble. Ce processus itératif, alternant analyse et synthèse, conduit à l'élaboration d'un **modèle structuré** où la cohérence entre les différents niveaux de la hiérarchie fonctionnelle ainsi obtenue est garantie par la conservation des flux et de la nature de leurs interfaces entre un module père et le diagramme fils de niveau inférieur qui le décompose et le précise.

6 Modéliser la dualité fonctions / relations fonctionnelles

Qu'il s'agisse d'éléments matériels ou de processus, les fonctions élémentaires assurées par un système ne sont pas indépendantes. Elles établissent entre elles et avec leur environnement des **relations fonctionnelles** par lesquelles elles contribuent à la satisfaction d'un même besoin. Comme on peut le voir sur la représentation simplifiée donnée ci-dessous, ces relations fonctionnelles peuvent être des flux matériels (Produits, Linge propre et mouillé, ...) ou des flux d'information (Commandes utilisateur, Affichage):

- qui sont « fonctionnellement » consommés par la fonction (Linge sale, ...);
- qui sont produits par une fonction (Linge propre et humide, ...);
- qui activent l'exécution d'une fonction (Commande d'essorage, ...);
- ou influent sur la façon dont celle-ci sera effectuée (Programme de lavage, ...).

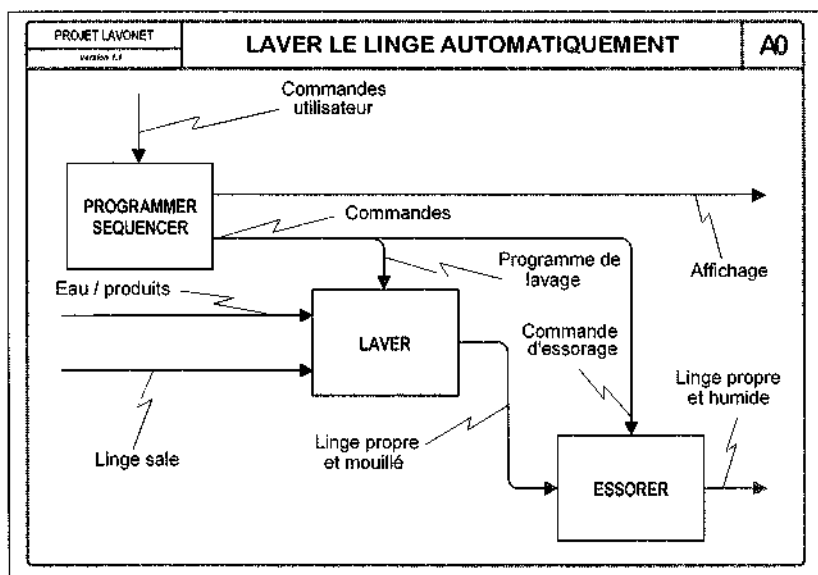


Figure 6 – Modélisation d'un système matériel

Fonctions et relations fonctionnelles forment donc un tout indissociable. La principale originalité de la méthode IDEF0 est de permettre de matérialiser cette dualité. Comme le montre la figure 7, la décomposition d'un diagramme en une série de diagrammes de rang inférieur s'accompagne d'une division des canaux en un réseau ramifié de sous-canaux.

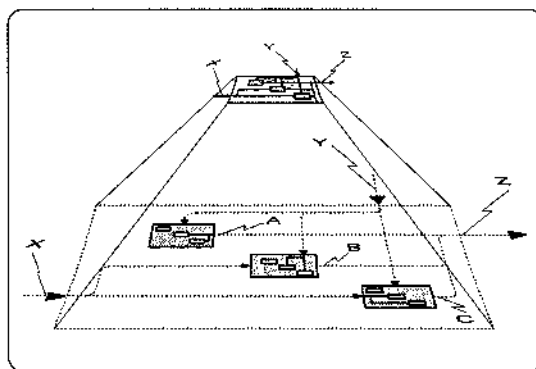


Figure 7 – Décomposition des canaux

Il est ainsi possible d'analyser puis de matérialiser la double hiérarchie qui résulte de l'affinage des fonctions d'une part et des relations fonctionnelles d'autre part. La confrontation de ces deux approches duales d'un même système permet de consolider puis de valider le modèle ainsi produit.

Comme nous l'avons vu, les fonctions ou plus précisément leur activité et les objets (matériels ou d'information) qui supportent les relations fonctionnelles, sont matérialisés sur un même modèle, sous forme de modules et de canaux.

Nous avons jusqu'à présent privilégié une approche centrée sur les activités fonctionnelles d'un système en présentant des exemples traités sous forme d'**actigrammes**.

Dans ce type de représentation (figure 8), les fonctions sont représentées dans les modules et les relations fonctionnelles sont portées par les canaux.

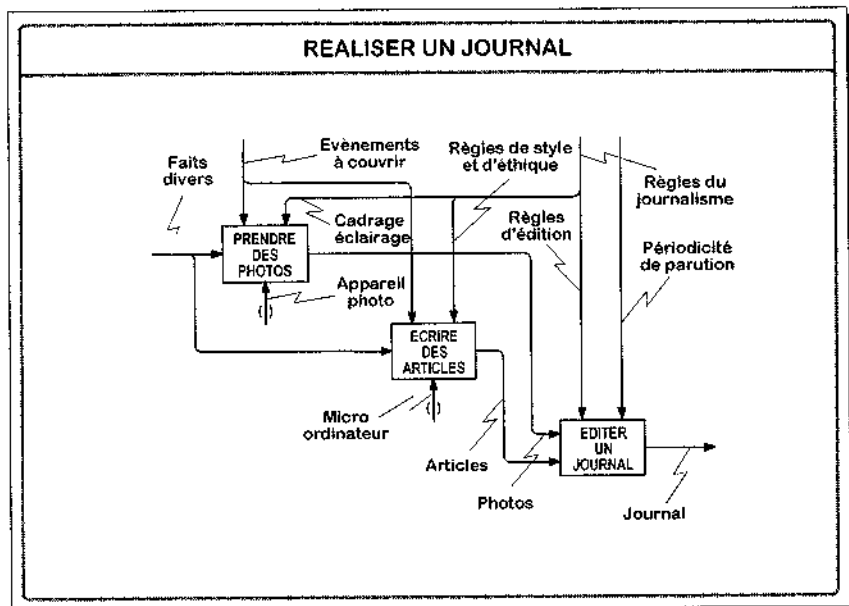


Figure 8 – Représentation sous forme d'actigramme

Notons toutefois qu'il existe un autre type de diagramme (figure 9) appelée **datagramme**. Cette forme de représentation est surtout utilisée en informatique. Orientée éléments matériels ou informations, elle adopte une convention inverse.

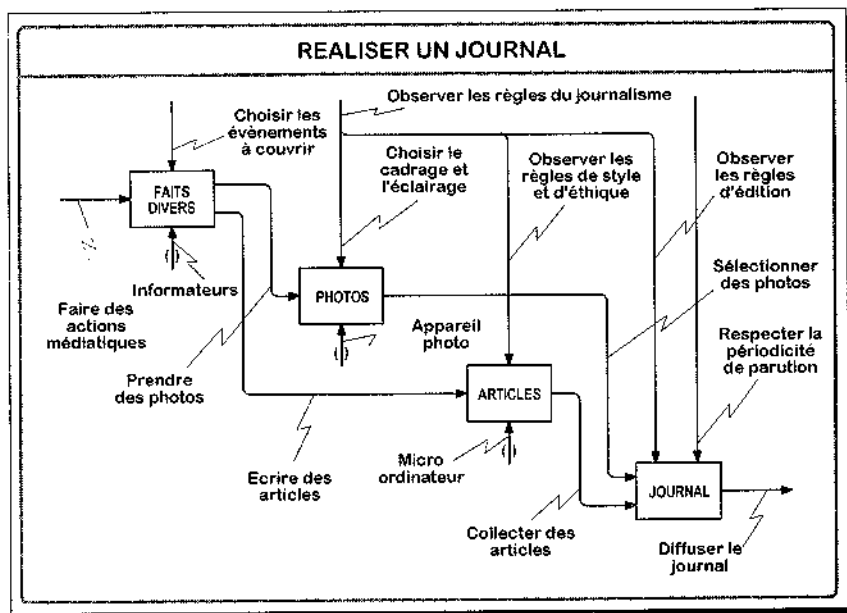


Figure 9 – Représentation sous forme de datagramme

7 Travailler en équipe

La conception d'un produit, la description d'un système existant ou l'élaboration d'un modèle théorique général, suppose dans la majorité des cas la collaboration de plusieurs intervenants sollicités en tant qu'expert, utilisateur, décideur, réalisateur, gestionnaire, client, analyste ou simple observateur.

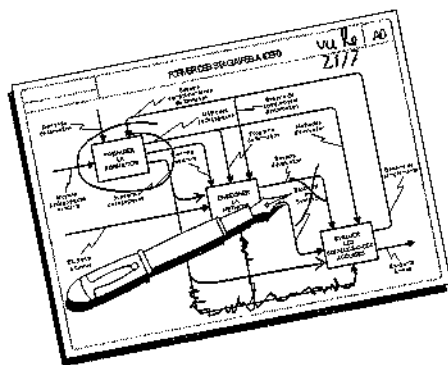
L'analyse fonctionnelle, fruit d'un travail d'une équipe, ne saurait être menée à bien sans une communication efficace et organisée. C'est à cette préoccupation que tente de répondre IDEFØ en préconisant une méthode de travail basée sur la mise en oeuvre d'un **cycle rédacteur / lecteurs** que l'on pourrait décomposer selon les phases suivantes :

- une phase d'**interview** par laquelle chacun des experts ou utilisateurs exprime au rédacteur sa vision du problème ;
- une phase de **modélisation** où le rédacteur traduit fidèlement et si possible sans a priori, avec le formalisme propre à IDEFØ, les éléments recueillis ;
- une phase de **critique** et d'**enrichissement** au cours de laquelle chacun des interviewés formule ses remarques par écrit directement sur une copie du diagramme réalisé ;
- une phase d'**évolution** et de **consolidation** par laquelle le groupe (*ou pour les gros projets une commission de modification*) statue sur les évolutions à faire subir au modèle ;
- une phase de **validation**, où le groupe jugeant le résultat satisfaisant, décide de passer si nécessaire aux niveaux inférieurs.

8 Consigner par écrit

L'expression des différents points de vue sous forme graphique et écrite comporte de nombreux avantages :

- elle limite les ambiguïtés dues aux imprécisions de langage ;
- elle contractualise les relations entre les acteurs ;
- elle permet de tracer les évolutions de la réflexion ;
- elle documente le projet.



La méthode IDEFØ préconise que toutes les étapes du cycle récurrent, expression, critique, correction et validation, soient sanctionnées par une production concrète, susceptible d'être réexploitée si nécessaire. Les remarques concernant le modèle en cours de d'élaboration sont donc portées directement sur les diagrammes soumis aux lecteurs. Après un échange de vues et d'éventuelles précisions, elles aussi exprimées par écrit, elles sont ensuite exploitées par le rédacteur puis systématiquement archivées.

Chapitre 6

Concevoir le scénario du projet

Un projet ne se déroule pas selon un processus linéaire et totalement prévisible. Ceci vaut pour un petit projet souvent livré, par commodité, à l'intuition et à l'improvisation sous prétexte que les délais sont courts et le budget de dimension modeste. Quelle que soit la taille du projet, l'horizon temporel présente, au départ, son lot d'incertitudes et de complexité. Les objectifs techniques seront-ils réalisés dans les délais et aux coûts prévus ? L'équipe de projet disposera-t-elle de ressources opérationnelles en temps utile ? Les concepteurs sauront-ils maîtriser à temps et dans quelles conditions les technologies de développement ? Toutes ces questions, et bien d'autres encore, se ramènent à une seule : *quelles sont les conditions de faisabilité du projet ?* L'optimisation des choix d'orientation, en phase de faisabilité, doit être fondée sur l'analyse, le filtrage et le regroupement d'informations complexes et nombreuses en provenance d'un environnement qui n'est pas toujours favorable. On appelle **scénario** la construction cohérente des hypothèses qui permettent d'éclairer la faisabilité globale du projet¹. L'exploration globale ou partielle des voies possibles qui peuvent conduire d'un état actuel A à un état futur B est une opération qui a pour but d'optimiser les décisions, donc de prévenir les risques spécifiques au projet.

1 La prévention des risques

Pour fixer un premier repère, on définit le **risque** comme *la probabilité d'occurrence d'un événement préjudiciable à la réalisation des objectifs techniques, de coûts et d'achèvement du projet*. On le distingue de l'**aléa**, « *de nature imprévisible, favorable ou défavorable* ».²

En phase de préparation du projet, l'analyse de risque est faite à titre *préventif* au moyen d'hypothèses d'orientation du projet, favorables ou défavorables : c'est la finalité technique du scénario. En cours d'exécution, par le moyen de techniques de pilotage, on détecte, on caractérise et on mesure les écarts ou les dérives. Cette approche est complétée d'une analyse *a posteriori* des causes de l'événement dans une *visée corrective* au profit de projets futurs (voir chapitre 19).

Au plan plus spécifique de l'analyse des défaillances dans un système donné, la méthode AMDEC³ permet de hiérarchiser les risques du point de vue de la criticité (voir chapitre 7).

¹ L'approche par scénarios au service de l'entreprise a fait l'objet d'une étude originale proposée par Ute Von Reibnitz et présentée dans son ouvrage : *La technique des scénarios pour la planification et la prévision*, Afnor Gestion, Paris, 1989.

² Voir Vincent Giard, *Les gestions du risques dans les projets*, in : Ecosip. Pilotages de projet et entreprises, Economica 1993, p. 153. Voir également Michel Joly et al., *Maîtrisez le coût de vos projets*. Manuel de Coûtenance. Afnor 1993. Op. cit. p. 146.

³ AMDEC : Analyse des modes de défaillances et de leur criticité.

1.1 Les types de risques

La typologie des risques proposée ici recouvre les trois phases principales d'un projet : analyse du besoin, préparation du projet, exécution du projet⁴.

– Phase 1 : Analyse du besoin

• **Les risques commerciaux.** Quatre sortes de risques sont à prendre en considération avant le lancement du projet⁵ :

- le *risque de la concurrence* (barrières à l'entrée, propriété industrielle...) ;
- le *risque du marché* (enjeu commercial, habitudes...) ;
- les *risques industriels* (fabrication du produit dans les délais, au bon prix et à la bonne performance) ;
- les *risques technologiques* (normes, faisabilité, compétences technologiques...).

Le concepteur-réalisateur doit disposer d'informations précises et fiables sur la nature des besoins à satisfaire. A ce stade du projet, les facteurs de risques sont surtout d'ordre communicationnel.

Parmi les facteurs possibles, on peut citer (la liste n'est pas exhaustive) :

- **recherche d'antériorité incomplète ou inexistante** pouvant conduire à réinventer l'eau chaude avec, à la clef, dans l'hypothèse où un produit analogue est déjà sur le marché, des risques juridiques ;
- **besoin mal formulé**, ou formulé dans un langage technique qui n'est pas celui du concepteur-réalisateur (CR) ; des problèmes de traduction du besoin dans un langage technique différent (Biologie/Electronique, Géologie/Mécanique...) seront à l'origine de cahiers des charges fonctionnels (CdCF) incomplets ou erronés ; la validation du CdCF se fait parfois au prix de coûteux allers-retours entre demandeur et concepteur ;
- **fonctions ou contraintes non spécifiées** par le demandeur ou mal perçues par le CR ; la gravité des modifications apportées au CdCF dépend naturellement de l'état d'avancement du projet et des implications contractuelles ;
- **fonctions dont la complexité est mal évaluée** au moment de l'analyse du besoin, et de façon générale, une sous-estimation du niveau de difficulté qui nécessite de faire appel à des ressources coûteuses ;
- **fonctions non négociables** imposant au CR des objectifs très contraignants aux plans de la technique, des délais et des coûts ;
- **choix de performances fonctionnelles** sans commune mesure avec le besoin ;
- **méconnaissance des normes** pour certains types de produits.

– Phase 2 : Préparation du projet

Des imprécisions dans la conception des dispositifs de prévention et de planification ou des défaillances dans leur mise en oeuvre produiront des effets constatables en phase d'exécution du projet. Parmi les facteurs de risques, on peut noter :

- **nombreuses défaillances dans une première version de l'étude** (ou d'un premier prototype) reprise par une nouvelle équipe. Ces défaillances sont généralement aggravées par une documentation technique incomplète ;

⁴La question des risques est également évoquée à propos des coûts (voir chapitre 18 : la maîtrise des coûts).

⁵Paul Maitre et Jacques -Didier Miquel, Ed. Eyrolles, Paris, 1992, p. 63.

- **sous-estimation de la complexité des outils ou des procédés de conception** (logiciels de conception assistée par ordinateurs, microcontrôleurs de technologie avancée et de leurs applications...). Ceci entraîne une sous-estimation du temps nécessaire à la maîtrise de ces outils ou procédés ;

- **difficultés dans la définition et la planification des tâches** : V. Giard propose une liste (non limitative) d'imprécisions des tâches susceptibles d'induire des risques⁶. Parmi ces imprécisions on peut retenir par exemple l'analyse incomplète de la tâche due au manque de temps, d'informations ou d'expérience, ou encore la modification du contenu des tâches à la suite du changement d'acteurs et de ressources, de restrictions budgétaires ;

- **mauvaise appréciation de la disponibilité et des performances des ressources** : les performances des équipements disponibles en internes sont parfois surestimées, ce qui ne manque pas d'induire des retards et des surcoûts liés à l'utilisation de ressources externes ou à l'appel à sous-traitance. Toujours selon V. Giard, « une méconnaissance des ressources précises, tant humaines que matérielles, à mobiliser et de leur capacité à exécuter le travail demandé dans le temps et la qualité voulus » peut fausser « les hypothèses de définition des ressources requises »⁷ ;

- **conflits dans l'utilisation des ressources disponibles** : les ressources de l'entreprise, du laboratoire, de l'université ou de l'organisme de recherche ne sont pas illimitées. De ce fait, les projets ou la production peuvent être concurrents pour l'utilisation de compétences, l'affectation de matériels rares et chers, ou la mise à disposition temporaire d'équipements communs. Il est alors nécessaire de différer la réalisation de telles ou telles activités, au risque de retarder la date de fin au plus tôt de certaines réalisations.

– Phase 3 : Exécution du projet

En phase d'exécution du projet, les risques encourus sont liés à divers modes de défaillance dans la détection et l'analyse d'informations critiques (détection tardive, diagnostic erroné, réponses inappropriées). La perception rationnelle du risque se décline, pour reprendre la terminologie de l'AMDEC, selon la typologie suivante :

- **la détection de la défaillance ou de son signe avant-coureur** : cette détection peut être plus ou moins précise et plus ou moins tardive selon les cas. Une procédure de contrôle bien appliquée peut, en principe, dans un contexte organisationnel favorable, donner de bons résultats. Concrètement, la *bonne information* (l'écart tel qu'il peut être mesuré, identifié et commenté) circule *au bon moment* (sa vitesse de diffusion est fonction de la gravité de la défaillance) pour *l'acteur concerné* (le responsable, l'expert, le cercle de qualité) ;

- **le diagnostic de la cause** : la qualité du diagnostic est fonction de la précision et de la mise en oeuvre méthodique de l'instrumentation de contrôle. Certaines techniques de mesures statistiques, empruntées aux boîtes à outils de la qualité (analyse de Pareto, par exemple) constituent la meilleure assurance contre les erreurs de diagnostic, et par conséquent contre les risques de réponses non appropriées ; il s'agit en outre d'un bon support pédagogique pour une sensibilisation aux pratiques de la résolution de problèmes ;

- **l'analyse pronostique de l'effet** : ce type d'analyse intervient dans les situations où l'effet n'est pas encore révélé, ou dans le cas d'effets probables à plus ou moins long terme.

⁶Op. cit. pp. 136-137.

⁷Id. p. 141.

1.2 Les facteurs de complexité

La complexité résulte de l'action de facteurs susceptibles de perturber la conception des modèles de systèmes (techniques, organisationnels, ou autres). Dans ce sens restreint, on distingue plusieurs types de facteurs de complexité (la liste n'est pas exhaustive) :

- le nombre d'unités du système en interaction (sous-systèmes, acteurs...) ;
- l'absence d'informations-clefs pour la maîtrise d'un système donné (un nouveau logiciel sans manuel d'utilisation, par exemple) ;
- l'effet *domino* provoqué par des unités non contrôlées du système (un comportement jugé aberrant, un dysfonctionnement technique...) ;
- la méconnaissance des cheminements méthodologiques nécessaires à la conception de modèles de système et au *verrouillage* des effets domino.

2 Stratégie d'engagement et limitation des risques

S'engager dans un projet est toujours une opération hasardeuse. Il faut en effet attendre souvent plusieurs mois, voire plusieurs années, avant de constater les premières retombées bénéfiques. Les crédits investis, les moyens mobilisés, le seront en pure perte si aucun résultat valorisable n'est constaté. Dans un contexte technique, économique et social en perpétuelle évolution, aucune décision ne peut être considérée comme réellement définitive. L'apparition de nouvelles technologies, les fluctuations du marché ou l'évolution des attentes de la clientèle sont autant de facteurs susceptibles de justifier des changements d'orientation en cours de réalisation, voire d'entraîner l'abandon pur et simple du développement envisagé. A cette instabilité de l'environnement, s'ajoute la forte part d'inconnu qui caractérise tout projet et qui peut être également la source de décisions inopportunes.

Un des risques majeurs pour l'aboutissement d'un projet est de persister dans une mauvaise orientation. Les conséquences d'une erreur sont d'autant plus importantes que celle-ci aura été détectée tardivement. Pour ne pas risquer de s'enfermer dans le processus d'escalade décrit par Beauvois et Joule⁸ et que Teger résume par la formule « *trop investi pour abandonner* », on doit donc se donner les moyens de remettre en cause en temps opportun tout ou partie des décisions qui ont été prises. La méthode dite des phases et des jalons tente de répondre à cette préoccupation.

2.1 Projet et cycle de vie d'un produit

Un projet s'inscrit dans le processus plus global que constitue le cycle de vie du produit. Celui-ci peut se décomposer en six phases :

- **la faisabilité** : c'est la phase d'information durant laquelle on tente de réunir tous les éléments permettant de préciser le besoin et de se prononcer sur l'opportunité de lancer une nouvelle réalisation ; ceci conduit à la définition des fonctions de service attendues, à l'évaluation des critères de performance souhaités et à l'identification des contraintes d'environnement et de réalisation ; le produit se trouve alors dans l'**état fonctionnel**, défini par le cahier des charges fonctionnel (CdCF) ;
- **la définition** : durant cette étude préliminaire, on évalue, choisit, valide et spécifie les principes généraux de réalisation. On précise entre autres les exigences en ce qui concerne les choix d'architecture, les normes, les contraintes techniques, la sûreté de fonctionnement, les méthodes de développement, le processus et les techniques de

⁸Petit traité de manipulation à l'usage des honnêtes gens, Presses Universitaires de Grenoble 1987

réalisation, la maintenabilité... A l'issue de cette phase, on dit que le produit est dans l'**état spécifié**, défini par la spécification technique de besoin (STB) ;

- **le développement** : cette phase qui regroupe toutes les tâches d'étude, de mise au point et de validation permettant d'obtenir la description complète non seulement de ce qui sera produit et reproductible, mais aussi de tout ce qui sera nécessaire à la production, à la mise en service, au soutien pendant la phase d'utilisation et à la mise hors d'usage ; le produit sera alors à l'**état défini**, qui fait l'objet du dossier de définition (DD) ;

- **la production** : cette phase conduit à la mise à disposition d'un certain nombre de produits répondant aux critères de la définition fonctionnelle initiale ; le produit est alors à son **état réel** ; son aptitude à l'emploi peut être attestée par un cahier de recette ou un certificat de conformité. Pour une fourniture à l'unité ou en très petite quantité, cette phase sera souvent assimilée à l'étape finale du développement.

- **l'utilisation** : durant cette phase, qui correspond à l'**état vivant** du produit, on doit maintenir ce dernier dans un état conforme à sa définition fonctionnelle initiale ou le faire évoluer pour l'adapter à de nouveaux besoins ou de nouvelles contraintes ; les évolutions et événements marquants sont « historisés » dans un dossier suiveur ; cette phase se termine par la constatation de l'**état inopérational** du produit soit du fait de son usure naturelle, soit du fait de l'évolution de son contexte d'utilisation (évolution du besoin, de la technique, de la société, ...) ;

- **le retrait de service** : cette phase regroupe toutes les opérations d'arrêt, de stockage, de démantèlement, de destruction ainsi que d'élimination ou recyclage des constituants ; souvent négligée, elle prend une importance croissante et doit être prise en compte dès la phase de faisabilité.

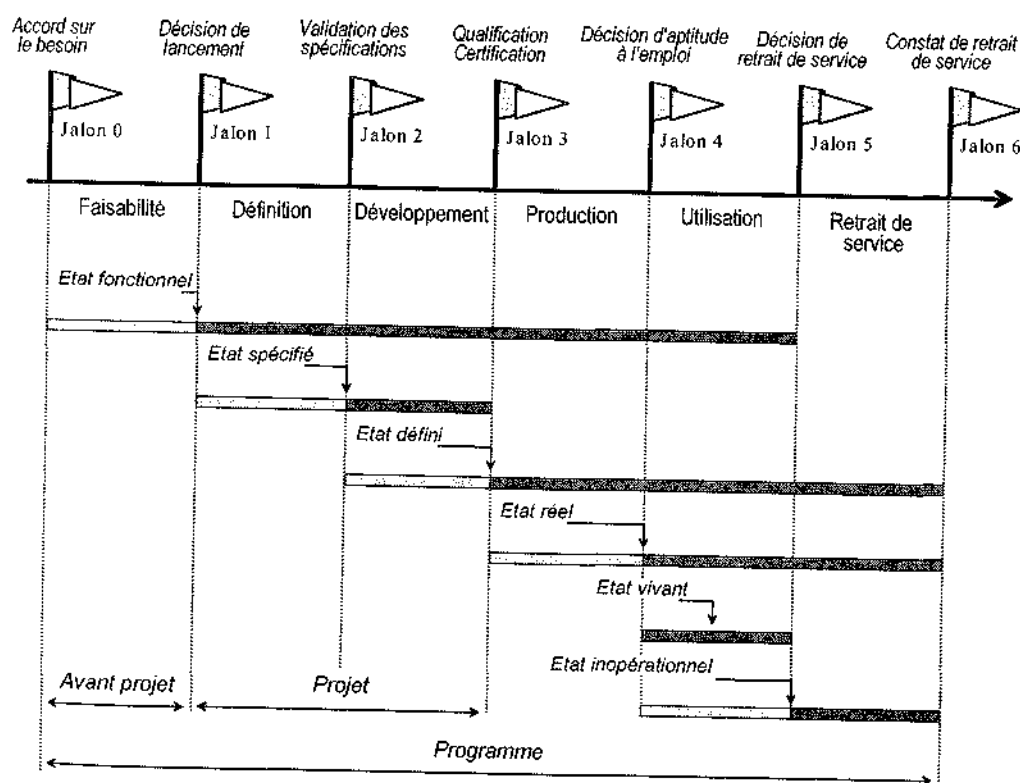


Figure 1 - Cycle de vie d'un produit

2.2 Engagement progressif dans un projet

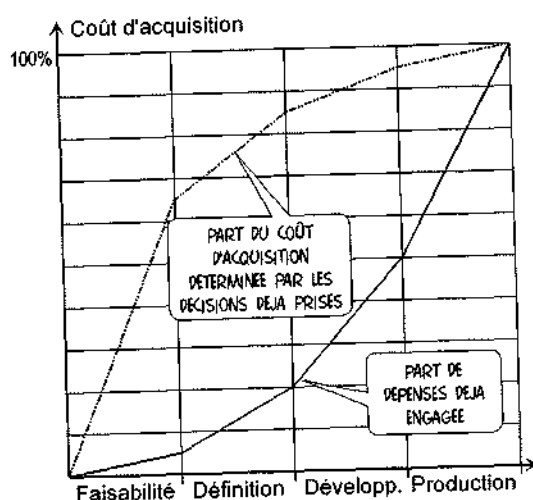


Figure 2 – Prise de décision et dépenses engagées

Dans un projet, la maîtrise des risques d'ordre financier, organisationnel et technique dépend très largement de la pertinence des orientations qui sont choisies dès le départ. Des études ont montré en effet qu'une part importante des décisions qui déterminent le coût final d'un produit est prise dans les phases de faisabilité et de définition, ceci alors que les dépenses engagées sont encore relativement faibles (figure 2). Ces observations soulignent l'intérêt des travaux d'étude préliminaire. Peu coûteux au regard du budget global d'une réalisation, ils permettent en effet, alors que le risque est encore limité, de valider de nouveaux concepts, de confirmer certaines options déjà prises, et d'écarter au plus tôt les solutions jugées peu crédibles.

Les phases amont du cycle de vie sont de toute évidence celles où la part d'incertitude est la plus importante. Tout le problème est donc de converger rapidement vers des solutions fiables sans pour autant éliminer d'emblée les plus innovantes. Pour ne pas risquer de s'engager trop avant dans des voies vouées par avance à l'échec, on procède selon une démarche pas à pas. On jalonne chacune des phases par des prises de décisions permettant de valider les résultats intermédiaires déjà obtenus, de se prononcer sur l'opportunité de poursuivre, et le cas échéant, d'envisager d'autres orientations. Ce processus d'**engagement progressif** est décrit par la figure 3.

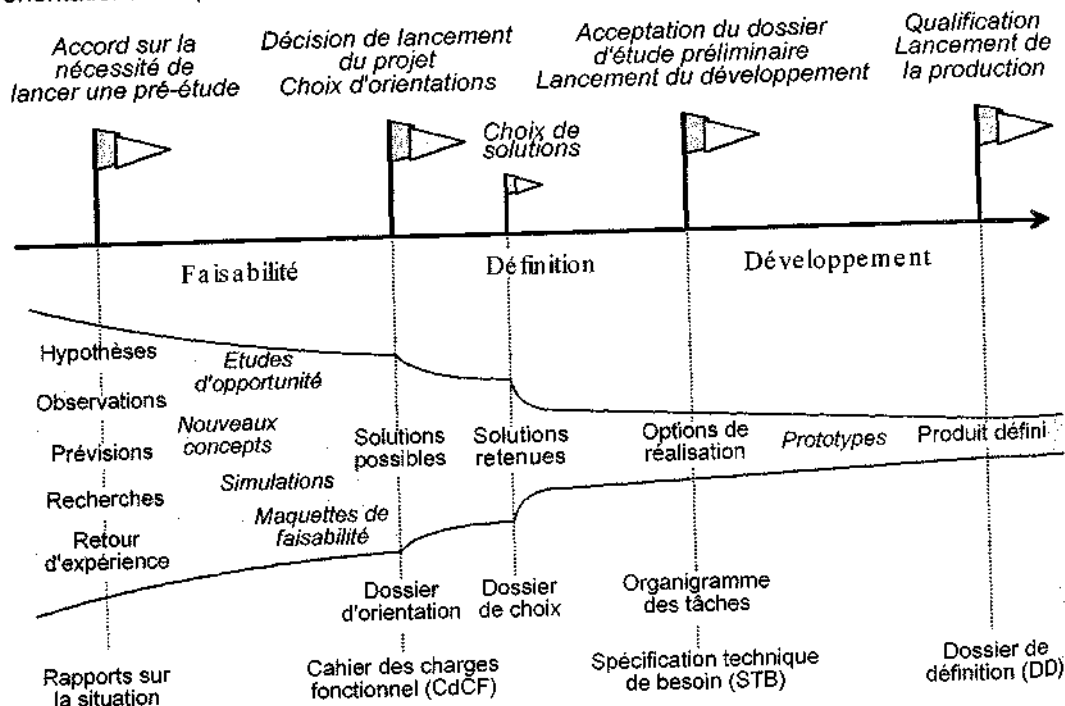


Figure 3 – Processus d'engagement progressif

L'identification d'un besoin nouveau, qui peut justifier la décision de s'engager dans la réalisation d'un projet, est en principe la conséquence d'un comportement de veille active, d'écoute du marché et de spéculations sur l'avenir. Elle peut également être le résultat d'études prospectives ou simplement résulter d'une simple intuition. A cette perception encore très subjective des attentes du client, on tente dans un premier temps d'associer un ensemble de réponses dont il est souvent difficile d'évaluer la portée.

Le but de la phase de faisabilité est essentiellement de réduire la part d'indétermination induite par l'introduction de méthodes nouvelles et de concepts originaux. Ceci peut se faire par la réalisation d'études d'opportunité, de simulations, ou en pratiquant des essais sur des maquettes de faisabilité.

Ces études amont constituent l'avant projet. Elles permettent d'élaborer un dossier d'orientation décrivant l'éventail des solutions possibles. Elles contribuent à resserrer le domaine d'incertitude et aident à définir les orientations générales pour la poursuite du projet.

A ce stade de la réflexion, se désengager reste assez facile car les dépenses réalisées sont encore relativement faibles. Ce jalon franchi, et la décision de lancer le projet étant prise, on se recentre ensuite autour des solutions qui présentent le meilleur compromis coût, délais, performances.

Outre les compléments d'étude de faisabilité qui sont souvent nécessaires, il faut pour chacune des possibilités à comparer, estimer la charge, déterminer les délais, identifier les contraintes et affiner les estimations de coût.

A l'issue de ce travail, et dans le cas où plusieurs solutions crédibles semblent émerger, on rédige un dossier de choix présentant une étude comparée des différentes options possibles et nécessaires. On peut alors cibler sur les solutions offrant le meilleur compromis. Cette démarche permet de réduire encore très sensiblement la plage d'incertitude. Ces choix étant effectués, on peut maintenant se focaliser sur les solutions retenues.

A l'issue de cette phase de définition, les principales options de réalisation sont connues et plus de 80% des décisions engageant l'avenir ont été prises. La part de dépenses est toutefois encore relativement limitée et il n'est pas encore trop tard pour décider de faire marche arrière. Pendant le développement, on s'attache à réduire les dernières indéterminations qui subsistent quant aux principes de base à appliquer.

La réalisation de prototypes de développement et de pré-série, représentatifs de tout ou partie du produit final, permet de réaliser ce dernier affinage. Durant cette phase, qui est de loin la plus longue, les dépenses engagées sont importantes. Une remise en cause des concepts généraux aurait de ce fait des conséquences dramatiques pour le projet.

2.3 L'équilibre des facteurs déterminants

Le processus d'engagement progressif vise à la recherche de la meilleure solution. Le produit répondra-t-il aux spécifications techniques ? Sera-t-il prêt dans les délais ? Les coûts de réalisation prévus s'inscriront-ils dans le budget alloué ? La recherche du juste compromis entre ces trois préoccupations prédomine dans toutes les phases de la réalisation d'un projet.

L'intégration des trois facteurs déterminants que sont les performances, les délais et les coûts, s'effectue le plus souvent en trois temps. La représentation de cette démarche est donnée en figure 4. Notons que cette notion d'équilibre est très subjective. L'importance relative accordée à chacun des facteurs étant très différente selon que l'on s'adresse à des réalisations de pointe ou à des applications à large diffusion.

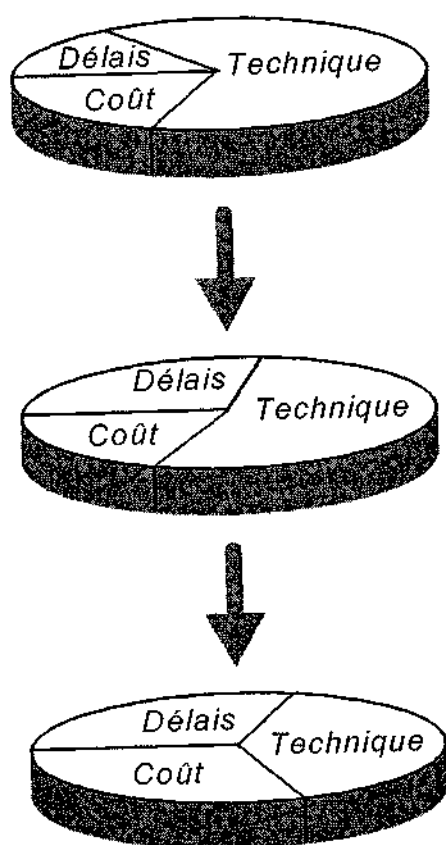


Figure 4 - L'équilibre des facteurs déterminants

Phase 1 : prépondérance des aspects techniques. Dans cette phase, les difficultés de réalisation sont encore mal connues. Il faut évaluer la faisabilité, réfléchir autour de nouveaux concepts, étudier les solutions possibles, estimer le potentiel en compétences. Le facteur technique est alors prépondérant.

Phase 2 : intégration du facteur temps. Les aspects techniques étant mieux maîtrisés, on peut alors, connaissant le potentiel en ressources, élaborer une première planification. Les délais requis sont-ils compatibles avec les solutions retenues ? Ne fait-on pas de la sur-qualité au détriment de délais de réalisation ? Faut-il envisager l'utilisation de moyens plus performants ? Autant de questions qui peuvent entraîner un réajustement des objectifs techniques.

Phase 3 : optimisation des trois facteurs. Une meilleure connaissance des moyens nécessaires permet d'ébaucher le budget prévisionnel. Seule l'estimation des coûts comparée aux crédits alloués ou aux contraintes du marché permet en effet de valider les options techniques. Faut-il revoir les objectifs de performance à la baisse ? Un allongement des délais peut-il réduire le coût des ressources ? On recherche ainsi l'équilibre des trois facteurs.

Chapitre 7

Prévoir les défaillances

Dans une approche pratique de la gestion des risques, la méthode AMDEC tient assurément une place majeure. Elle est encore peu répandue dans l'industrie, et pratiquement absente des programmes de formation dans les établissements d'enseignement technologique. Sans doute son formalisme contraignant décourage-t-il les formateurs et les ingénieurs. On souhaite, dans ce chapitre, convaincre de sa réelle efficacité et de son adaptabilité aux programmes de formation et aux processus de production.

1 Buts et principe de l'AMDEC

Historiquement, la méthode initiale est appelée Analyse des modes de défaillances et de leurs effets (AMDE). Il s'agit d'une méthode d'analyse préventive de la sûreté de fonctionnement (fiabilité, disponibilité, maintenabilité, sécurité). Développée aux Etats-Unis, dans l'industrie aéronautique, au début des années soixante, elle a pris son essor en Europe au cours des années soixante-dix dans l'industrie automobile, chimique, nucléaire. La méthode AMDEC®¹ ajoute l'estimation de la dimension critique des risques.

Le principe de la prévention repose sur le recensement systématique et l'évaluation des risques potentiels d'erreurs susceptibles de se produire à toutes les phases de réalisation d'un système.

Les aspects originaux de la méthode sont les suivants² :

- l'AMDEC a pour but d'évaluer l'impact, ou la *criticité*, des modes de défaillances des composants d'un système sur la *fiabilité*, la *maintenabilité*, la *disponibilité* et la *sécurité* de ce système ;
- appliquée *en groupe de travail pluridisciplinaire*, elle est recommandée pour la résolution de problèmes mineurs dont on veut identifier les causes et les effets ;
- la démarche AMDEC consiste à recenser les *modes de défaillance* des composants, d'en évaluer les *effets* sur l'ensemble des fonctions de ce système, d'en analyser les *causes* ;
- en phase de conception, l'AMDEC est associée à l'*Analyse fonctionnelle* pour la recherche des modes de défaillances spécifiques à chaque fonction ou contrainte des composants. Elle peut intervenir à titre correctif pour l'amélioration de systèmes existants ;

¹ L'appellation et le sigle AMDEC sont propriétés de Renault S.A.

² Pour en savoir davantage, on lira Hervé Garin, AMDEC, AMDE, AEEL. L'essentiel de la méthode. AFNOR, Collection A Savoir, 1994. Dans les publications du CETIM, on consultera le recueil des conférences de la Journée du 14 avril 1992 à Senlis : L'AMDEC, un atout pour les PMI, ainsi que la norme NFX 60 510 (Synthèse des travaux du Comité Electrotechnique International).

– cette méthode est qualifiée d'*inductive* au sens où elle s'appuie, pour l'analyse des défaillances, sur une logique de décomposition d'un système en sous-ensembles successifs pour parvenir au niveau des composants élémentaires. On s'intéresse alors aux défaillances liées au mauvais fonctionnement de ces composants et à leurs répercussions aux niveaux supérieurs du système³ ;

– on établit une distinction entre l'AMDEC *produit*, centrée sur l'amélioration, en conception, des performances du produit, et l'AMDEC *procédé*, qui s'intéresse aux moyens de production (machines, lignes, installations), ainsi qu'au processus de production (gammes de fabrication). D'autres applications sont possibles, notamment dans le domaine de l'organisation, de la sécurité, et plus généralement des services.

2 Les étapes de l'analyse

La méthode comprend deux étapes principales : la *préparation de l'étude* et l'*analyse* proprement dite. Le modèle de présentation des concepts opératoires est emprunté à Guy Garcin, Laurent Claude, Claude Caruel, Renault SA⁴.

L'exemple de l'**automate de coloration** en phase conception illustrera la démarche.

L'automate programmable de coloration a pour fonction principale de tremper des coupes histologiques placées sur des lamelles en verre dans des bains de colorant ou de fixateur. Les colorants et les fixateurs sont placés dans douze bacs en verre disposés sur un plateau tournant. Ils sont repérés par leur position de un à douze.

2.1 Etape 1 : préparation de l'AMDEC

– l'objectif

La méthode peut être appliquée à un projet de conception dans le but d'optimiser la fiabilité du produit ou du service. Elle peut intervenir dans le cadre d'un projet d'amélioration.

Dans l'exemple de l'automate de coloration, il s'agit d'améliorer les performances d'un premier prototype qui présente un dysfonctionnement majeur : le galet d'entraînement du plateau tournant patine aléatoirement en cours de cycle automatique. L'entraînement du plateau tournant est réalisé par un système à galet. Cette solution a été retenue car elle présente les avantages suivants :

- simplicité de la réalisation mécanique ;
- plateau facilement démontable pour le nettoyage ;
- sécurité mécanique (l'entraînement patine en cas de blocage du plateau).

Ce dernier avantage se transforme en inconvénient si l'entraînement se met à patiner de façon intempestive.

– le groupe de travail

L'animateur réunit un groupe de travail pluridisciplinaire (représentants des différents services de l'entreprise, des spécialistes du sujet traité...).

– le champ de l'étude

³A l'inverse, la méthode des arbres de défaillances commence par l'analyse des pannes potentielles du système pour remonter ensuite à leurs causes aux niveaux inférieurs. C'est en ce sens qu'elle est dite déductive. Voir sur ce point par exemple Christian Doucet, La maîtrise de la qualité, techniques et méthodes, Entreprise Moderne d'Édition, Paris 1986, pp. 258-265.

⁴In : Cahiers du CETIM, Textes des exposés présentés à Senlis le 14 avril 1992, p. 27.

On précise :

- le domaine d'intervention de l'étude (phase conception, méthodes, production) ;
- le champ d'application.

L'étude intervient en phase de conception du prototype et porte sur le sous-ensemble *Entraînement*.

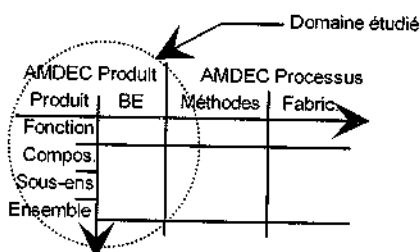


Figure 1 – Choix du niveau d'étude⁵

– l'analyse fonctionnelle

La fonction du système à améliorer est : *entraîner le plateau tournant*. Elle est réalisée dans le sous-système mécanique d'entraînement et de positionnement du plateau (voir figure 2).

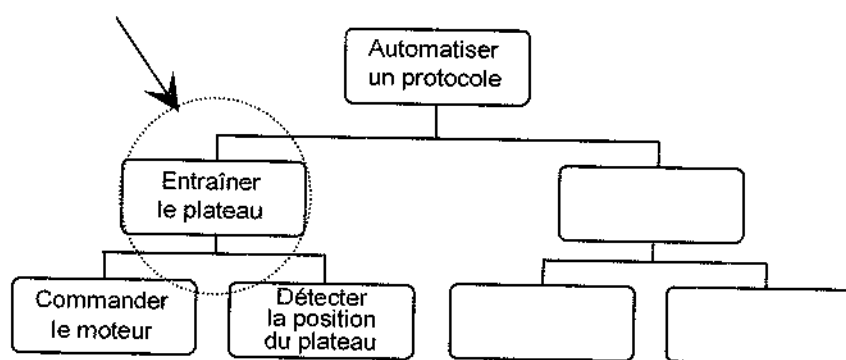


Figure 2 – Fonction à améliorer dans l'entraînement du plateau tournant

– la recherche d'informations

Le groupe de travail doit recueillir toutes les informations utiles à l'étude :

- le dossier technique du système : CdCF, plans, nomenclatures...
- défaillances observées pour des systèmes similaires déjà étudiés,
- probabilités de défaillances pour la technologie utilisée (voir plus loin la référence à la norme MIL-HDBK-217E pour l'électronique).

Etape 2 : l'analyse

– les modes de défaillances

Le *mode de défaillance* concerne les fonctions d'une partie du système, d'un composant, d'une pièce. Il caractérise la manière dont il risque de faillir à la fonction qu'il doit remplir. Le tableau 1 reproduit les modes de défaillances génériques répertoriés par la norme X 60-510. Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes.

La fonction du sous-système principal de l'automate de coloration, le plateau tournant, consiste à positionner des bacs de colorant en dessous du portoir de lamelles de microscope. Le dysfonctionnement, en l'occurrence le patinage, met en péril tout le processus de coloration.

⁵Graphisme d'après Guy Garcin et al., op. cit. p. 27.

1	Défaillance structurelle (rupture)
2	Blocage physique ou coincement
3	Vibration
4	Ne reste pas en position
5	Ne s'ouvre pas
6	Ne se ferme pas
7	Défaillance en position ouverte
8	Défaillance en position fermée
9	Fuite interne
10	Fuite externe
11	Dépasse la limite supérieure tolérée
12	Est en dessous de la limite inférieure tolérée
13	Fonctionnement intempestif
14	Fonctionnement intermittent
15	Fonctionnement irrégulier
16	Indication erronée
17	Écoulement réduit
18	Mise en marche erronée
19	Ne s'arrête pas
20	Ne démarre pas
21	Ne commute pas
22	Fonctionnement prématuré
23	Fonctionnement après le délai prévu (retard)
24	Entrée erronée (augmentation)
25	Entrée erronée (diminution)
26	Sortie erronée (augmentation)
27	Sortie erronée (diminution)
28	Perte de l'entrée
29	Perte de la sortie
30	Court-circuit (électrique)
31	Circuit ouvert (électrique)
32	Fuite électrique
33	Autres conditions de défaillance exceptionnelles suivant les caractéristiques du système, les conditions de fonctionnement et les contraintes opérationnelles.

Tableau 1 – Modes de défaillances génériques

(Source : Norme X 60-150 : Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes. Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets AMDE).

– les causes potentielles

Il s'agit d'une anomalie initiale pouvant entraîner le mode de défaillance constaté. Dans un système simple, le repérage de la cause peut faire l'objet d'une recherche empirique relativement aisée. Dans le cas d'un système plus complexe, le groupe de travail peut structurer son analyse des causes potentielles au moyen d'une méthode d'investigation graphique (le diagramme « causes-effet », par exemple).

Dans l'automate, la cause de la défaillance est aisément déterminée. Le galet d'entraînement est encrassé, de toute évidence sous l'effet conjugué d'écoulements de solutions et de la poussière.

– les effets potentiels des défaillances

Le mode de défaillance a des répercussions sur différentes parties du système ou sur les systèmes environnants, et en dernière instance sur l'utilisateur. On parle alors d'**effets de la défaillance**. On considère que la cause au niveau composant entraîne la défaillance

au niveau du sous-système, et provoque l'effet au niveau des fonctionnalités supérieures du système susceptible de compromettre la mise en service du produit⁶ (Voir figure 3).

Que se passe-t-il dans l'automate ? On note que :

- au niveau de la cause : l'encrassement du galet provoque un défaut d'adhérence ;
- au niveau du mode : le plateau supportant les bacs n'est plus entraîné ;
- au niveau de l'effet : l'opération de trempage échoue et le manipulateur, frustré, en revient à la méthode manuelle !

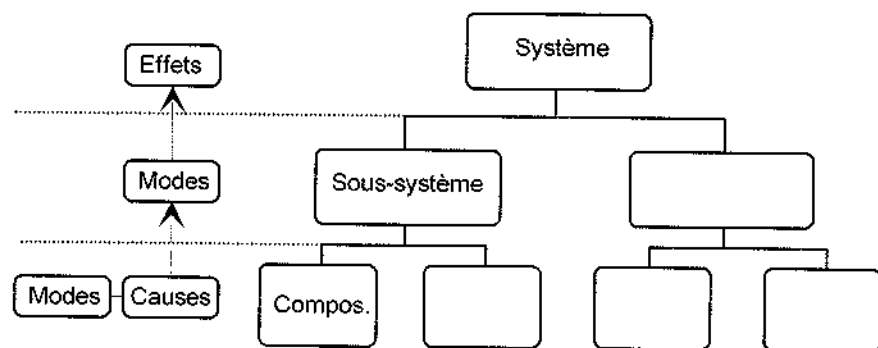


Figure 3 – Logique des causes, des modes et des effets

– Détection

La cause (ou le mode) étant apparue, la détection correspond à ce qui est prévu pour l'empêcher d'atteindre l'utilisateur. L'objectif est soit de prévenir l'apparition de la cause en introduisant dans le système un dispositif de détection et d'alarme, soit de détecter le mode de défaillance. Dans le premier cas, les moyens les plus souvent utilisés sont les systèmes d'alarmes ou indicateurs de défauts, ou, en électronique, la technique du *watchdog* (petit programme d'autocontrôle informatique). Dans le second cas, on met en oeuvre des plans de maintenance préventive ou des programmes d'autotest destiné à vérifier tous les éléments fonctionnels du système avant son utilisation.

– Evaluation

Le risque est évalué à l'aide de différents indices :

– **l'indice de gravité.** Il s'agit de la gravité de l'effet de la défaillance. L'indice permet de déterminer le niveau de conséquence pour l'utilisateur.

Dans l'exemple de l'automate, il s'agit d'un sous-système important. Une défaillance à ce niveau rendrait le système inutilisable. Le groupe propose une note de gravité de 9/10.

– **l'indice de fréquence.** Cet indice exprime la probabilité que la cause se produise et entraîne le mode de défaillance.

Dans l'automate, cette probabilité est faible. Le groupe propose la note 2/10.

– **l'indice de non-détection.** Cet indice rend compte de la probabilité qu'a la défaillance de ne pas être détectée par l'utilisateur, alors que la cause et le mode sont apparus. Plus le risque est grand de ne pas détecter la défaillance, plus la note est forte.

Dans l'exemple proposé, l'utilisateur ne surveille pas en permanence l'automatisme. Cette probabilité de non-détection est forte. La note est de 8/10.

⁶Voir Hervé Garin, op. cit., p. 23. Voir également Jean-Marie Chatelet, Méthodes productique et qualité, Editions Ellipses, 1996, p. 158, pour ces définitions.

On mesure alors la criticité du risque par le produit $G \times F \times ND$. Plus l'indice de criticité est grand, plus le risque lié aux défaillances potentielles est élevé. Un tel indice permet de hiérarchiser les défaillances et de recenser celles dont le niveau est supérieur à un seuil fixé par le groupe de travail. Ces indications sont ensuite consignées dans un document récapitulatif des points critiques destiné à l'utilisateur.

L'indice de criticité attribué au système automate est $9 \times 2 \times 8 = 144$ pour 1000. Cet indice souligne l'urgence d'une solution d'amélioration.

De façon générale, pour la défaillance d'un composant particulier, la criticité est évaluée en fonction des risques associés : risques pour l'utilisateur, risques commerciaux, financiers, etc. L'indice de criticité permet d'établir des hiérarchies de risques : plus cet indice est élevé, plus les risques liés aux défaillances potentielles sont élevés.

– Actions préventives ou correctives

Au final, la meilleure prévention est, après défaillance dûment établie au moyen de l'AMDEC, la recherche d'une solution d'amélioration efficace. Les actions préventives ou correctives sont déclenchées au-delà d'un seuil de criticité défini préalablement par le groupe.

L'analyse du mode de défaillance « plateau non entraîné » dans l'exemple de l'automate a conduit les concepteurs à imaginer une solution d'amélioration doublée d'un système de détection. Ainsi, connaissant la vitesse de rotation du plateau, on peut calculer le temps pour passer d'une position n à une position $n+1$. On peut en déduire les procédures suivantes à implanter dans le programme de commande de l'automate :

- le programme lance le plateau à partir de la position n ; si la position $n+1$ n'est pas atteinte au temps t_1 , il arrête le moteur, puis il le relance,
- si, après la tentative de relance, la défaillance se reproduit, il déclenche une alarme sonore.

Tous ces éléments d'analyse sont ensuite portés dans un tableau AMDEC (voir tableau 4, p. 66).

3 Les niveaux de risques

Pour chacun des trois critères (gravité, fréquence, non-détection), la probabilité est chiffrée à l'aide de grilles de cotation définies préalablement à l'analyse. On peut déterminer une zone de risques inacceptables en combinant indice de gravité et indice de fréquence (P.a. = probabilité d'apparition de la cause) par le moyen d'une matrice de criticité (voir tableau 2).

Fréquence	P.a. très rare	P.a. modérée	P.a. élevée	P.a. très élevée
	1	2	3	4
Gravité				
Mineure 1			A	
Majeure 2				
Critique 3				
Catastrophique 4	B			

Tableau 2 – Exemple de matrice de criticité

On prendra l'exemple du pousse-seringue.

Le **pousse-seringue** est un appareil médical qui permet d'administrer par injection à débit constant des produits pharmaceutiques à un patient. Parmi les fonctions importantes, on note la possibilité de saisir le débit et le volume de la seringue, d'avertir de la fin de perfusion, d'une contre-pression, de la non-rotation du moteur.

Que peut-on en déduire?

Dans cette matrice, la zone en tramé regroupe les défaillances préjudiciables à la santé du patient, donc *catastrophiques* (volume injecté trop important pour un produit devant être administré à doses infimes, fin de perfusion non détectée pour ce même produit...). Elle est donc déclarée *inacceptable*. Il faudra donc, en conception, éliminer les options fonctionnelles susceptibles d'entraîner des défaillances dont l'effet combiné de la fréquence et de la gravité *multiplierait les risques de dommages irréparables*.

La case A regroupe les *défaillances mineures et fréquentes*, par exemple la torsion du cathéter inhibant le passage du produit.

La zone B regroupe les *événements catastrophiques* pour le protocole d'injection mais cependant jugées *acceptables parce que très rares*, par exemple, un défaut de lisibilité de l'afficheur LCD lié à une défaillance d'une ligne entraînant une erreur de programmation.

Le pousse-seringue est doté de nombreuses fonctions de détection de défaillances. Les défaillances critiques non détectables, compte tenu des spécifications de sûreté de fonctionnement exigées pour ce type d'appareil, sont donc très rares. Pour la non-détection, on utilise une grille de cotation plus ou moins précise selon les besoins, par exemple une grille « à 4 moments »⁷ (tableau 3).

A partir de ces facteurs de risques, on détermine la criticité de la défaillance par le produit $C = F \times G \times ND$

1	Un signe avant-coureur apparaît qui permettra à l'utilisateur, par une action préventive, d'éviter la défaillance.
2	Un signe avant-coureur apparaît mais risque de ne pas être perçu par l'utilisateur.
3	Le signe avant-coureur n'est pas facilement détectable.
4	Aucun signe avant-coureur existe ou est détectable.

Tableau 3 – Détection à « quatre moments »

4 Le plan d'action

Le plan d'action vise la prévention des défaillances à partir d'un seuil de criticité défini au préalable. Dans le cas d'actions correctives, le groupe peut choisir, en fonction de l'indice de criticité, les risques qu'il veut réduire. La mise en oeuvre du plan fait l'objet d'un suivi rigoureux.

Le nouvel indice de criticité permet d'établir une nouvelle hiérarchisation des causes. L'ensemble des relevés qui résultent de l'application de la méthode sont effectués à l'aide d'un tableau (voir tableau 4).

⁷Hervé Garin, op. cit. p. 32.

AMDEC AUTOMATE PROGRAMMABLE												
Groupe responsable :					Sous-ens. étudié : Système d'entraînement plateau							
Client : INSERM			Date AMDEC :				Date d'achèvement des travaux :					
Sous-ensemble étudié												
Fonctions	Mode	Effet	Cause	G	Pa	Pnd	C	Actions	G	Pa	Pnd	C
Entraîner le plateau tournant	Patinage du galet d'entraînement	Echec de la fonction de trempage	Encrassement du galet d'entraînement	9	2	8	114	Conception d'une solution d'amélioration doublée d'un système de détection	2	1	1	2

Tableau 4 – Tableau de relevé des données AMDEC pour l'automate programmable⁸

5 La fiabilité prévisionnelle

Dans la prévention des risques, le concepteur doit déterminer, au moyen du calcul, la durée de vie moyenne des composants, leur taux de pannes, la probabilité des pannes critiques. C'est l'objet de la fiabilité prévisionnelle. Dans un système donné, la fiabilité prévisionnelle a pour but de :

- calculer un taux de défaillance pour chaque constituant (pièces ou composant) (ce taux sera utilisé pour l'AMDEC) ;
- vérifier que le taux de défaillances du système est conforme aux exigences de la spécification (exigence du cahier des charges) ;
- vérifier la répartition des taux de défaillances pour les différents sous-ensembles du système⁹.

Les constituants sont identifiés en fonction de leurs caractéristiques de conception. Par exemple, en matière de fiabilité prévisionnelle pour l'électronique, on détermine, après calcul à l'aide de la norme MIL-HDBK-217E, le taux de défaillance pour chaque composant, puis pour chaque bloc fonctionnel, ainsi que la probabilité d'apparition de quelques défaillances du système après analyse de leurs modes défaillances, de leurs effets et de leur criticité.

La norme MIL-HDBK-217E est une norme de fiabilité prévisionnelle pour l'électronique. Il s'agit d'une norme internationale qui permet de calculer la probabilité de pannes de tous les composants électroniques en fonction de leur environnement d'utilisation et de leurs spécifications.

L'étude de fiabilité prévisionnelle s'appuie sur un document de référence : la liste des composants. Cette liste a pour intérêt :

- d'identifier tous les composants (type, valeur nominale, caractéristiques, fabricant...) ;
- de vérifier que tous les composants ont été utilisés correctement ;
- de fournir toutes les informations nécessaires pour effectuer une analyse des contraintes (indication des niveaux de stress des composants).

⁸D'après Georges Mazet, L'AMDEC appliquée aux équipements d'assemblage et de contrôle, in : Cahiers du CETIM, Textes des exposés présentés à Senlis le 14 avril 1992, p. 55.

⁹Voir Pascal Casol & Gino Gramacia, Enseigner la méthode AMDEC en GE&II (IUT), in : GeSi n° 47, mai 1996, pp. 10-16.

Chapitre 8

Manager le projet

Les méthodes de gestion de projet ont pour but de donner des indications de mesures sur l'avancement en termes de coûts, de délais et de qualité. Leur application relève d'une approche instrumentale qui n'est pas suffisante pour prétendre réaliser les objectifs dans des conditions optimales, d'où la nécessité d'intégrer des compétences supplémentaires destinées à maîtriser la logique complexe, transversale, parfois irrationnelle, d'un projet. C'est la finalité des méthodes qu'on désigne par l'expression **management de projet**¹. Ce management comprend trois volets :

- la *conception de l'organisation du projet*, qui implique la recherche d'une structure de coordination adaptée à la taille du projet et à son environnement ;
- le *pilotage du projet* en termes de réactivité (maîtrise du temps) et d'optimisation des ressources (maîtrise des coûts) ;
- la *mobilisation de tous les acteurs* impliqués dans le projet (communication, gestion des conflits, adhésion aux objectifs).

Le management du projet est confié à un acteur-pilote qu'on appelle **chef de projet**. Il peut intervenir dans des contextes d'organisation très variables. Une classification des options d'organisation par projet est possible selon le pouvoir accordé au chef de projet sur les différents intervenants. On distingue généralement quatre options de configuration² :

- les projets avec facilitateur ;
- les projets avec coordonnateur ;
- les projets structurés en « matrice » ;
- les projets en structure « *ad hoc* ».

1 Les structures d'organisation par projet

1.1 Les trois axes de l'organisation

Une organisation est « *un ordre social durable et localisé, constitué en vue d'une fin donnée ; un ensemble structuré d'actions et d'interactions relativement hiérarchisées, différenciées et interdépendantes, par rapport à des ressources et des finalités* »³. Cette définition générale de la notion d'organisation peut être complétée par le modèle, devenu classique, de Mintzberg :

¹Voir M. Joly et J.-L. G. Muller, De la gestion de projet au management par projet, AFNOR, 1994, p. 37.

²Voir AFITEP, Le management de projet, op. cit., p. 13. Voir également MIDLER C., *Le responsable de projet, portrait d'un rôle d'influence*, in : Gestion 2000 - Management & Prospective, Vol. 9, n° 2, 1993, pp. 123-148.

³A. Erly, La structuration de l'entreprise, Editions de l'Université de Bruxelles, 1988, p. 9.

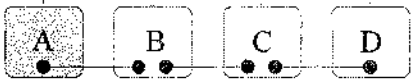
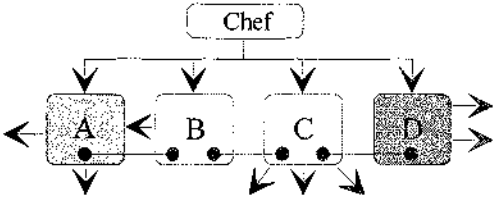
L'organisation et son résultat sous la forme d'une structure, a pour but ⁴ :	
- d'instaurer la <i>division</i> et la <i>coordination des tâches</i> : ces deux opérations sont à la base de toute organisation.	
- de <i>différencier</i> et d' <i>intégrer les tâches</i> : à la différenciation/spécialisation des tâches, doit correspondre l'intégration/collaboration pour éviter les risques de dispersion.	
- de définir les <i>niveaux de responsabilité</i> et de <i>décision</i> attachés aux différentes tâches : « Diviser le travail, c'est somme toute, pour un individu donné, définir la zone de décisions pertinente pour lui... » ⁵ , autrement dit, son pouvoir d'action au sein de l'organisation (symbolisé par les flèches).	

Tableau 1 – Caractéristiques générale d'une démarche organisationnelle (d'après H. Mintzberg)

Les différents mécanismes de coordination qui supportent le fonctionnement d'une organisation se développent selon trois axes (voir figure 1) :

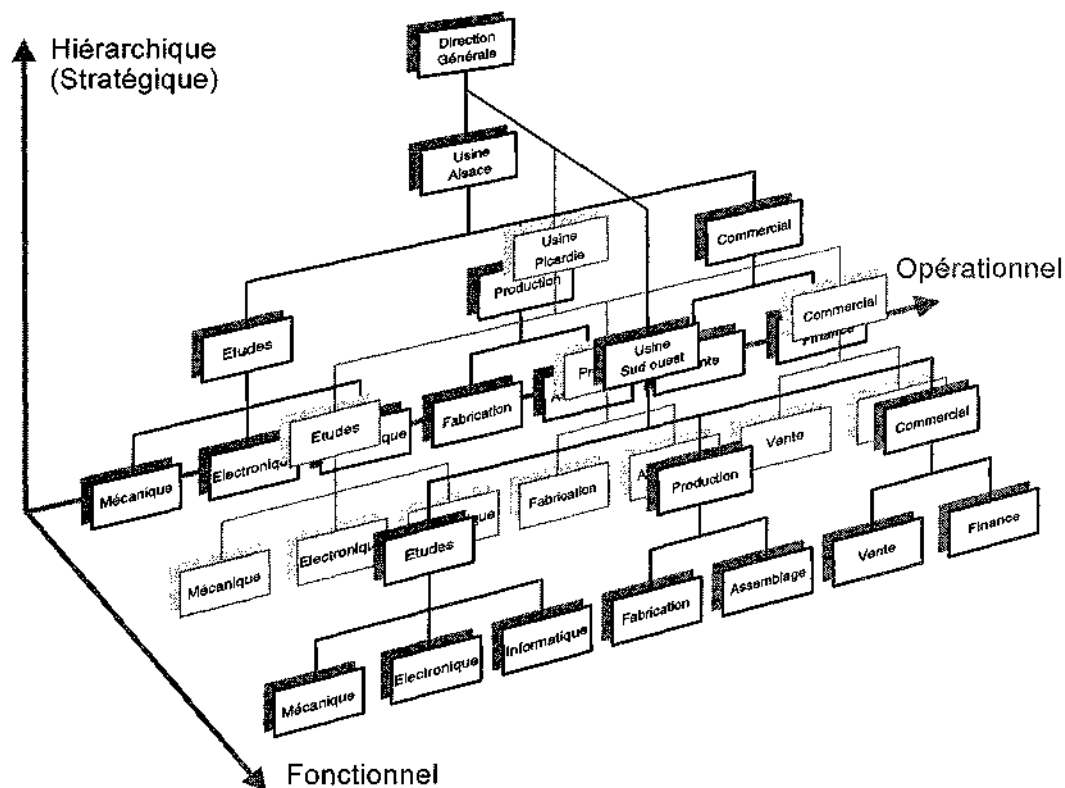


Figure 1 – Les trois axes de l'organisation

⁴Voir par exemple Hervé Laroche, Structure organisationnelle, in : Management : aspects humains et organisationnels, pp. 464, 465, 466. P.U.F. 1991.

⁵Id. p. 467.

• **l'axe hiérarchique**, qui est l'axe de la stratégie de l'organisation. Il concerne notamment :

- l'image de marque de l'organisation ;
- la politique commerciale ;
- les prévisions à long terme ;
- la gestion des ressources humaines ;
- la politique sociale ;
- les investissements ;
- la gestion des moyens ;
- la formation ;
- la qualité ;
- la sécurité ...

Les orientations générales qui en résultent sont déclinées puis mises en application par l'intermédiaire des flux montants et descendants que constituent :

- l'information institutionnelle (affichage, journal d'entreprise, informateurs relais ...) ;
- l'autorité formelle (ordres, consignes, contrôles et audits internes ...) ;
- l'ajustement mutuel (concertation, validation, arbitrage ...) ;
- les synthèses sur la situation (reporting, indicateurs ...).

• **l'axe opérationnel**, qui est l'axe privilégié de l'activité productive. Il concerne entre autres tout ce qui contribue à la maîtrise des flux de production :

- la définition et la maîtrise des processus ;
- la gestion d'activité ;
- la coordination ;
- la régulation des flux matériels ;
- la planification ;
- la maîtrise de coûts et délais de réalisation ;
- la relations client / fournisseur ...

• **l'axe fonctionnel**, qui met en oeuvre des mécanismes d'harmonisation orientés vers la maîtrise des métiers et du savoir faire. Il concerne :

- l'harmonisation des moyens ;
- l'harmonisation des méthodes de travail ;
- l'élaboration de procédés ;
- la veille technologique ;
- la recherche exploratoire ...

Les projets se développent transversalement selon tous les axes de l'organisation. Selon les mécanismes de coordination mis en jeu, on peut les classer en plusieurs catégories.

1.2 Les projets avec facilitateur

Ce type de projet n'a pas de structure spécifique. Le chef de projet intervient au sein de la structure fonctionnelle (organisée par *métiers* : marketing, production, ventes, finances, recherche & développement) à titre de diffuseur de l'information ou d'incitateur dans le cadre de projets impliquant par exemple un enjeu culturel. Tel est le cas par exemple des projets de développement et de mise en place d'une démarche qualité dont la responsabilité peut être confiée à un acteur de l'entreprise détaché temporairement de son service sous la tutelle hiérarchique d'un des membres de la direction de l'entreprise.

1.3 Les projets avec coordonnateur

Le chef de projet coordonnateur n'a pas d'autorité hiérarchique sur les intervenants associés au projet. Il exerce par contre une autorité fonctionnelle en raison de ses compétences d'expert dans un domaine particulier. Responsable du plan d'action pour le projet, il met en relation et coordonne les efforts des acteurs impliqués dans le projet (voir figure 2). Par exemple, dans cette grande entreprise d'informatique industrielle qui fabrique des cartes à base de microprocesseur, ce chef de projet (un jeune ingénieur électronicien) est chargé de manager l'ensemble des processus transversaux de la gestion des commandes (réception de la commande, réception des pièces, dégagement des ordres de fabrication, facturation...).

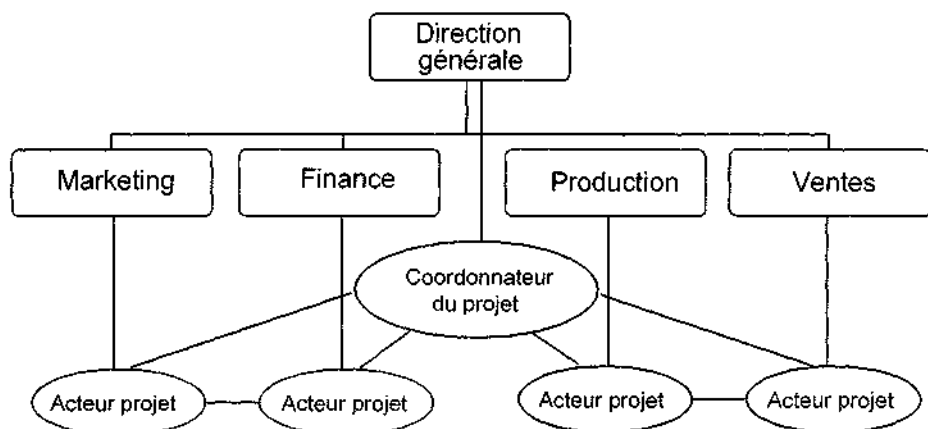


Figure 2 – Organisation de projet avec coordonnateur

1.4 Les projets structurés en matrice

La forme matricielle présente l'avantage de croiser deux logiques : une **logique de fonctions** (marketing, finances, production...) et une **logique de projets**. Mais la double appartenance des intervenants peut être source d'incompatibilités, de tensions et de conflits, ce qui justifie un effort de communication, de coordination et de régulation.

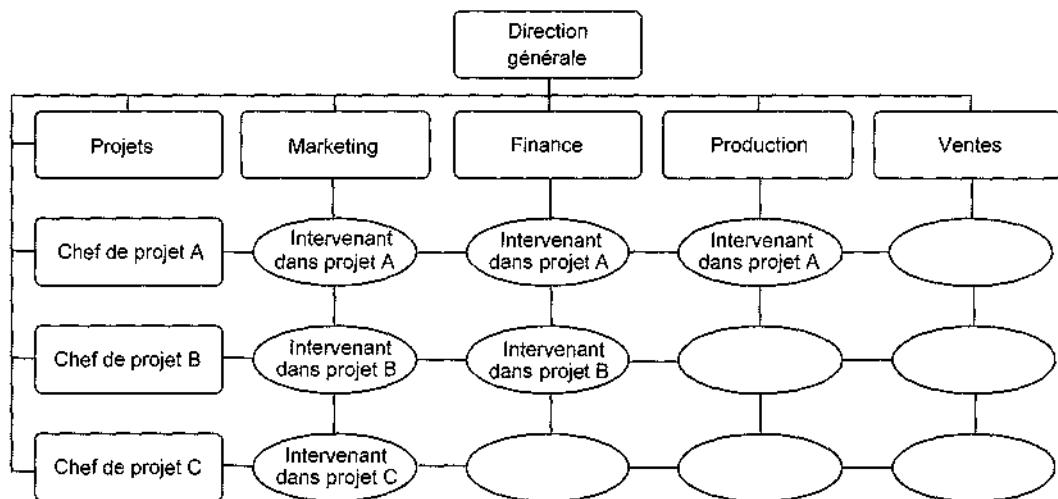
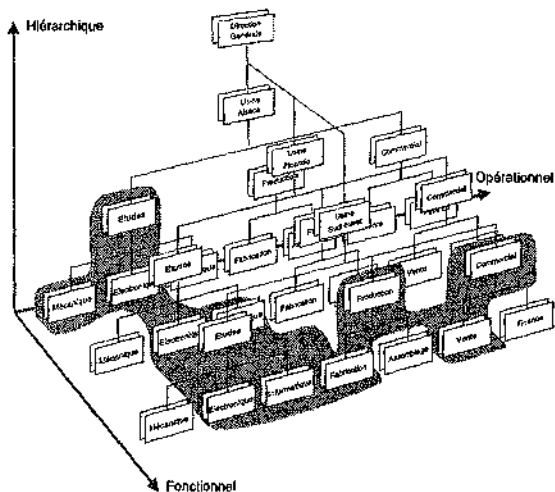


Figure 3 – Organisation de projet en structure matricielle

Les modes d'intégration et les règles de fonctionnement de la structure de projet, ainsi que le niveau de responsabilité et de décision de chaque intervenant, sont clairement explicités et négociés avec la hiérarchie. Un accord préalable (une « charte ») entre la hiérarchie et les chefs de projet définit le partage des pouvoirs. Dans cette grande entreprise d'équipements aéronautiques, le chef de Projet Radar est responsable de l'ensemble des opérations de construction. Mais la hiérarchie fonctionnelle décide de l'adéquation des besoins en ressources et des effectifs et conserve son pouvoir d'évaluation sur les acteurs projet. La forme de cette structure est présentée figure 3.

1.5 La structure ad hoc

Ce type de structure a été décrit par Henry Mintzberg sous le nom de structure *ad hoc*⁶ pour caractériser ces dispositifs organiques conçus pour le développement de projets innovants. Placée sous la responsabilité d'un chef de projet, elle réunit des spécialistes issus des différents services choisis pour leurs compétences dans le domaine traité par le projet : par exemple, des ingénieurs ou techniciens des bureaux d'études, des méthodes, du marketing, des achats, de la logistique... La structure doit offrir toute la souplesse nécessaire pour permettre aux différents intervenants de communiquer et de coopérer très étroitement dans le cadre de son contrat. Une fois le projet achevé, les acteurs regagnent leur service d'origine (voir figure 4).



Les structures *ad hoc* sont des formes d'organisation dite transfonctionnelles.

Elles se développent selon tous les axes de l'organisation.

- elles peuvent impliquer plusieurs niveaux hiérarchiques (axe hiérarchique),
- elles concernent tous les domaines d'activités et interviennent dans plusieurs phases des processus (axe opérationnel),
- elles sont porteuses d'une forte part d'innovation dans les techniques et les méthodes (axe fonctionnel).

Figure 4 – Organisation de projet en structure ad hoc

2 Les acteurs d'un projet

Pour mener à bien un projet, il faut avant tout que les règles de fonctionnement qui régissent les relations entre les différents intervenant soient clairement définies et connues de tous. Ceci doit faire l'objet d'un document appelé selon les cas **note d'organisation** ou **plan de management**, dans lequel on définit :

- la composition des différents groupes d'acteurs ;
- les attributions et les responsabilités ;
- le domaine de compétence de chacun ;
- les règles de fonctionnement ;

⁶Henry Mintzberg, Structure et dynamique des organisations. Les Editions d'organisation, Paris 1983.

- l'organisation de la communication ;
- les procédures contrôle.

Il existe bien entendu une multitude de possibilités en ce qui concerne le fonctionnement d'un projet. Mais la répétitivité de certaines situations a conduit à définir des organisations types, adaptées aux cas les plus courants. Celles-ci peuvent faire l'objet de normes ou de notes d'orientation.

2.1 Projets sur contrats

Ce mode de fonctionnement est particulièrement bien adapté aux projets relativement importants, où le système à réaliser peut être découpé en sous-ensembles (voir chapitre 9 « découper le projet »). A ce mode d'organisation, est associé certains acteurs types dont les interactions sont représentées sur la figure 5.

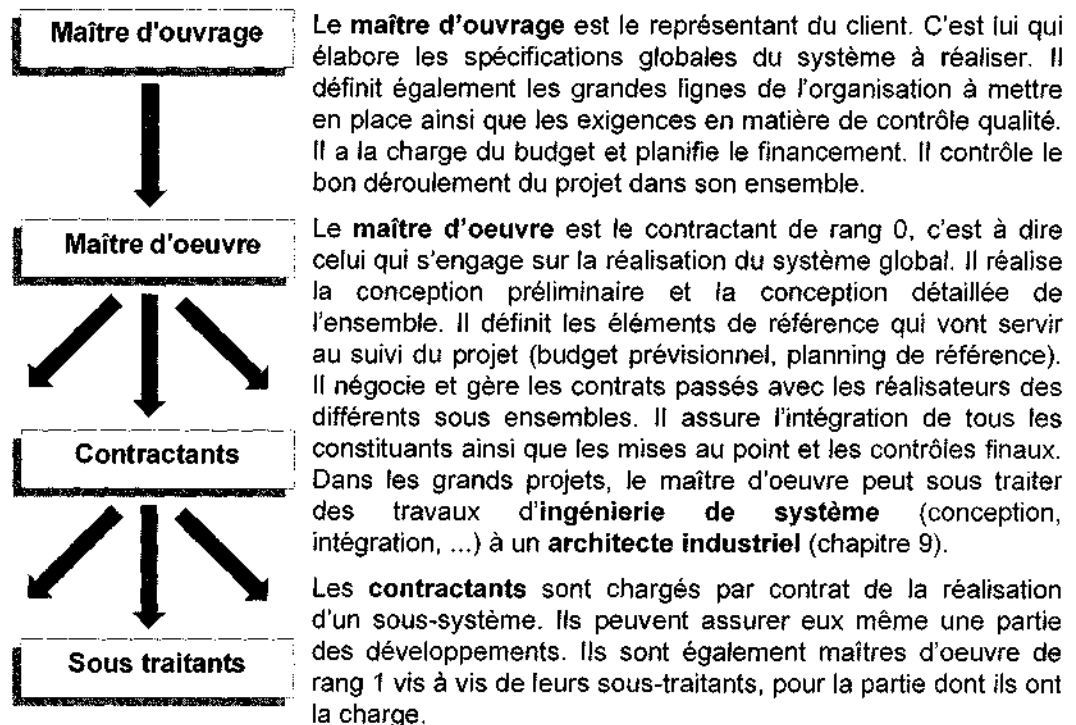


Figure 5 – Les acteurs d'un projet sur contrat

Les **sous traitants** ou sous contractants sont chargés de la réalisation d'un élément. Dans les grands projets, ils peuvent être également maître d'oeuvre de rang 2 d'un sous ensemble.

2.2 Projets d'innovation interne

Les projets d'innovation interne sont menés par le demandeur pour ses besoins propres (informatisation, amélioration de moyens de production, ...). Leur intérêt est à la dimension des enjeux qu'il représente pour l'organisation.

- **il s'intègre dans une stratégie globale** et doit par conséquent rester cohérent avec les orientations générales qui régissent le reste de l'activité ;
- **il impacte l'organisation** et doit obtenir l'adhésion des utilisateurs tout en s'intégrant au mieux dans le contexte socio-technique de la structure cliente ;

- **il s'appuie sur l'expérience** et doit par conséquent se donner les moyens de faire participer tout ceux qui sont susceptibles de faire progresser la réflexion.

Pour satisfaire à ces exigences énoncées ci-dessus, on est conduit à mettre en place une organisation qui s'appuie sur la participation de plusieurs groupes d'acteurs. Ceux-ci, selon leurs compétences et leurs attributions ont un rôle décisionnel, exécutif ou consultatif (voir figure 6).

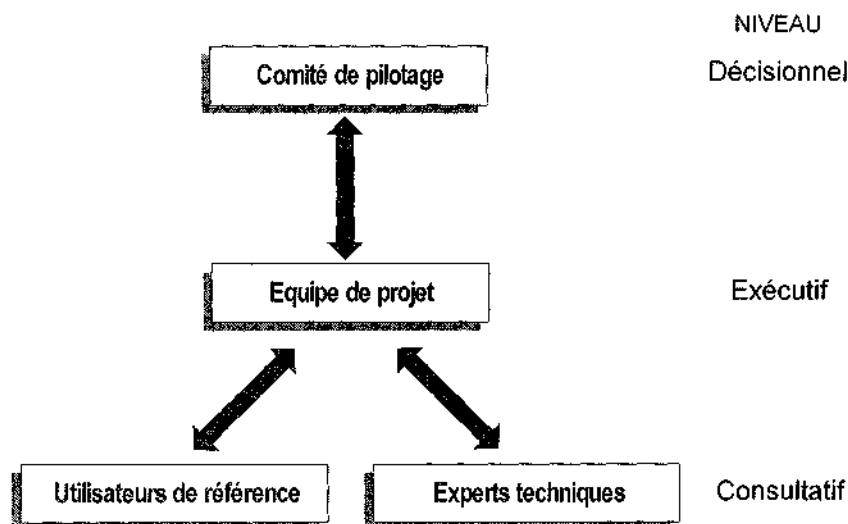


Figure 6 – Les trois niveaux de l'organisation projet

- **Le comité de pilotage** est chargé de prendre toutes les décisions concernant les orientations du projet. Représentant de la direction, il est investi d'un réel pouvoir de décision. La crédibilité de l'opération envisagée dépend, pour une bonne part, du niveau hiérarchique des participants. C'est en effet de lui que le chef de projet reçoit son autorité fonctionnelle. Le comité de pilotage a également un rôle de contrôle. Il effectue des revues de projet, s'assure de l'état d'avancement et de la qualité des résultats.

- **Les utilisateurs de référence** sont choisis pour leur bonne connaissance du besoin et du contexte d'utilisation du produit. Ils peuvent être consultés dans toutes les phases du développement :

- dans le cadre de l'expression du besoin ;
- pour réaliser des études d'ergonomie ;
- pour critiquer et valider des maquettes de pré-étude ;
- pour valider les documents de spécification ;
- pour participer à la recette et à la mise en service.

- **Les experts techniques** peuvent apporter ponctuellement leur concours dans des domaines très spécifiques qui concernent le développement. Ils orientent les travaux du groupe de projet en apportant leurs connaissances :

- sur le domaine d'application ;
- sur des techniques de pointe.

3 L'équipe de projet

La mise en place de structures transversales obéit à une logique de coordination et de communication par la proximité des acteurs impliqués dans une même équipe.

L'équipe de projet présente plusieurs caractéristiques :

- elle est constituée autour d'un chef de projet ;
- elle conjugue des métiers différents au sein d'une même mission et sur un même lieu (le « plateau ») ; les acteurs-métiers, issus de leur service d'origine (études, méthodes, achats, logistique...), sont alors appelés *acteurs-projet* ;
- elle est dédiée à un sous-ensemble particulier du produit à réaliser ;
- elle intervient en parallèle avec d'autres équipes travaillant sur le même système (ingénierie simultanée) ;
- la proximité des acteurs sur un même lieu favorise la coordination des tâches par ajustement mutuel ;
- elle progresse de manière expérimentale par le développement de maquettes ou de prototypes permettant la confrontation d'avis différents ;

L'équipe de projet est donc le vecteur d'une plus grande efficacité en termes de flexibilité, de maîtrise des coûts et des délais de conception, et au final de la qualité.

3.1 Le profil de l'équipe de projet efficace

Une équipe de projet est une entité originale qui doit présenter, au plan interpersonnel, des qualités exceptionnelles d'engagement, de motivation, de cohésion et d'autonomie. Les caractéristiques principales d'une équipe efficace sont les suivantes :

- **une taille restreinte**, limitée au maximum à dix intervenants, la taille optimale étant de six ou sept ;
- **une règle du jeu**, définie en termes d'objectifs et de missions à exécuter dans le cadre d'une charte ou d'un contrat de projet. Cette charte précise le sujet ou le problème posé, le calendrier, les conditions de budget, les risques, les niveaux de qualité à atteindre, la durée de vie de l'équipe. Doit être explicité le niveau d'autonomie de décision aux plans de l'organisation, du fonctionnement et de la gestion des problèmes en cas d'alerte ;
- **une forte motivation** de tous les acteurs, qui constitue l'objectif managérial prioritaire du chef de projet. Cette motivation est au service d'une productivité et d'une qualité maximales dans des conditions d'actions souvent complexes, informelles ou conflictuelles ;
- **un système de communication efficace** basé sur l'utilisation de méthodes et d'outils de schématisation présentés et commentés en réunions, la conception et la transmission de documents standardisés et référencés de façon explicite et précise ;
- **une forte solidarité**, basée sur l'écoute, l'entraide, la coopération, l'utilisation d'un langage technique commun, dans le but d'assurer à l'équipe une cohésion maximum ;
- **une créativité** stimulée en commun pour la recherche de solutions rapides et efficaces, la conception de scénarios à succès.

3.2 Les mécanismes de coordination dans une équipe projet

Les cinq types de mécanismes de coordination de H. Mintzberg peuvent rendre compte de la structure, évolutive et à géométrie variable, d'une équipe de projet (voir tableau 2). Comme dans l'exemple de l'orchestre symphonique (cité par l'auteur), plusieurs modes interviennent en même temps, voire, de manière progressive et dans l'ordre suivant :

- **La supervision directe** : la coordination est assurée par le chef de projet dont la tâche peut être divisée en deux temps : 1) il présente aux coéquipiers les différents points du contrat de projet, 2) il leur fournit des directives de travail et les soutient dans leur progression.

– **La standardisation des procédés** : les coéquipiers mettent en oeuvre des procédés définis par un expert ou dans un plan d'action (un plan qualité par exemple). Les objectifs sont définis en même temps, donc, que le chemin pour y parvenir.

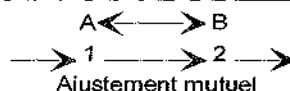
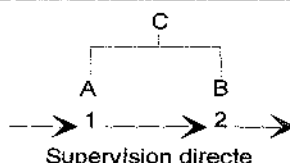
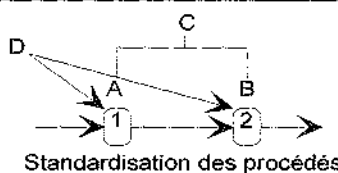
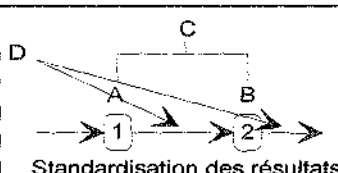
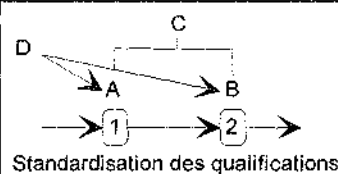
Les cinq mécanismes de coordination selon Henry Mintzberg	
– L' <i>ajustement mutuel</i> : les opérateurs A et B partagent le même espace de travail : ils s'observent, communiquent, s'ajustent en « temps réel » pour accomplir les tâches 1 et 2 (les musiciens).	
– La <i>supervision directe</i> : la coordination est assurée par le supérieur sur la base de directives, de leur exécution et du contrôle (le chef d'orchestre).	
– La <i>standardisation des procédés</i> : la manière de procéder est spécifiée à l'avance, les opérateurs appliquent (exemple de la partition). Intervention de l'expert D pour la spécification des procédés.	
– La <i>standardisation des résultats</i> : les résultats sont spécifiés à l'avance, l'exécution est libre (chiffre d'affaires, ventes, etc.). Intervention de l'expert D pour la spécification des résultats.	
– La <i>standardisation des qualifications</i> : des connaissances sanctionnées par un diplôme de haut niveau sont spécifiées à l'avance, l'opérateur sait ce qu'il a faire de A à Z.	

Tableau 2 – Les mécanismes de coordination (d'après H. Mintzberg)

– **L'ajustement mutuel** : les coéquipiers échangent leur point de vue sur la manière d'exécuter le travail, posent les problèmes et recherchent des solutions en utilisant plusieurs sortes de supports de communication : face à face, réunion, téléphone, écran d'ordinateur, tableau blanc...

– **La standardisation des résultats** : dans un second temps, l'équipe, parce qu'elle gagne en autonomie, substitue aux procédés spécifiés par l'expert ses propres procédés, mis au point par ajustement mutuel en son sein. Une relation de confiance s'instaure entre les membres de l'équipe, ce qui est la finalité pédagogique recherchée. La coordination est assurée sur la base des résultats tels qu'ils sont spécifiés dans le cahier des charges fonctionnel.

– **La standardisation des qualifications** : ce dernier mode de coordination constitue naturellement un objectif d'apprentissage ultime. La confiance réciproque dans les savoir-faire de chacun peut être à l'origine d'une organisation au sein de laquelle la coordination est fondée sur la compétence supposée de chacun et sera constatée et effective non plus au plan des résultats mais plus simplement au plan des jalons du planning. Ce mode de coordination interviendra naturellement au bénéfice d'autres projets. La progression de l'équipe en matière d'ingénierie concourante peut être formalisée comme suit (figure 7) :

– dans un premier temps d'exécution technique du projet, la réalisation des différents sous-systèmes d'un premier niveau est confiée à un acteur ou à un « binôme » d'acteurs se coordonnant par ajustements successifs ; un premier objectif de résultat est fixé (la réalisation des sous-systèmes).

– chaque acteur ou binôme travaille en parallèle sur la base d'une relation de confiance elle-même fondée sur la compétence supposée de chacun (coordination par qualification) ;

– une phase d'ajustement décisive intervient au moment du passage au second temps de l'exécution du projet ; l'objectif est d'intégrer les sous-systèmes du premier niveau en sous-systèmes de second niveau ; cette tâche peut être confiée à des acteurs différents.

On note que l'équipe combine en fait deux modes principaux de coordination : la standardisation des qualifications pour la conception simultanée de parties du système et l'ajustement mutuel pour l'intégration progressive de ces parties vers l'objectif terminal.

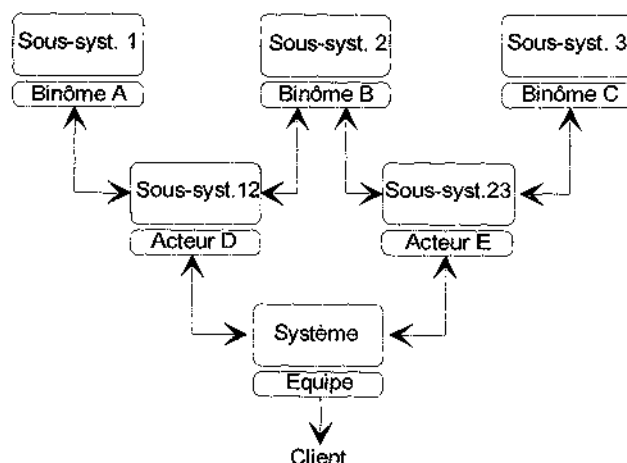


Figure 7 – Les niveaux de coordination dans l'équipe de projet

4 Le chef de projet

Le chef de projet est souvent comparé à un chef d'orchestre. Sa compétence doit être pluridisciplinaire (il sait déchiffrer toutes les partitions) :

- il a une vision globale du projet (il est porteur du sens de la symphonie) ;
- il coordonne et régule les tâches de son équipe (il conduit son orchestre « à la baguette ») ;
- il sait motiver son équipe (il doit être perçu comme un leader charismatique par ses musiciens) ;
- il maîtrise une ou plusieurs techniques (il sait jouer d'un ou de plusieurs instruments).

Dans certaines entreprises, le chef de projet dispose d'une autorité entière, mais évidemment temporaire, sur l'équipe qui lui est rattachée. I. Chvidchenko et J. Chevallier parlent d'un *droit de passage transversal dans la pyramide de l'organisation*⁷ : à ce titre, il entretient une liaison directe avec tous les intervenants impliqués dans le projet.

⁷op. cit. p. 477.

Responsable de la réalisation des objectifs du projet, il intervient dans de nombreux domaines inexplorés, donc à hauts risques d'échec : marchés nouveaux, technologies innovantes, nouveaux partenaires, langages de spécialités différents, structures non expérimentées. Il doit faire preuve de grandes aptitudes à la communication et à la négociation. Sa crédibilité et sa force de persuasion dépendent de ses compétences en matière de management mais également de ses connaissances techniques. Leur dosage est fonction de la taille du projet. Dans un petit projet, il peut « mettre la main à la pâte » ; dans une opération plus importante, il se consacre principalement à ses tâches de management. Sa formation d'origine est généralement celle d'un ingénieur, complétée, le cas échéant, d'une formation spécifique en management.

En clair, le chef de projet doit prouver ses compétences dans au moins cinq domaines fondamentaux :

- l'organisation pour la conception de structures de projet efficaces ;
- la méthodologie pour gérer le projet ;
- la communication pour diffuser les informations ;
- la stratégie pour négocier, gérer les risques et anticiper ;
- le management des acteurs du projet pour motiver ou gérer les situations conflictuelles.

4.1 Les fonctions du chef de projet

En règle générale, le chef de projet :

- participe à la définition du projet ;
- participe au choix des sous-traitants ;
- mobilise les ressources nécessaires à la réalisation du projet ;
- conçoit et met en place le système de gestion du projet (plannings, organigrammes...) ;
- structure et coordonne les activités de son équipe par rapport aux services opérationnels ;
- assure la transmission de l'information (le reporting) ;
- représente son équipe auprès des différents partenaires du projet ;
- gère les situations conflictuelles et assure la cohésion de son équipe ;
- assure le suivi du projet ;
- livre le produit au client ;
- établit le bilan du projet ;
- est avant tout garant des résultats.

4.2 Les styles de management du chef de projet

La pratique du management se définit selon des *styles*. En clair, cette notion désigne les modes de relation aux subordonnés combinant différentes variables : la personnalité et le système de valeurs du manager, le comportement de son équipe et des paramètres contextuels (une situation de crise, par exemple)⁸.

⁸Tannenbaum et Schmidt, Comment choisir un style de leadership?, Harvard Business Review (trad. fr.), mars-avril 1958.

La Managerial Grid® de Blake & Mouton⁹

La théorie bidimensionnelle de Robert R. Blake et Jane S. Mouton définit l'action managériale selon deux axes : l'un tendu vers « l'intérêt pour l'élément humain », l'autre vers « l'intérêt pour les impératifs de production ». L'application de cette théorie a pris la forme, devenue classique, de la Managerial Grid®. Il s'agit d'un tableau à double entrée dans lequel l'échelle horizontale permet de mesurer le style de management orienté vers les personnes, tandis que l'échelle verticale permet de mesurer le style orienté vers les résultats. Un manager qui présente un score de 1,1 a choisi de ne pas s'impliquer dans la vie de son groupe. C'est le **style laisser-faire**, routinier, indifférent. Un manager à 1,9 est très attentif à ses subordonnés, beaucoup moins à leurs résultats. On parle alors de **style social** dans lequel la priorité est donnée à l'ambiance, au climat, aux bonnes relations entre les membres du groupe. Un manager à 9,1 "mène ses gens à la baguette" : c'est le **style autocrate**, planificateur, procédurier, soucieux de la production et l'occasion répressif. Un score de 5,5 est considéré comme un bon compromis, tandis qu'un score de 9,9 constitue l'idéal managérial, basé sur la confiance, l'initiative, l'implication et la valorisation de tous pour la productivité la meilleure. C'est le **style intégrateur** (voir tableau 3).

Le chef de projet doit faire preuve de réelles qualités de manager. Son profil type réunit les compétences suivantes :

- **Le stratège** : il sait évaluer les risques induits par une décision importante et imaginer les scénarios les plus aptes à favoriser le déroulement optimal du projet. Il a une vision claire des enjeux, pressent les attentes des partenaires, sait évaluer et optimiser les forces de chacun, sait anticiper les opportunités et les conséquences d'actions critiques.
- **Le pilote** : dans une situation problématique, il sait prendre rapidement des décisions sans consultation préalable de sa hiérarchie. Expert en conduite de projet, il maîtrise, applique et fait appliquer, au bénéfice des choix d'actions de l'équipe, les méthodes les plus efficaces pour assurer le succès du projet dans le cadre des objectifs techniques, de coûts et de délais.
- **Le communicateur** : bon communicateur, le chef de projet doit faire accepter la stratégie du projet par tous les membres de son équipe et développer un climat de confiance mutuelle. Il sait utiliser les outils d'une communication d'influence : il n'impose pas de solutions toutes faites mais apporte une aide méthodologique et technique à la résolution des problèmes. Il maîtrise plusieurs langages de spécialités (marketing, ventes, finance, et bien sûr technique).
- **L'éducateur** : il favorise l'apprentissage méthodologique au sein de son équipe en capitalisant et en analysant l'expérience acquise.
- **L'intégrateur** : véritable explorateur de réseau, animateur efficace de réunions, bon négociateur et bon coordinateur, il pilote son projet dans des situations complexes en veillant à préserver la qualité de l'ambiance, la cohésion et la créativité de son équipe. Il « stimule les autres à s'impliquer dans les problèmes et à participer activement à la recherche de solutions. Tout membre de l'équipe peut s'exprimer et se sent donc responsable d'apporter une contribution positive à la fois pour les tâches d'équipe et pour les tâches individuelles »¹⁰ (voir ci-dessous tableau 3, la Managerial Grid de Blake et Mouton).

⁹Robert R. Blake et Jane S. Mouton, Les deux dimensions du management (trad. fr.), Paris, Les Editions d'Organisation, 1969. On lira également un ouvrage plus récent des mêmes auteurs, auquel est associé Robert L. Allen : Culture d'équipe. Team Building (trad. fr.), Paris, Les Editions d'Organisation, 1988.

¹⁰Robert R. Blake et Jane S. Mouton, Culture d'équipe, op. cit. p. 91.

9	1,9								9,9
8									
7									
6									
5					5,5				
4									
3									
2									
1	1,1								9,1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Souci des résultats

Tableau 3 – La Managerial Grid® de Robert R. Blake et Jane S. Mouton

4.3 Les facteurs de performance de l'équipe de projet

La performance de l'équipe est fonction de deux sortes de facteurs : les **facteurs endogènes**, internes à l'équipe et spécifique de sa psychologie, et les **facteurs exogènes**, liés aux différentes composantes de l'environnement.

La performance

« Alors que l'on juge les managers sur leurs résultats, le personnel est jugé non seulement sur ses propres résultats mais sur son engagement personnel pour les obtenir »¹¹. Selon l'auteur, Lester R. Bittel, l'engagement personnel est l'un des trois facteurs, avec la ponctualité/assiduité et les résultats, à la base de la performance de l'employé. Un tel comportement, qui suppose chez le subordonné, lucidité, confiance, détermination, adhésion aux valeurs explicites de l'entreprise, est tout à fait bienvenu dans notre contexte de formation : il confère sens et énergie à la performance de l'élève, et par extension à son équipe, ponctualité/assiduité et résultats constituant alors les deux autres composantes d'un processus global.

4.4 Les facteurs endogènes :

- **Les facteurs de personnalité** : ce sont les traits de caractère dominants, négatifs ou positifs, des coéquipiers susceptibles d'influer sur la motivation et la performance de l'équipe (indolence, agressivité, vivacité, dynamisme, générosité, sérieux, etc.). La psychologie individuelle n'est certainement pas une composante à ignorer dans le montage d'une équipe de projet. Elle détermine des profils et des climats de groupe aux effets parfois néfastes ou au contraire favorables à la cohésion et à la performance.
- **Le facteur de taille** : la taille de l'équipe est un élément inducteur de comportements différents selon qu'elle est composée d'un nombre pair ou impair de personnes (phénomènes de clans, d'exclusion).
- **Les facteurs d'échec** : des échecs répétés (même mineurs) dans un contexte de forte compétition peuvent induire un climat anxigène lié à l'enjeu de l'évaluation des

¹¹Lester R. Bittel, 36 heures pour s'initier à la pratique du management. Ediscience international, Paris 1993, p. 55.

performances individuelles. La difficulté est de parvenir à transformer un succès individuel en succès d'équipe.

– **Le facteur de spécialité** : une même équipe peut réunir des personnes de culture, de formation ou de spécialité technique différentes. Les incidences sur la cohésion de l'équipe ne sont pas négligeables. Une forte spécialisation des compétences est un facteur de cohésion dans un environnement peu favorable.

4.5 Les facteurs exogènes :

La typologie suivante n'est pas exhaustive. On retiendra :

– **Le facteur pluridisciplinaire** : motivation et performance de l'équipe de projet dépendent principalement de l'existence, dans l'entreprise, d'une culture projet formalisée et clairement exposée aux membres de l'équipe. Il constitue une condition majeure pour la mise en oeuvre des projets. Le cloisonnement fonctionnel est un facteur d'échec redoutable.

– **Le facteur innovant** : le projet doit présenter un réel intérêt commercial et technologique, stimuler la motivation par la modernité des technologies, des outils et des composants, ou encore par la complexité et la nouveauté de l'étude.

– **Le facteur ressources** : l'équipe de projet a-t-elle les moyens de ses ambitions ? En termes de ressources, peut-elle disposer, et dans quelles conditions, des compétences, des équipements, des matériaux et du temps nécessaires à la réalisation des objectifs ?

– **Le facteur tutorial** : le chef de projet joue un rôle fondamental dans la cohésion et la performance de l'équipe. Cela dit, une typologie des styles de management de projet reste à inventer, et dans ce domaine, aucune certitude n'est acquise. Un style « laisser-faire » peut produire d'excellents résultats, à l'inverse d'un style autoritaire très serré. Les équipes « naufragées » peuvent se révéler, dans certaines circonstances, particulièrement performantes.

– **Le facteur organisationnel** : le projet repose-t-il sur un schéma organisationnel cohérent et explicite ? On a vu l'importance, dans le chapitre sur l'équipe de projet, de mécanismes de liaison transversaux.

– **Le facteur procédural** : les remarques précédentes valent pour ce type de facteur, qui concerne la méthodologie de la gestion de projet, et notamment la planification des ressources.

– **Le facteur récompense** : si des résultats conformes aux objectifs, éventuellement enrichis de retombées industrielles ou commerciales, constituent pour l'équipe la première récompense, il importe d'évaluer et de valoriser la performance qui a permis de les obtenir à l'aide de critères explicites pour tous les acteurs impliqués dans le projet.

Chapitre 9

Découper le projet

Les différents acteurs du projet sont regroupés et identifiés au sein d'une structure de gestion spécifique qui précise la nature de leur tâche, leur durée et les ressources allouées. Cette structure est représentée au moyen d'un organigramme, appelé **organigramme technique de projet (OTP)**, résultat graphique d'une analyse rigoureuse. L'OTP est un outil indispensable de coordination et de communication.

1 Principe de construction de l'OTP

L'AFITEP définit l'OTP comme une représentation graphique du projet, le découpant par niveaux successifs jusqu'au degré de détail nécessaire à une planification et un contrôle adéquat¹. Il s'agit d'assurer la décomposition progressive et arborescente des tâches en prenant soin de déterminer des niveaux homogènes de tâches. Une telle schématisation doit mettre en évidence tous les éléments livrables au client (équipements, dossiers, installations, formation, etc.) et les tâches principales nécessaires à la conception et à la production de ces éléments (spécifications, études, ordonnancement, qualité, etc.).

La structuration de l'organigramme des tâches d'un projet doit obéir à plusieurs règles de cohérence :

- découpage du système à réaliser en fonctions et en sous-fonctions à partir du besoin (voir le chapitre 4 sur l'analyse fonctionnelle) ;
- découpage de l'ouvrage en ses principaux constituants (sous-systèmes, ensembles et sous-ensembles) sous la forme de l'arborescence technique du produit (voir chapitre 13) ; dans cette approche, chaque constituant est considéré comme un produit partiel réalisé par un fournisseur de niveau $n+1$ pour son client de niveau n ;
- définition et affectation d'un lot homogène de tâches pour la réalisation de chacun des constituants ;
- définition d'un *contrat* entre un *client* du niveau n et un *fournisseur* du niveau $n+1$; le découpage de l'OTP s'arrête au plus petit contrat susceptible d'être passé entre un client et son fournisseur². Ce contrat recouvre un ensemble organisé de tâches qu'on appelle **lot de travaux** ;
- autonomie de responsabilité et de décision pour la réalisation et la gestion des lots de travaux à partir des moyens affectés ;
- articulation de l'OTP sur l'organigramme fonctionnel de l'entreprise (voir figure 1) .

Un tel découpage permet de spécifier des éléments de plus en plus simples, « dont les coûts et les délais sont plus faciles à estimer, et dont la responsabilité de réalisation peut

¹AFITEP, Le management de projet, op. cit. p. 23.

²Dominique Tissier, op. cit. p. 236.

être attribuée à un intervenant clairement identifié et très proche du niveau réel d'exécution du travail »³.

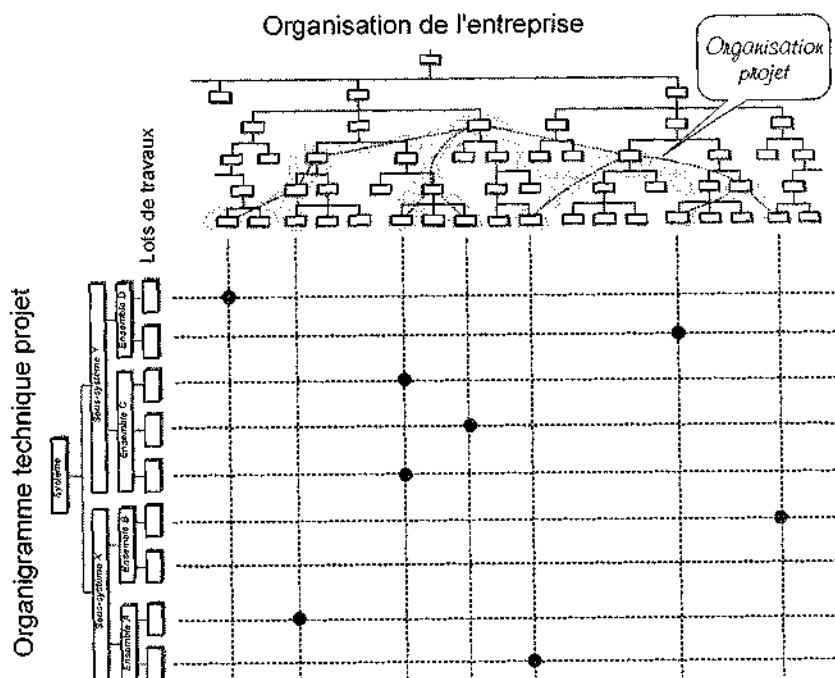


Figure 1 – Relations entre l'organigramme technique produit et l'organisation interne

1.1 L'arborescence fonctionnelle

Cette arborescence est obtenue par décomposition du système en fonctions et en sous-fonctions, auxquelles sont rattachées les tâches correspondantes ; cette approche est conseillée en phase de démarrage du projet⁴. La figure 6 donne un exemple d'arborescence fonctionnelle pour le projet Mididanse.

1.2 L'arborescence technique du produit

L'arborescence technique du produit met en évidence les différents constituants du système global à réaliser. « La définition de l'arborescence technique (AP) est une tâche essentielle pour le management d'un système. Elle permet de disposer, pour l'ensemble des acteurs, d'une architecture unique et cohérente »⁵. Cette arborescence résulte de la décomposition du système en niveaux successifs.

Au premier niveau, le système constitue l'objectif final de réalisation, le produit livrable au client du projet. Au second niveau, on obtient les sous-systèmes ; au niveau $n+3$, les ensembles ; au niveau $n+4$, les sous-ensembles. Un système peut prendre la forme d'un produit matériel (une carte électronique, un ordinateur), ou d'un produit immatériel (un logiciel, un service) ou de la combinaison des deux (des ordinateurs installés en réseau, une organisation, un système de gestion). On propose les exemples suivants⁶ :

– exemple de système : un réseau informatique (matériel et logiciel),

³AFITEP, op. cit. p. 23.

⁴Voir la recommandation générale pour la spécification de management de programme (RG Aéro 000 40, juin 1991, p. 22.

⁵Jean Cavallès et al., Méthodes de management de programme, Teknea, Toulouse, 1995, p. 85.

⁶Cf. par exemple Yves Chaigneau, Michel Périgord, Du management de projet à la qualité totale. Les Editions d'Organisation, Paris, 1990, pp. 50.51.

- *sous-système* : réseau local (matériel), système d'exploitation (logiciel),
- *ensemble* : ordinateur (matériel), compilateur (logiciel),
- *sous-ensemble* : unité centrale et programme,
- *composant* : circuit intégré et instruction.

Cette opération de découpage répond aux « *risques associés à une mauvaise analyse des interfaces internes au système (oubli de constituants, non compatibilité d'interfaces...)* »⁷. Elle doit permettre de définir, de structurer et de répartir les différentes tâches du projet.

1.3 Le lot de travaux

Le lot de travaux (LT) est l'ensemble cohérent des tâches nécessaires à la réalisation d'un constituant de l'ouvrage tel qu'il peut être fourni au client. Le LT présente les caractéristiques suivantes :

- il est rattaché à un constituant bien identifié de l'ouvrage ;
- il est confié à un responsable unique chargé de sa gestion ;
- il appartient à une seule rubrique (études, production, gestion...) ;⁸
- il regroupe un ensemble homogène de tâches ;
- il reçoit des ressources spécifiques pour l'exécution de ces tâches ;
- une période d'activité continue dans le cadre d'un délai défini (durée, date de début et de fin).

1.4 La fiche de description de lot de travaux

La fiche de description de lot de travaux résume les caractéristiques principales des tâches constitutives du LT. Confiée pour sa rédaction et son suivi au responsable de LT, elle reprend en outre les éléments identifiants du projet (voir tableau 1).

FICHE DE DESCRIPTION D'UN LT		Edition du ;
Projet :		
N° OT :		
Titre du LT :		
Responsable :		
Date début :		Date fin
Budget :		
Description du LT :		
– Description des tâches principales :		
– Entrées nécessaires :		
– Fournitures :		

Tableau 1 – Exemple de fiche de description de lot de travaux (d'après Michel Joly et al⁹.)

1.5 Les interfaces

Du fait de la relation client / fournisseur, le lot de travaux est le niveau de visibilité le plus fin accessible au niveau supérieur. Toute la cohérence de l'ensemble repose donc sur une définition précise des **interfaces**. Celles-ci peuvent se résumer à la liste suivante :

⁷Jean Cavallès, id., p. 89.

⁸Michel Joly, Jean Le Bissonais, Jean-Louis G. Muller, Maîtrisez le coût de vos projets - Manuel de coûtéance, AFNOR, 1993, p. 41.

⁹Michel Joly, Jean Le Bissonais, Jean-Louis G. Muller, op. cit., p. 42.

– *Au plan technique*, la conception des interfaces est assurée au niveau Système de l'organigramme technique. Cette opération permet de déterminer les modes de dialogue, de jonction, d'assemblage et de fonctionnement global des sous-systèmes, ensembles et sous-ensembles.

– *Au plan ordonnancement*, il s'agit de définir et de planifier les étapes (en méthode PERT) ou les activités (en méthode des potentiels) qui vont permettre d'assurer l'interfaçage technique au *plan synchronique* et/ou au *plan diachronique*. Ces termes, empruntés à la linguistique, désignent, d'une part, pour la synchronie, l'*opération de convergence*, en une seule activité ou étape, des activités de réalisation des sous-systèmes, ensembles ou sous-ensembles réalisés, et d'autre part, pour la diachronie, l'*opération d'enchaînement* des activités ou étapes pour la construction progressive du produit.

– *Au plan organisationnel*, on parle d'interfaces pour désigner les dispositifs de coordination prévus entre les différentes structures d'acteurs. Le chef de projet et un responsable de LT peuvent former, par exemple, un tel dispositif.

– *Au plan communicationnel*, les interfaces documentaires (schémas, tableaux, matrices, organigrammes...) jouent un rôle prépondérant dans la mise en cohérence de la structure d'un projet.

1.6 L'intégration

Au plan technique, l'intégration correspond aux phases d'essai, de mesure et d'assemblage des constituants du système.

Au plan de la gestion, l'intégration correspond aux tâches d'ordonnancement et de suivi par niveau et inter-niveau. Ces tâches constituent, pour l'organigramme technique, une condition essentielle d'homogénéité transversale. Leur but est d'assurer la conception des **interfaces techniques et de gestion** et la mise en oeuvre globale des différentes parties constitutives du système (voir figure 2).

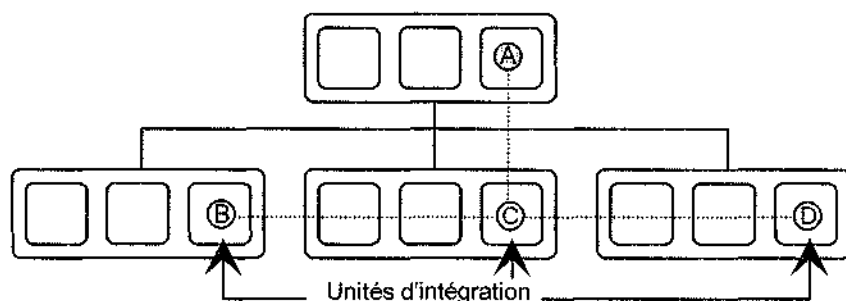


Figure 2 – L'interface d'intégration dans l'OTP

Le processus d'intégration codifié ABCD sur le schéma est un processus transversal dont la finalité est le développement progressif et cohérent du système par le jeu des interfaces techniques selon une démarche ascendante. Ces phases d'intégration marquent les points de convergence d'activités techniques pour le développement en parallèle (« *ingénierie simultanée* ») des sous-systèmes. C'est l'un des aspects les plus critiques, aux plans organisationnel et communicationnel, du travail dans une équipe de projet *ad hoc*.

– *Au plan organisationnel*, on parle d'interfaces pour désigner les dispositifs de coordination prévus entre les différentes structures d'acteurs. Le chef de projet et un responsable de LT peuvent former, par exemple, un tel dispositif.

– Au plan communicationnel, les interfaces documentaires (schémas, tableaux, matrices, organigrammes...) jouent un rôle prépondérant dans la mise en cohérence de la structure d'un projet. On parle enfin d'*interface numérique* pour désigner les codes de niveaux de l'organigramme technique.

La figure 3 présente le détail des éléments de l'OTP pour la réalisation d'un petit projet.

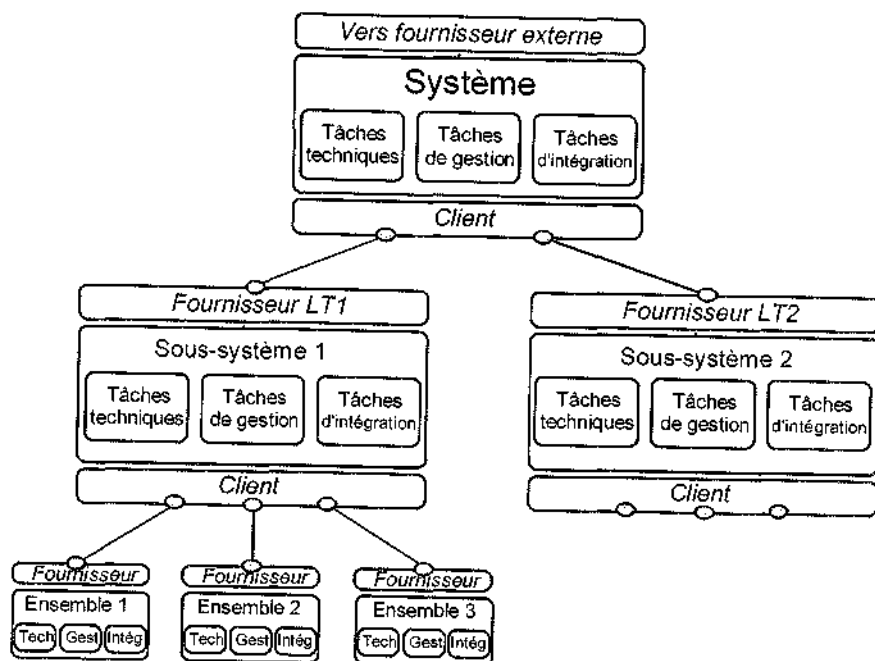


Figure 3 – Les différents niveaux de l'OTP

La liste détaillée des tâches de gestion comprend pour chaque lot de travaux :

– **préparation du projet :**

- la négociation, la rédaction et la gestion des contrats : les contrats interviennent entre les différents partenaires internes et, au premier chef, entre les concepteurs-réalisateurs du projet et le demandeur-client,
- la définition des entrées et des sorties (matériels, documents...),
- ordonnancement des tâches,
- prévision des ressources, des coûts et des délais,

– **réalisation du projet :**

- affectation et suivi des ressources,
- suivi des coûts et des délais,
- mise en place des actions correctives.

En règle générale, les lots de travaux comportent une *codification spécifique* destinée à faciliter le repérage des différents niveaux de l'OTP. Cette codification est généralement établie sur le principe de la *filiation*¹⁰. Les figures 5 et 7 donnent un exemple de système de codification.

¹⁰ Chvidchenko et J. Chevallier, *Conduite & Gestion de projets*, CEPADUES-Editions, Toulouse, 1993, p. 143.

2 Découpage d'un grand projet

Dans les petits projets, la quasi-totalité des constituants est réalisée par le même organisme ou entreprise. Il n'en est pas de même pour les grandes réalisations qui nécessitent la collaboration de nombreux organismes industriels. Dans ce cas, « tous les travaux nécessaires à la réalisation du programme (ou du projet) doivent être couverts par un ensemble cohérent de contrats ou documents équivalents : (protocoles d'accord entre industriels par exemple) s'articulant selon l'organisation industrielle. Cette cohérence doit couvrir tous les aspects techniques, financiers, administratifs et calendaires du programme »¹¹. Ce mode de fonctionnement suppose la mise en place d'une organisation capable de prendre en compte les aspects contractuels qui régissent les relations entre les acteurs. La figure 1 s'en trouve alors modifiée dans la mesure où on voit émerger des rôles nouveaux (voir figure 4).

Comme on a pu le voir au chapitre 8 « manager le projet », la responsabilité de mener à bien le projet dans sa totalité, est confiée par contrat à un **maître d'oeuvre** principal. Celui-ci peut être un industriel, également chargé du développement de tout ou partie des sous-ensembles qui constituent la réalisation. Mais il peut également se cantonner à ce qui est strictement son rôle, à savoir le suivi des contrats, la supervision du projet et le contrôle des résultats. Dans ce cas, la coordination technique est confiée à un **architecte industriel** qui est chargé de toutes les tâches dites d'**ingénierie de système**. Celui-ci a entre autres en charge :

- de définir l'architecture générale et d'élaborer un plan de développement global ;
- de spécifier les interfaces entre les différents sous-ensembles ;
- de réaliser l'intégration du système complet ;
- d'effectuer les mises au point et les contrôles finaux.

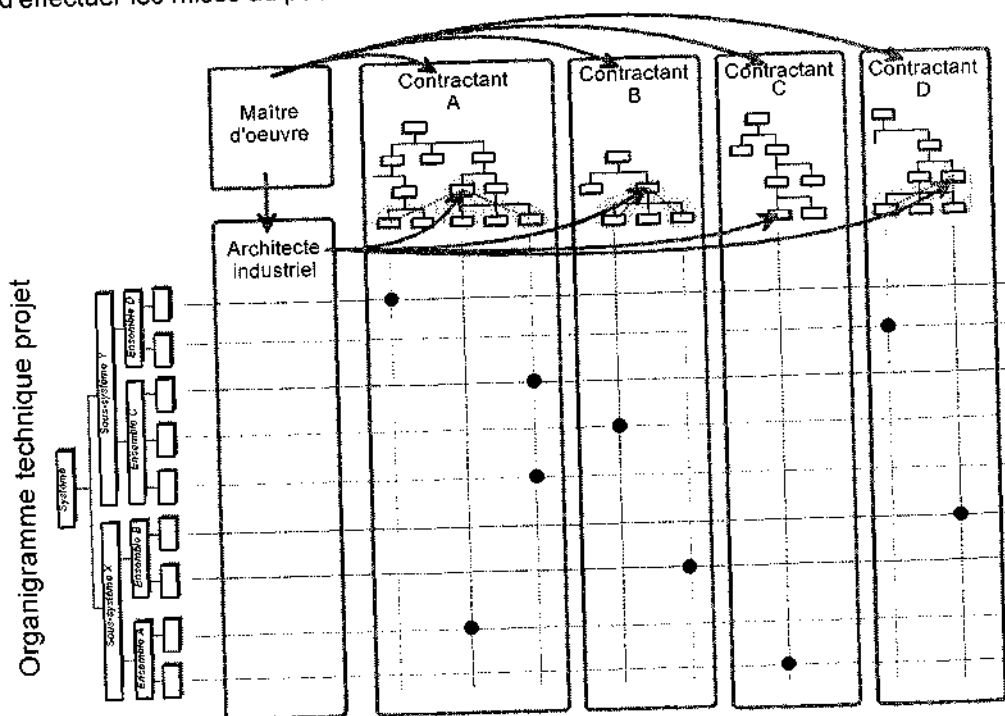


Figure 4 – Répartition des responsabilités sur un grand projet

¹¹ RG.Aéro 000 40, Bureau de normalisation de l'aéronautique et de l'espace.

Chaque **contractant** est chargé de la réalisation d'un sous-ensemble. Il doit mettre en place au sein de sa propre organisation, une structure projet répondant aux exigences du **plan de management** élaboré par le maître d'oeuvre. Il doit également transposer à son niveau les dispositions générales du **plan qualité** du projet.

Un contractant peut réaliser tout ou partie du sous-ensemble dont il a la charge. Il en est également le maître d'oeuvre. A ce titre, il peut faire appel à des **sous-contractants** qui à leur tour peuvent faire sous-traiter certaines parties, et ainsi des suite jusqu'au plus petit élément.

Une telle organisation pose le problème du niveau de visibilité laissé par chaque contractant au maître d'oeuvre dont il relève. En effet, le contrat constitue un engagement de résultat global sur la livraison finale. De ce fait, toute demande d'information, toute consigne formulée en cours de réalisation par le maître d'oeuvre agissant en tant que chef de projet, peut être considérée par le réalisateur comme une ingérence, à partir du moment où des dispositions contractuelles (réunions périodiques, comptes rendus d'avancement, fourniture de synthèses et d'indicateurs, audits) n'ont pas été prévues et écrites dès le départ.

Pour éviter toute ambiguïté dans les rôles et les responsabilités, il est impératif que les attributions et les domaines de compétence respectifs du maître d'oeuvre et de l'architecte industriel soient clairement définis. Ce dernier est l'interlocuteur privilégié des chefs de projet des contractants pour tous les problèmes d'ordre technique.

Ce mode de fonctionnement s'impose de fait pour de très grandes réalisations qui nécessitent l'intervention d'un nombre important de sociétés. On peut également s'en inspirer pour des projets beaucoup plus modestes. Ceci incite en effet à une identification claire des responsabilités.

3 Exemples d'application

– Exemple1 : le projet Stand

*Dans le cadre des activités d'un salon professionnel consacré à l'électronique, une agence de communication est chargée par une PME d'électronique de concevoir, de réaliser et d'animer un **stand**.*

Dans ce projet, chaque lot de travaux est confié à deux concepteurs qui travaillent séparément pour la réalisation des posters et ensemble pour la mise au point.

– *Tâches de niveau 1* : conception/réalisation de la partie documentaire (sous-système 1), de la partie « images » (sous-système 2) et de la partie « Animation musicale » (sous-système 3).

– *Tâches de niveau 2* : conception/réalisation des différents sous-ensembles. Dans l'organigramme (voir figure 5), les tâches d'intégration sont représentées à un niveau intermédiaire entre les niveaux 1 et 2.

Pour les tâches de niveau 2, les tâches d'intégration ont les caractéristiques suivantes :

– *Une caractéristique spatiale* : il s'agit de déterminer l'encombrement relatif des posters à l'intérieur du stand. La tâche d'intégration consiste alors à articuler, au niveau du sous-système Posters, les ensembles Posters formation et Posters Produits, ce qui doit permettre d'imposer au visiteur un ordre de lecture des informations.

– Une caractéristique temporelle : le dispositif d'intégration des ensembles Vidéo et Diaporama prévoit de diffuser les images animées et les images fixes en alternance pendant la durée du stand.

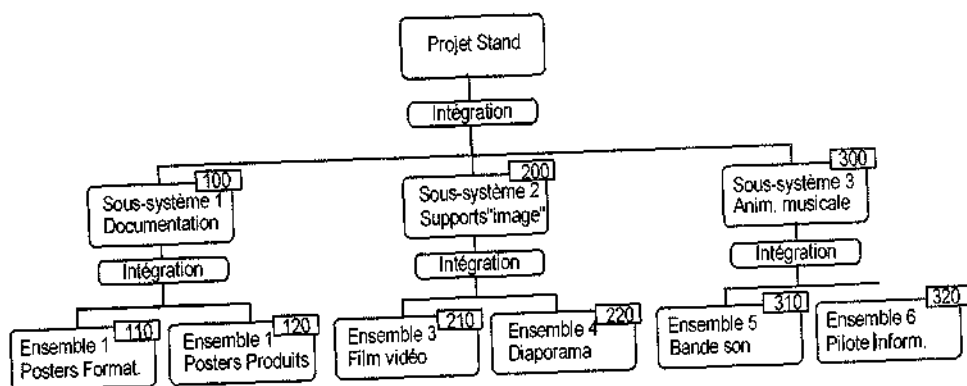


Figure 5 – OTP du projet Stand

– Exemple 2 : le projet Mididanse¹²

La figure 6 représente trois arborescences pour le projet Mididanse :

– l'arborescence des fonctions de service, qui rend compte des fonctions attendues par l'utilisateur du système ; il correspond à une première étape de l'étude du projet ;

– l'arborescence des fonctions techniques, qui rend compte, pour une étape seconde de l'étude, des fonctions techniques envisagées pour la réalisation des fonctions de service.

– l'arborescence technique des constituants, qui résulte des choix technologiques et, au final, de l'évolution conceptuelle du projet.

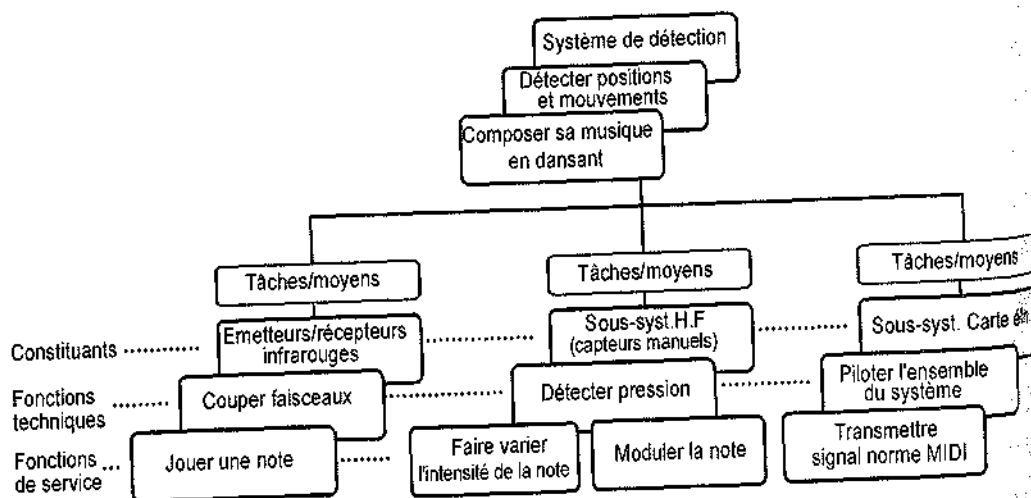


Figure 6 – Découpage fonctionnel et découpage technique pour le projet Mididanse (fonction « Composer sa musique en dansant »)

La figure 7 représente l'OTP global du projet Mididanse. Le projet est divisé en sept lots de travaux (Etudes marketing, Recherche de financement, Système de

¹²Exemple cité aux chapitres 3, 10 et 14.

détection, Intégration électronique, Supports mécaniques, Démonstration) sous la responsabilité de différents experts. On a fait figurer, pour chaque lot de travaux, des éléments du budget initial et du planning.

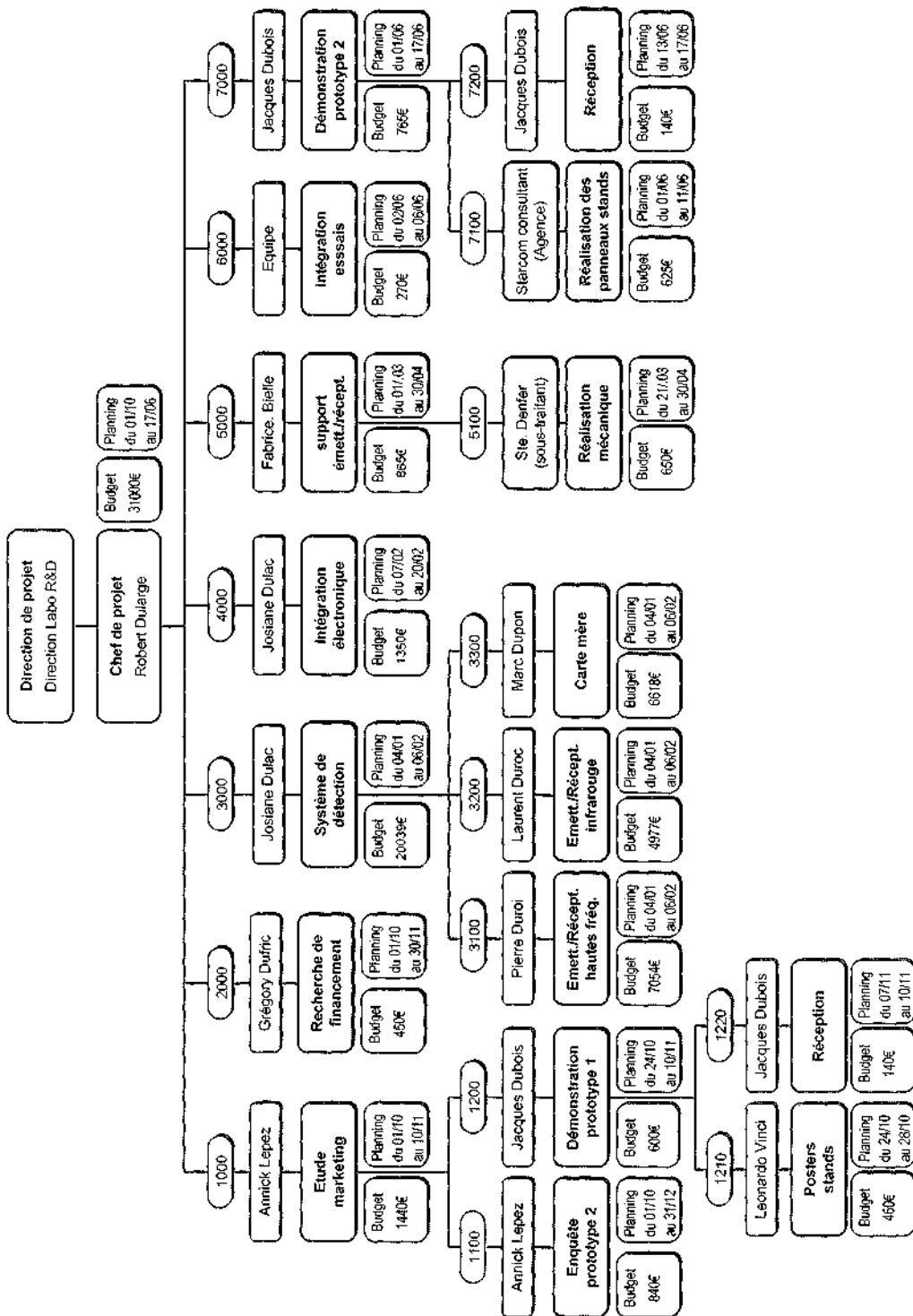


Figure 7 – OTP du projet Mididance.

L'organigramme technique constitue une base de référence pour l'ensemble des partenaires impliqués dans un projet. Il donne du projet une représentation synthétique, structurée et évolutive. Il permet de visualiser et de codifier la répartition des activités et des responsabilités dans le projet et de matérialiser leurs relations. Dans le cadre d'une mesure d'avancement, ce découpage en sous-systèmes et ensembles permet d'explicitier clairement, pour le chef de projet, les différentes filières de responsabilités et les ressources engagées.

Chapitre 10

Analyser les coûts

La gestion des coûts dans un projet comporte de nombreux risques¹, par exemple :

- arrêt des travaux ;
- dépassement du budget ;
- dégradation des performances et de la qualité...

Ces risques peuvent avoir, entre autres, pour origine :

- une confusion dans l'identification et la répartition des coûts, liés la plupart du temps à des problèmes terminologiques ;
- une distorsion entre l'optimisation des coûts et l'optimisation des performances techniques, qui conduit à la réalisation d'une étude coûteuse et peu concurrentielle ;
- une estimation des coûts trop approximative à l'origine d'écarts susceptibles de remettre en cause le contrat du projet ;
- un dérapage (ou dérive) des coûts en cours de réalisation du projet².

Une démarche de prévention peut se résumer en quatre opérations :

- la classification des coûts ;
- l'estimation des coûts ;
- l'optimisation des coûts ;
- la maîtrise des coûts³.

1 La classification des coûts

La difficulté se pose, pour un petit projet, de répartir les différents coûts selon des critères homogènes. Une classification simple pourrait reprendre les catégories suivantes :

- le coût d'amortissement des équipements partageables (entre plusieurs projets) ;
- le coût d'acquisition des équipements directement imputable au développement du projet (machines de CAO, instruments de mesure, etc., spécifiquement utilisés pour le projet) ;
- les coûts de main-d'oeuvre directe, à savoir les personnels directement affectés à la conception et à la réalisation des différents sous-systèmes constitutifs du produit

¹ Voir également le chapitre 6.

² Voir Jean Cavaillès et al., Méthodes de management de programme, 2^{ème} édition, Teknéa, Toulouse, 1995, p. 265.

³ Le coût prévisionnel constitue, pour les gestionnaires du projet, un instrument d'analyse et de contrôle des écarts susceptibles d'intervenir au cours du projet. Nombre de changements peuvent affecter son déroulement : évolution du besoin, difficultés de conception imprévues, défaillance d'un fournisseur... Cette question est traitée chapitre 19.

(ouvriers, techniciens, ingénieurs) ; ces coûts sont calculés en multipliant la durée des tâches par le taux horaire qui convient ;

- les *coûts de management du projet* qui incluent, dans notre méthodologie, les coûts des tâches du chef de projet ;
- les *coûts de main-d'oeuvre indirecte*, imputables aux travaux de maintenance des équipements, des tâches du personnel de gestion ou de magasins... ;
- les *coûts de contrat* : on regroupe dans cette catégorie les coûts des tâches à réaliser dans le cadre de contrats régissant l'intervention de différents acteurs externes ;
- le *coût des composants et pièces* nécessaires à la construction du prototype : sont pris en compte les coûts des éléments constitutifs du système (composants, pièces) tels qu'ils peuvent être répartis dans l'arborescence du produit ;

Par ailleurs, le découpage des coûts est effectué sur la base des lots de travaux de l'organigramme technique. Les critères de découpage sont les différentes rubriques de l'OTP (voir chapitre 9).

2 L'estimation des coûts

2.1 Principe et buts de l'estimation

L'objectif de l'estimation est de fournir des hypothèses de **coût prévisionnel** du projet sur la base de trois sortes d'éléments :

- les performances techniques à atteindre ;
- la planification du projet (ressources et tâches) ;
- les informations sur les coûts disponibles en interne et en externe, susceptibles d'être structurées et consultées dans une banque de données ; l'estimation répond à deux exigences : elle permet de justifier la décision de poursuivre ou non la réalisation du projet et constitue un outil de contrôle des coûts du projet.

Selon la norme AFNOR X50-105, le terme estimation désigne à la fois :

- une *fonction* (celle de l'estimateur) : *l'objectif de la fonction [estimation] est de fournir rapidement, à partir de la définition technique succincte d'un Programme ou d'un Projet et d'éléments statistiques dont elle dispose, le Coût prévisionnel d'une prestation ou d'un ensemble de prestations ;*
- une *opération*, qui consiste à donner la valeur la plus probable d'une tâche ;
- le *résultat* de l'opération d'estimation, susceptible de se décliner en classes selon le degré de précision.

Au sens général, une estimation est une approximation dont l'imprécision décroît à mesure que le projet est mieux défini.

Dans un ouvrage consacré à l'estimation des coûts industriels, l'AFITEP propose la variante suivante : « A la différence d'un devis, qui est la valorisation d'une étude définie, l'estimation consiste à donner la valeur totale d'un ouvrage plus ou moins complexe, dont l'étude reste à faire ; plus celle-ci est avancée, et plus l'estimation peut être précise, mais également, plus est elle est coûteuse en temps et en efforts »⁴.

⁴AFITEP, Estimation des coûts d'un projet industriel, AFNOR, Paris, 1995, p. 24.

2.2 Les classes d'estimation

L'AFITEP répartit la fonction estimation en quatre classes selon le degré de précision : l'ordre de grandeur, l'estimation préliminaire, l'estimation de base et l'estimation détaillée⁵.

La typologie suivante reprend, en l'adaptant aux dimensions d'un petit projet, la classification de l'AFITEP.

– L'ordre de grandeur

L'ordre de grandeur est une estimation rapide, d'une précision de $\pm 30\%$, obtenue par analogie (extrapolation), ou à l'aide de ratios globaux. Cette méthode repose sur l'analogie entre le projet actuel et un (ou plusieurs) projet(s) ancien(s) aux plans de la technique, du programme et des coûts. On connaît le besoin, la nature du produit, les fonctions.

– L'estimation préliminaire

Cette méthode, d'une précision de $\pm 20\%$, intervient en fin d'études de faisabilité. Aux informations précédentes, s'ajoutent les conclusions de faisabilité, le prix des équipements principaux. Elle s'appuie sur le découpage hiérarchisé du projet en lots de tâches et sur des éléments de planification. Elle permet de définir un premier cadre budgétaire pour le projet.

– L'estimation de base

Dans l'estimation de base (appelée encore estimation semi-détaillée), les coûts sont analysés par poste avec une précision de $\pm 10\%$ et les risques sont évalués. Elle est à la base du budget initial. La décision d'investir est prise à ce niveau dans le cadre d'un budget d'objectif⁶.

– L'estimation détaillée

D'une précision de $\pm 5\%$, l'estimation détaillée est à la base du budget initial du projet, à partir d'études techniques précises et achevées. Elle permet en outre d'évaluer avec précision une offre de prestation, telle qu'elle est proposée au client. Elle fait le point avec rigueur des risques encourus. Cette méthode est entièrement analytique, donc longue et coûteuse.

3 L'optimisation des coûts

L'optimisation des coûts est l'opération qui consiste à établir le meilleur compromis entre les performances, les coûts et les délais. Ce compromis résulte de multiples négociations entre les acteurs du projet impliqués dans une relation client/fournisseur et d'approches comparatives entre différentes solutions fonctionnelles ou techniques.

3.1 Optimisation des coûts sur la chaîne clients/fournisseurs

La démarche d'optimisation des coûts peut être analysée en 4 périodes de négociation⁷ :

– *le compromis besoin/fonctions* : l'acquéreur exprime des exigences en termes de performances, de délais et de coûts d'acquisition (et d'utilisation), le fournisseur formule une proposition au meilleur coût global ;

⁵ Vocabulaire de Gestion de projet, op. cit. p. 32.

⁶ AFITEP, Estimation des coûts d'un projet industriel, op. cit., p. 31..

⁷ D'après Jean Cavailès et al., Méthodes de management de programme, Teknea, Toulouse, 1995.

- le *compromis fonctions de service/concept de produit* : le concepteur recherche les solutions techniques conceptuelles les moins coûteuses pour la performance souhaitée ;
- le *compromis concepteur-réalisateur/fournisseurs* : il s'agit d'obtenir de la part des fournisseurs (prestataires externes, fournisseurs de matériels, pièces ou composants) les prix les plus compétitifs possibles ;
- le *compromis concept de produit/réalisation* : les réalisateurs s'efforcent d'optimiser les coûts de production (planification optimale des tâches et des ressources),

Cette démarche s'apparente à la méthode QFD (chapitre 3) au sens où les exigences du client sont répercutées sur l'ensemble du processus projet. Toutefois, d'un point strictement pratique, l'outillage de l'analyse fonctionnelle (chapitre 4) permet d'établir des bases explicites de comparaison entre différentes fonctions.

3.2 Optimisation des coûts à l'aide de la matrice coûts/fonctions

On se propose d'utiliser, pour l'étude d'optimisation, une méthode spécifique à l'analyse de la valeur : la **matrice coûts-fonctions**. Cet outil permet de répondre à la question suivante : comment chiffrer le coût des fonctions, sachant qu'il n'est pas toujours facile de leur faire correspondre un coût spécifique, autrement dit une pièce, un composant ou une tâche particulière ? C'est le cas, par exemple, des composants multifonctions comme le microcontrôleur en informatique industrielle, dont le coût doit être alors ventilé sur plusieurs fonctions de manière relativement arbitraire.

La *matrice coûts-fonctions* combine, sur le principe classique des axes X et Y, la liste exhaustive des fonctions que doit satisfaire le produit et le coût des éléments qui participent à la réalisation de ces fonctions. On porte en ordonnée la liste des constituants (pièces, composants) du produit, et en abscisse, la liste des fonctions qui leur correspondent. Le coût de revient total par fonction est obtenu en sommant, suivant les colonnes verticales, les prix partiels des constituants intervenant dans sa réalisation. La somme des coûts par fonction permet d'obtenir le coût global du produit.

L'intérêt de la méthode repose sur la possibilité de moduler et de comparer les coûts des fonctions à partir de solutions techniques (solutions de procédés et/ou de composants), et peut être généralisée aux scénarios d'organisation et d'utilisation des ressources. On peut l'utiliser pour chaque classe d'estimation : la précision des résultats obtenus dépend elle-même de la précision des informations sur les coûts. Sont reproduites, dans les tableaux 1 et 2, deux applications de la méthode.

Le tableau 1 doit être lu ainsi : pour un système donné, on veut comparer, du point de vue des fonctions et du point de vue des coûts, *deux procédés concurrentiels* : un procédé 1 et un procédé 2.

		Fonct. 1	Fonct. 2	Fonct. 3	Fonct. 4	Fonct. 5	Fonct. 6	Total
	S/syst.A	Coût A1	Coût A2		Coût A3			
Procédé 1	S/syst.B		Coût B1			Coût B3	Coût B4	
	S/syst.C			Coût C1	Coût C2			
Coût des fonctions								
Procédé 2	S/syst.1	Coût A1		Coût A1	Coût A1		Coût A1	
	S/syst.2		Coût B1	Coût B1	Coût B1	Coût B1		
Coût des fonctions								

Tableau 1 – Estimation comparée en ordre de grandeur des coûts de procédés différents

Le procédé 1 met en jeu trois sous-systèmes intégrés, tandis que le procédé 2 utilise deux sous-systèmes. Chaque sous-système réalise différentes fonctions spécifiques dont on veut analyser le coût. Au point XY, on porte les coûts imputables aux sous-systèmes. On obtient, pour l'axe des abscisses, le coût des différents sous-systèmes constitutifs des

procédés que l'on veut comparer, et sur l'axe des ordonnées, le coût des différentes fonctions. La méthode est adaptée à une estimation du type *ordre de grandeur*. L'estimation peut être affinée en calculant le coût des fonctions à partir du prix des constituants et du coût estimé des charges de travail. Cette opération est appliquée à chacun des sous-systèmes et intervient donc dans l'évaluation comparée du coût de chacun des procédés (tableau 2).

Procédé 1	Fonct. 1	Fonct. 2	Fonct. 3	Fonct. 4	Fonct. 5	Fonct. 6	Total
Pièces							
Pa	Coût Pa1	Coût Pa2			Coût Pa3		
Pb		Coût Pb1	Coût Pb2	Coût Pb3			
S/syst.A	Pc				Coût Pc1	Coût Pc2	
Charge							
Ca	Coût Ca1	Coût Ca2					
Cb		Coût Cb					
Cc			Coût Cc1	Coût Cc2	Coût Cc3	Coût Cc3	

Tableau 2 – Estimation détaillée des fonctions à partir du prix des constituants

4 L'information sur les coûts

L'estimateur doit disposer d'informations fiables et récentes sur les coûts. Les sources principales d'informations sont les suivantes :

- la documentation comptable (commandes passées, factures),
- les rapports de projets anciens, sources d'informations historiques,
- les coûts internes de l'entreprise (taux horaires, frais généraux...),
- les catalogues et les devis de fournisseurs,
- les revues spécialisées (l'Usine Nouvelle, par exemple).

Les responsables des coûts peuvent utiliser avec profit les ressources de banques de données spécialisées⁸.

5 Exemples d'application

5.1 L'automate programmable⁹

L'application suivante porte sur deux petits projets de recherche et de développement réalisés dans un laboratoire de recherche technologique.

L'INSERM¹⁰ propose à un laboratoire d'automatique d'automatiser un protocole d'expérimentation en Neurobiologie. Le but de l'expérimentation est de déshydrater et de colorer des coupes histologiques en vue d'une analyse microscopique. Le protocole existant est manuel : un opérateur plonge la préparation histologique dans des bains à taux progressifs d'alcool. Le besoin est d'éviter les risques liés à la manipulation. L'équipe de projet réalise une estimation du coût de la solution proposée : un système constitué d'un plateau tournant supportant 12 bacs en verre et d'un bras manipulateur. Les bacs contiennent des solutions d'alcool ou de solution pour la coloration, dans lesquels sont trempées, à l'aide d'un panier portant une lamelle, les coupes cellulaires à étudier.

⁸Certains logiciels permettent de constituer, à peu de frais, des banques de données de coûts (Access sous Window, par exemple).

⁹Exemple cité aux chapitres 7 et 14.

¹⁰Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale.

Chaque responsable de lot de travaux réalise une estimation de base des tâches dont il s'occupe au moyen de la matrice coûts/fonctions. Sont pris en compte :

- Les fonctions du sous-système (portés en abscisses).
- Les ensembles constitutifs du sous-système réalisant les fonctions. Dans cet exemple, les coûts sont ventilés selon leur contribution à la réalisation des différentes fonctions. Pour le bâti et le système bielle/manivelle, la somme de 30€ correspond à une estimation de coût de matière (PVC).
- Les principales tâches prévues pour la conception et la réalisation du système (portés en ordonnées).

Cette tâche d'estimation est réalisée par les responsables de lots de travaux sous la direction du chef de projet sur la base d'informations issues de catalogues de fournisseurs, de l'offre de prix proposée par un sous-traitant (une PME de mécanique) chargé de la conception-réalisation mécanique, d'un taux horaire de 45€/h pour l'ingénierie. Le tableau 3 présente le résultat de cette étude au terme d'une recherche d'optimisation à partir de l'analyse comparée de plusieurs solutions.

Ensemb. et tâches	Fonctions							Coûts des lots
	Program- mer	Afficher valeurs	Supporter bacs	Supporter bras	Entrainer plateau	Actionner bras	Contenir solut.	
Sous-système électronique								
Concept. Eln.	15h x 45	15h x 45			5h x 45	5h x 45		1800€
Program- mation	20h x 45	20h x 45						1800€
Unité centrale	45€	45€			45€	45€		180€
Afficheur		25€						25€
Clavier	15€							15€
Sous-système mécanique								
Concept. méca				115€	150€	270€		535€
Micro- moteur					92€ x 2			184€
Bielle						30€		30€
Bâti				30€				30€
Plateau tournant			90€					90€
Bac verre							15€x12	180€
Intégrat.				6h x 45	2h x 45	2h x 45€		450€
Coût des fonctions	1635€	1645€	90€	415€	694€	660€	180€	5319€

Tableau 3 – Matrice coûts-fonctions de l'automate programmable.

5.2 La chambre de périfusion programmable¹¹

La chambre de périfusion programmable a pour fonction principale la programmation de la régulation automatique de milieux de culture cellulaire et de leur chauffage à 37°C. Il permet de fiabiliser les expérimentations en Neurobiologie. Les essais d'un premier prototype ont révélé de nouveaux besoins. L'équipe de projet, à nouveau sollicitée, est chargée de proposer une estimation des coûts d'une version 2.

– Une estimation en ordre de grandeur :

Les dépenses globales pour la chambre 1 se sont élevées à 14 900€. Pour la chambre 2, les concepteurs décident d'apporter des modifications de procédés substantielles (dans la conception du procédé d'étanchéité des boîtes contenant les cellules en culture, notamment). Les coûts d'ingénierie internes en seront sensiblement augmentés. On estime que la productivité, jugée moyenne pour la version 1, sera améliorée pour la version 2. La méthode de calcul présentée s'inspire de Richard E. Westney¹².

- Etendue du travail : estimée à 20% supérieure (travaux internes et sous-traités)
- Productivité : améliorée pour les raisons suivantes
 - maîtrise des technologies : 5% d'amélioration
 - concepteurs plus performants : 7% d'amélioration
 - machines plus performantes : 3% d'amélioration
- Complexité : facteur de complexité : 1,2
- Appros : estimés à 10% supérieurs
- Coût du travail pour la chambre 2 :

$$13\,200\text{€} \times 1,20 \times 0,95 \times 0,93 \times 0,97 \times 1,2 = 16\,290\text{€}$$
- Coût des approvisionnements pour la chambre 2 :

$$1\,700\text{€} \times 1,1 = 1\,870\text{€}$$
- Estimation « ordre de grandeur » pour la chambre 2 $\approx 18\,160\text{€}$

– Une estimation détaillée : l'exemple du Mididanse¹³

Le tableau 4 donne un exemple d'estimation détaillée pour le Mididanse (ne sont retenus dans cet exemple que les lots de travaux électroniques et les fournitures associées). L'estimation du temps passé pour chaque tâche correspond à un temps moyen de conception des sous-systèmes. Les prix des composants sont issus de catalogues de fournisseurs. Le document ainsi réalisé permet de préparer le *budget initial du projet* (voir plus bas chapitre 6) et d'établir une offre de prestation à soumettre au client.

Ce rapport a été formalisé par le chef de projet, R. Dularge, à partir des indications fournies par le responsable du lot de travaux électroniques, J. Dulac, lui-même renseigné par sa base opérationnelle, P. Duroi, L. Duroc, M. Dupon (voir l'OTP du Mididanse, chapitre 9), en l'occurrence trois élèves ingénieurs stagiaires du laboratoire de recherche et de développement.

¹¹Exemple cité aux chapitres 2 et 14.

¹²Op. cit., p. 105.

¹³Exemple cité aux chapitres 3 et 9.

Rapport d'estimation du projet Mididanse			
Concepteur-réalisateur : Labo G.P.E.I.I.		Lieu : I.U.T. GE&I Talence	
Client : Edgar Micoleau		Date de création : 01/10/03	
Responsable LT : J. Dulac.		Révision :	
Lot de travaux 1 : Détection H.F.			
ACTIVITES DE DEVELOPPEMENT	TRAVAIL	FOURNITURES	PRIX H.T.
- Conception A.O	56h	(pour un bloc émetteur)	
- Routage	24h	- 6 capteurs de force (6 x 4€)	24€
- Câblage	40h	- 1 décodeur	8€
- Mise au point	8h	- 1 bloc émetteur H.F.	30€
- Programme	24h	- 1 bloc récepteur H.F.	30€
		- 1 boîtier	15€
	152h		
- Coût (x 45€/h)	6 840€	- Deux blocs émetteurs	214€
Total lot 1			7 054€
Lot de travaux 2 : Détection infrarouge.			
- Conception A.O	40h	- 1 bloc de commande	15€
- Routage	16h	- 14 émetteurs (14 x 12€)	168€
- Câblage	12h	- 7 boîtiers de câblage (7 x 12€)	84€
- Alimentation	24h	- 14 récepteurs (14 x 15€)	210€
- Mise au point	8h		
			477€
	100h		
- Coût (x 45€/h)	4 500€		
Total lot 2			4 977€
Lot de travaux 3 : Carte mère.			
- Conception	56h	- 1 microcontrôleur	54€
- Routage	40h	- Circuit d'interface	15€
- Câblage	40h	- Boîtier	45€
- Mise au point	8h	- Alimentation	24€
	144h		138€
- Coût (x 45€/h)	6 480€		
Total lot 3			6 618€
Amortissement matériel	28j x 5€/j		140€
Coût de gestion du projet...	25h x 50€/h		1 250€
Total global			20 039€

Tableau 4 – Rapport d'estimation détaillée du Mididanse (études électroniques).

6 Le budget du projet

Selon Michel Joly *et al.*, le budget d'un projet est « le montant des sommes mises à la disposition de l'équipe de projet pour le réaliser conformément aux exigences du cahier des charges, suivant la qualité et le délai définis »¹⁴. L'équipe de projet va s'efforcer de maintenir l'ensemble des dépenses du projet (son coût final) dans les limites fixées par

¹⁴ Michel Joly, Jean Le Bissonnais, Jean-Louis G. Muller, Maîtrisez le coût de vos projets, AFNOR, 1993, p.53.

« l'enveloppe globale du budget ». Cette notion se ramène à trois caractéristiques essentielles :

- au plan général, il doit être en priorité justifié par une ressource ;
- il est l'expression financière du programme d'action et des objectifs du projet et à ce titre il équivaut à un instrument de suivi des dépenses du projet ;
- il constitue l'un des cadres contractuels essentiel dans le management du projet.

6.1 Le budget initial

Le maître d'ouvrage (ou, si l'on veut le client) a, au départ du projet et compte tenu de son besoin, une idée plus ou moins précise des dépenses qu'il compte engager. Par exemple, une famille qui désire se faire construire une maison fait différentes estimations à des fins de comparaison. Elle consulte des fournisseurs, des constructeurs, des amis, des catalogues, et au final détermine une première hypothèse budgétaire. Mais les propositions du maître d'œuvre choisi (le constructeur) sont rarement conformes à l'estimation initiale. L'élaboration d'un premier budget de projet suppose donc une réestimation plus rigoureuse des dépenses prévues, au terme, si nécessaire, d'une négociation serrée.

Ce premier budget est appelé **budget initial**.

Pour son élaboration, Michel Joly, Jean Le Bissonais et Jean-Louis G. Muller préconisent la démarche suivante¹⁵ :

- réestimation précise des tâches du projet sur la base de l'organigramme des tâches¹⁶ ;
- approbation de ce budget par le chef de projet.

Résultat formalisé de l'estimation, on le considère comme l'instrument de contrôle des coûts dans les opérations de coùtenance dont la mission est « de suivre la vie et l'évolution prévisionnelle de chaque élément des Lignes budgétaires... »¹⁷. Il comprend les engagements de dépenses du projet et les recettes correspondantes.

6.2 La structure du budget initial

On a vu au chapitre 9 comment structurer l'organigramme technique. On a pu, grâce à cet outil, décomposer le projet en lots de travaux constitués de trois sous-ensembles ou unités génériques de tâches homogènes : l'unité technique, l'unité de gestion et l'unité d'intégration.

Chaque responsable de LT chiffre le coût prévisionnel des trois groupes de tâches. Il en communique le montant au chef de projet.

A noter : ce montant est exprimé en coûts secs, le chef de projet se réservant le droit de globaliser et de pondérer le montant de la provision pour risques, par « nature » surestimés par les responsables de LT (voir plus bas le § sur les aléas). A partir de ces données, le chef de projet établit une synthèse budgétaire en intégrant une provision globale pour risques : c'est le **budget initial**.

– Les charges et les marges

Le budget initial intègre par ailleurs une provision pour le financement de diverses charges (charges financières, fiscales, commerciales), ainsi qu'une provision non

¹⁵ Maîtrisez le coût de vos projets, op. cit. p. 54.

¹⁶ Cette opération intervient entre le responsable des coûts (le « coùteneur ») et l'estimateur.

¹⁷ AFITEP, Vocabulaire de Gestion de projet, op. cit. p. 34.

directement liée au projet mais prévue au bénéfice de l'entreprise qui l'abrite : ce « sont les marges. Elles financent les frais généraux et le profit de l'entreprise »¹⁸.

– Les lignes budgétaires

La **ligne budgétaire** (LB) est l'instrument de contrôle qui permet d'assurer le suivi des coûts d'un lot de travail de l'organigramme technique. Michel Joly, Jean Le Bissonais, Jean-Louis G. Muller la désignent comme l'« *unité de suivi des coûts* »¹⁹.

Sa gestion est confiée au responsable du lot de travaux. Ce dernier assure le suivi de sa ligne budgétaire conformément aux spécifications de son lot de travaux. Il enregistre les modifications en accord avec les différents partenaires responsables (chef de projet, direction de projet). Les montants portés aux lignes budgétaires doivent correspondre à des **coûts secs**, au sens où ils sont l'expression de l'estimation : les marges de sécurité font l'objet d'une provision globale (voir le tableau 5 pour le projet Mididanse, lot de travaux Systèmes de détection, Intégration électronique, Supports des émetteurs et des récepteurs).

Budget du projet Mididanse (budget initial).						
Concepteur-réalisateur : Labo G.P.E.I.I.			Lieu : I.U.T. GE&II Talence			
Client : Edgar Micoleau			Date de création : 01/10/03			
Chef de projet : R. Dularge			Responsables LT : J. Dulac, F. Bielle.			
Code	Ligne budgétaire	Nb d'heures	Achats	Frais	Budget	
OTP		Coût/h : 45€	fournitures	déplac.	initial	Total
3000	ETUDES ELECTRONIQUES					
3010	Gestion de projet				1250€	
3020	Amortissement du matériel				140€	
3100	Développement procédé HF	152h	214€		7054€	
3200	Développement procédé IR	100h	477€		4977€	
3300	Développement carte mère	144h	138€		6618€	
						20039€
4000	INTEGRATION ELECTRONIQUE					
4100	Assemblage	10h			450€	
4200	Contrôle, essais	8h		540€	900€	
						1350€
5000	ETUDES MECANQUES					
5100	Concept./réalisation supp.	12h	60€		600€	
5200	Concept./réalisation boîtiers	5h	40€		265€	
						865€
6000	INTEGRATION MECANIQUE					
6100	Assemblage	4h			180€	
6200	Contrôle, essais	2h			90€	
						270€
PROVISION POUR ALEAS					4500€	
PROVISION POUR FRAIS GENERAUX					750€	
						5250€
TOTAL						27774€

Tableau 5 – Lignes budgétaires du projet Mididanse (budget initial).

¹⁸ Maîtrisez le coût de vos projets, op. cit., p. 54.

¹⁹ Voir Michel Joly et al., op. cit., p. 61.

– Les aléas techniques

On sait par expérience qu'il est impossible de réaliser une prévision précise et exhaustive de l'ensemble des tâches qui composent un projet. Des contraintes techniques peuvent surgir, des tâches peuvent consommer plus de ressources que prévu, des fournisseurs n'indiquent pas toujours le montant précis de leur offre au moment de l'estimation, et bien entendu des pannes techniques sur les équipements perturbent le cours du projet. Par conséquent, à côté des lignes budgétaires spécifiées et établies avec la plus grande précision possible, on prévoit, dans le budget initial, une ligne budgétaire dédiée aux **aléas techniques**. Il s'agit d'une notion statistique qui doit faire l'objet, dans le budget initial, d'une provision globale, et non pas d'une majoration spécifique appliquée à chaque ligne budgétaire²⁰, le risque étant, entre autre, d'inciter les responsables de lignes budgétaires à des estimations pessimistes, donc de présenter un budget injustifié.

On dit que les coûts prévisionnels exprimés dans le budget initial sont des « *coûts secs* » : précisément des coûts qui sont le reflet le plus fidèle de ce que valent les prestations. « *Appliquer à chaque LB une majoration correspondant à son risque de dépassement individuel revient pratiquement à intégrer dans le budget l'hypothèse que tous les risques possibles se concrétisent, ce qui est évidemment trop pessimiste et conduit à des budgets inacceptables. D'où la règle d'adopter des valeurs médianes (coûts secs) et d'estimer les aléas par grands sous-ensembles* »²¹

6.3 Le budget à date

Les hypothèses du budget initial font, c'est inéluctable, l'objet de modifications. On aboutit alors à un *budget second*, expression des modifications survenues dans le déroulement du projet. On parle alors de **budget à date**. Quelles sortes de modifications sont susceptibles de justifier le budget à date ? Une typologie simple, établie à partir de critères de conséquence, fait apparaître trois cas (d'après Michel Joly, Jean Le Bissonais, Jean-Louis G. Muller²²) :

– **modification interne au lot de travaux** : cette modification concerne des aléas mineurs intervenant au sein d'un lot de travaux.

Par exemple, dans le projet Mididanse, le développement de la carte mère s'est avéré plus long que prévu. Ce retard n'a pas d'incidence notable sur le coût global du projet. Le responsable du LT, en l'occurrence J. Dulac (voir tableau 5) est parvenu à « jongler » avec le budget des autres tâches de développement et à retomber sur ses pieds.

– **modification impliquant deux ou plusieurs lots de travaux** : cette modification concerne des aléas plus importants requérant l'arbitrage et l'accord du chef de projet.

Dans le projet Mididanse, la modification des supports d'émetteurs a entraîné l'étude de procédés électroniques plus sophistiqués, donc plus coûteux. Dans ce cas, la provision pour aléas devient la seule source de recette. Le chef de projet R. Dularge a arbitré cette nouvelle option entre J. Dulac et F. Bielle (le responsable du LT Conception des supports).

– **modification entraînant des surcoûts au niveau du projet** : les modifications de ce type ont des répercussions notables au plan de la gestion du projet dans son ensemble. De nouvelles recettes sont alors nécessaires, qui impliquent un accroissement du budget et des marges/charges correspondantes.

²⁰Id., p. 60.

²¹Id., p. 60.

²²Id., p. 63.

Dans le projet Mididanse, le choix d'une reconception globale du système en vue de nouvelles applications a eu des incidences majeures sur le coût global du projet. Le maître d'ouvrage (Edgar Micoleau) a dû solliciter une aide complémentaire de l'ANVAR en accord avec la direction du laboratoire de recherche et de développement.

Dès lors que les modifications sont acceptées par les différents responsables, en accord avec le chef de projet, il convient d'établir le budget à date. Ce budget devient le nouvel objectif de coût pour le projet. Le tableau 6 représente le budget à date du projet Mididanse. Ce budget intègre les modifications du second type (impliquant plusieurs lots de travaux). On note un accroissement des coûts de 2205€. Celui-ci a été intégralement absorbé par la provision pour aléas qui passe à 2295€. Le budget total du projet reste de ce fait inchangé.

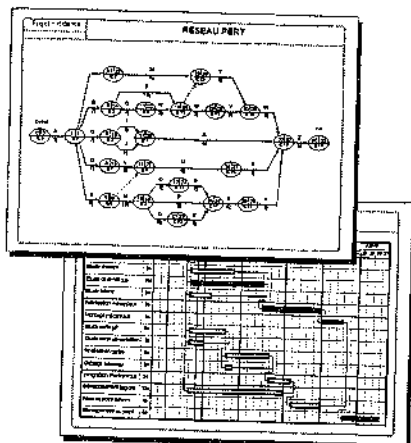
Budget du projet Mididanse (budget révisé du 02/02/04).						
Concepteur-réalisateur : Labo G.P.E.I.I.			Lieu : I.U.T. GE&I Talence			
Client : Edgar Micoleau			Date de création : 01/10/03			
Chef de projet : R. Dularge			Responsables LT : J. Dulac, F. Bielle.			

Code	Ligne budgétaire	Nb d'heures	Achats	Frais	Budget	
OTP		Coût/h : 45€	fournitures	déplac.	initial	Total
3000	ETUDES ELECTRONIQUES					
3010	Gestion de projet				1250€	
3020	Amortissement du matériel				140€	
3100	Développement procédé HF	170h	214€		7864€	
3200	Développement procédé IR	120h	477€		5877€	
3300	Développement carte mère	150h	138€		6888€	
						22019€
4000	INTEGRATION ELECTRONIQUE					
4100	Assemblage	10h			450€	
4200	Contrôle, essais	8h		540€	900€	
						1350€
5000	ETUDES MECANIQUES					
5100	Concept./réalisation supp.	17h	60€		825€	
5200	Concept./réalisation boîtiers	5h	40€		265€	
						1090€
6000	INTEGRATION MECANIQUE					
6100	Assemblage	4h			180€	
6200	Contrôle, essais	2h			90€	
						270€
	PROVISION POUR ALEAS				2295€	
	PROVISION POUR FRAIS GENERAUX				750€	
						3045€
TOTAL						27774€

Tableau 6 – Lignes budgétaires du projet Mididanse (budget à date).

Chapitre 11

Planifier le projet



La planification constitue l'une des dernières phases avant le lancement. Elle doit conduire l'élaboration d'un plan d'action intégrant la majorité des contraintes connues, susceptibles d'influencer le déroulement du projet. Ceci suppose la réalisation chronologique des actions suivantes :

- découper les lots de travaux en activités ;
- identifier les contraintes ;
- modéliser l'enchaînement des activités ;
- évaluer les durées ;
- établir la planification ;
- déterminer les latitudes d'action ;
- optimiser la planification.

L'opération de planification s'effectue à chaque niveau de décomposition du projet. Elle est réalisée par les responsables de lot de travaux au niveau de visibilité (programme, projet, sous-système, ensemble, sous-ensemble, élément, composant) dont chacun d'eux a besoin pour effectuer un suivi efficace.

1 Découpage en activités élémentaires

Il s'agit ici d'aboutir au découpage de chaque lot de travaux en activités planifiables et contrôlables. Celles-ci peuvent être :

- **des lots de travaux de niveau inférieur**, relatifs à la réalisation de sous ensembles définis par l'OTP, et dont le niveau de visibilité du point de vue gestion se limite aux relations contractuelles avec le fournisseur.
- **des activités de logistique et de gestion**, (approvisionnement, suivi, transport, contrôle qualité, ...) associées à la réalisation du lot de travaux lui même ;
- **des activités techniques**, (conception, fabrication, mise au point, ...) placées sous la responsabilité directe du gestionnaire et ayant trait à la réalisation du produit livrable.

Le découpage en activités peut être réalisé selon plusieurs points de vue et il convient de rechercher la meilleure répartition possible en tenant compte à la fois des contraintes de chronologie et de la répartition des compétences.

Ainsi, pour la construction d'un hôpital, on peut choisir selon les priorités de réalisation et l'organisation du chantier une approche :

- géographique (bâtiment nord, bâtiment est, entrée principale, ...), en vue d'une réalisation par tranches ou par des maîtres d'oeuvre différents ;
- fonctionnelle (maternité, traumatologie, urologie, ...) pour obtenir une meilleure cohérence fonctionnelle et favoriser l'implication des utilisateurs ;
- opérationnelle (consultations externes, accueil, restauration, hébergement, ...), pour tenter d'optimiser le fonctionnement ;
- métier (terrassement, gros oeuvre, électricité, peinture, ...), pour mieux maîtriser les activités des entreprises sous-traitantes.

On peut penser que ces différentes logiques de décompositions, poussées jusqu'à leur ultime limite, convergent vers un même résultat final : l'identification de toutes les tâches élémentaires contribuant à la réalisation du projet. Toutefois elles conduisent à des organisations différentes, en ce qui concerne l'implication des acteurs, la répartition des responsabilités et l'exercice du contrôle.

Comme le montre la figure 1, le découpage d'un lot de travaux en activités élémentaires (au niveau considéré) résulte du croisement de deux approches complémentaires :

- **une décomposition en sous ensembles**, décrite précédemment (bâtiment nord, maternité, accueil, installation électrique, ...) ;
- **une décomposition selon le processus de réalisation**, (étude, prospection, fabrication, mise au point, ...).

Ainsi, et pour reprendre l'exemple précédent parlera-t-on : de l'étude de l'installation électrique, de la construction du bâtiment nord ou de la mise en service de la restauration. Selon les compétences requises il est alors possible de confier chaque phase de la réalisation de chacun des sous-ensembles à un sous-traitant ou à une entité identifiée (hiérarchique ou fonctionnelle) de l'organisation (figure 1).

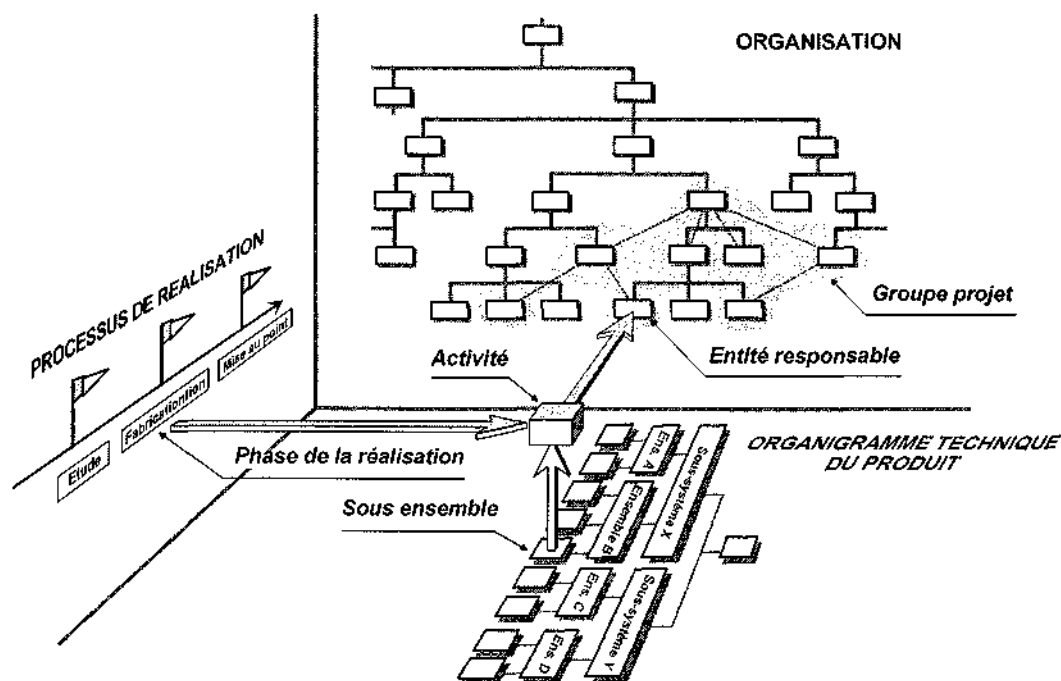


Figure 1 – Relation organigramme technique, processus de réalisation, entité réalisatrice

Remarquons que dans ce paragraphe, on présente la **tâche** comme l'élément unitaire d'un ensemble plus large appelé **activité**. Par exemple, la réfection des peintures dans un appartement est une activité. Peindre les plafonds est une tâche. Ceci est vrai pour un grand projet, où on organise le travail en groupes d'activités, elles-mêmes divisées en activités de rang inférieur puis en tâches. Mais, dans un petit projet, il est plus commode de parler directement de tâches. Les deux termes sont donc utilisés indifféremment dans cet ouvrage selon les domaines et les méthodes concernées.

2 Identification des contraintes

L'objectif de cette étape est d'identifier les **contraintes** susceptibles d'influencer la réalisation des activités. Parmi celles-ci on peut citer :

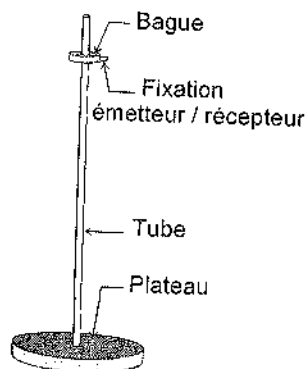
- les contraintes calendaires (livraison de matériel, fourniture d'un sous-ensemble, date d'une prise de décision, échéancier de mise à disposition de crédits, ...);
- les contraintes de délais (atteinte du temps de séchage d'une chape en béton, ...);
- les contraintes de disponibilité des intervenants et des moyens (congrès, formation préalable du personnel, maintenances d'équipements, autre affectation, ...);
- les contraintes budgétaires (budget limité, plan pluriannuel, ...);
- les contraintes d'enchaînement des activités, appelées **relations d'ordre**.

Concernant ces dernières, quatre cas peuvent se présenter :

- les relations début / début (deux activités doivent commencer en même temps);
- les relations fin / fin (deux activités doivent se terminer en même temps);
- les relations début / fin (une activité doit se terminer juste au début de la suivante);
- les relations fin / début (il faut attendre que toutes les activités précédentes soient terminées pour enchaîner la ou les suivantes).

Les relations d'ordre de type fin / début, également appelées **contraintes d'antériorité**, sont de loin les plus courantes. Pour les identifier, il suffit de déterminer quelles activités doivent impérativement se terminer pour autoriser le lancement de la suivante. Ces relations cause effet peuvent être répertoriées dans un tableau.

Pour illustrer cette démarche, prenons l'exemple de la réalisation d'un support, (figure 2) constituant un des éléments du projet Mididanse développé au paragraphe 6. Les activités (ou tâches) à effectuer ainsi que leurs contraintes d'antériorité sont définies dans le tableau 1.



Activités	Code	Activités antérieures
Concevoir le support	E	Début
Approvisionner matière	N	E
Découper les tubes	O	N
Usiner les bagues	P	N
Sous-traiter la découpe des plateaux	Q	N
Usiner les tubes	R	O
Usiner les plateaux	S	Q
Anodiser	T	R,P,S
Assembler	Y	T

Tableau 1 – Tableau des antériorités

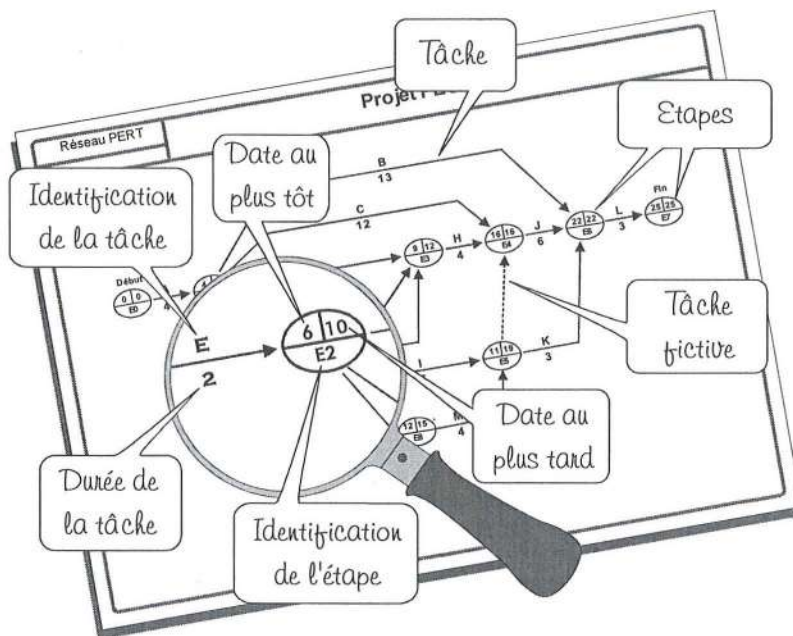
Figure 2 – Support pour émetteur / récepteur infrarouge

3 Modélisation de l'enchaînement des activités

3.1 La méthode PERT

À la fin des années cinquante, la marine américaine conçoit une nouvelle technique d'ordonnancement qui devait conduire à des gains de temps importants dans la réalisation de ses missiles à ogive nucléaire Polaris : c'est la technique PERT (Programm Evaluation and Review Technique). Cette technique a permis de coordonner les travaux de près de 6000 constructeurs dans les délais imposés par le gouvernement américain. Le PERT (technique d'ordonnancement et de contrôle des programmes) est « une méthode consistant à mettre en ordre sous forme de réseau plusieurs tâches qui grâce à leur dépendance et à leur chronologie concourent toutes à l'obtention d'un produit fini »¹. La méthode utilise trois concepts de base :

- **la tâche** (activité) : figurée par une flèche dont la longueur n'a pas de signification temporelle, la tâche est identifiée par un code et se caractérise par sa durée.
- **les étapes** : elles marquent le début et la fin d'une tâche. L'étape de fin est en même temps l'étape de début des tâches suivantes. L'étape n'a pas de durée. Selon les conventions adoptées, elle peut être représentée par un carré, un rectangle ou plus couramment un cercle ou un ovale.
- **les tâches fictives** : représentées par une flèche en pointillés, elles servent à matérialiser des contraintes d'enchaînement.



Tâches	Tâches antérieures	Graphes partiels
E	-	
N	E	
O P Q	N	
R	O	
S	Q	
T	R, P, S	
Y	T	

Tableau 2 – Etapes de construction du graphe

Il est alors possible, par emboîtement progressif des graphes partiels ainsi obtenus, de tracer le réseau complet (figure 4).

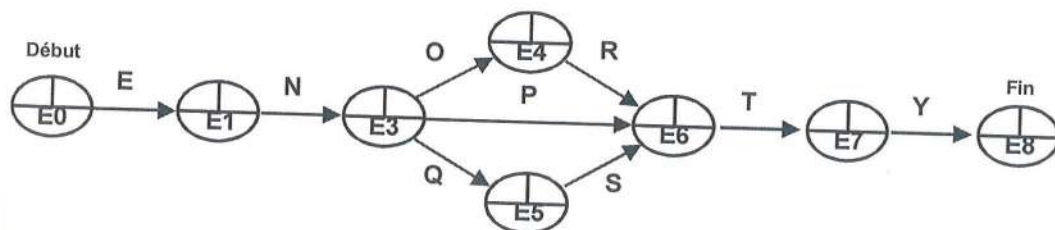


Figure 4 – Graphe PERT du lot de travaux « conception et réalisation des supports ».

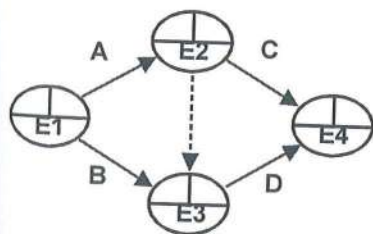


Figure 5 – Utilisation des tâches fictives

La méthode PERT peut poser parfois des problèmes de représentation. A titre d'exemple, prenons le cas suivant, couramment rencontré :

A précède C et D; B précède D (mais ne précède pas C). Cette configuration ne peut pas être modélisée en utilisant uniquement des étapes et des tâches. Pour pallier cette impossibilité, on a donc introduit la notion de tâches fictives. Celles-ci, représentées en principe par des flèches en pointillés ont une durée nulle. Elles ne servent qu'à matérialiser des contraintes d'antériorité.

3.2 La méthode des potentiels

La méthode des potentiels a été mise au point en France en 1958 par Bernard ROY. Bien que très différente dans son principe, elle est souvent confondue à tort avec la méthode PERT.

La méthode s'appuie sur deux éléments de base :

- les **activités**, représentées par des rectangles ;
- les **relations d'ordre**, matérialisées par des flèches.

La figure 6 reprend avec le formalisme de cette méthode l'exemple des supports traité précédemment.

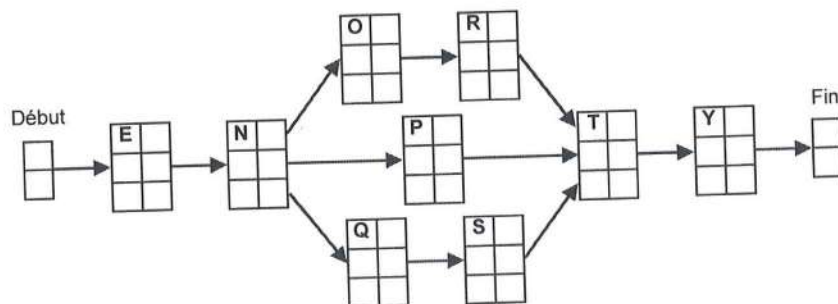


Figure 6 – Graphe des potentiels du lot de travaux « conception et réalisation des supports »

4 Evaluation des durées

L'évaluation des durées de chacune des tâches résulte de la recherche du meilleur compromis entre les temps et les coûts de réalisation (figure 7). En effet, une réduction des délais peut nécessiter des moyens plus importants conduisant à une augmentation rapide des coûts. A l'opposé, une augmentation exagérée du temps de réalisation peut entraîner une baisse de motivation et s'accompagnera d'une augmentation des coûts indirects qui sont généralement proportionnels à la durée.

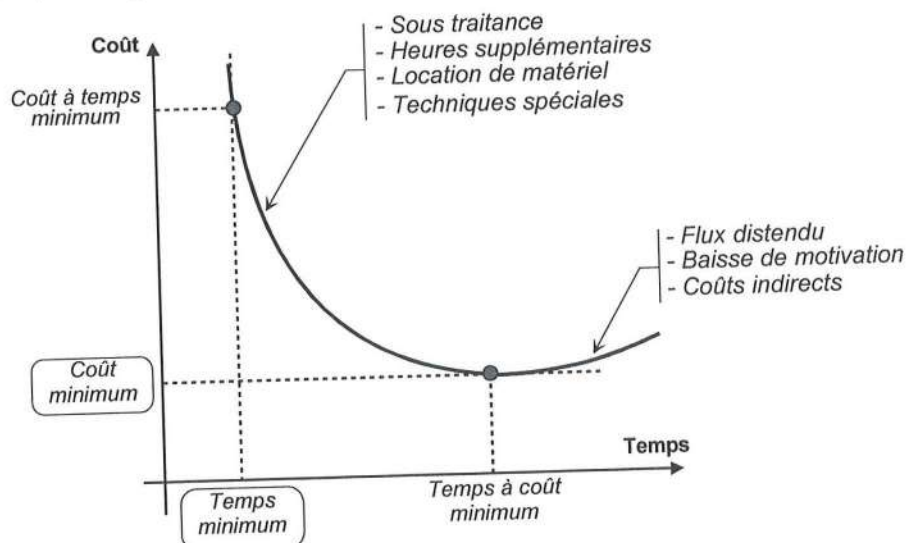


Figure 7 – Recherche du meilleur compromis coût / délais

Il appartient donc aux responsables de chaque lot de travaux, de déterminer en fonction du degré d'urgence, de la charge de travail et du nombre d'unités de ressources affectées (acteurs, matériel), la durée prévisionnelle des activités qu'il a en charge. Le tableau 3 donne l'évaluation effectuée pour la réalisation des supports.

activités	Code	Durée
Concevoir le support	E	5j
Approvisionner matière	N	10j
Découper les tubes	O	1j
Usiner les bagues	P	2j
Sous-traiter la découpe des plateaux	Q	5j
Usiner les tubes	R	1j
Usiner les plateaux	S	3j
Anodiser	T	5j
Assembler	Y	1j

Tableau 3 – Réalisation des supports : tableau des durées

5 Détermination des dates

Dans les méthodes de représentation en réseau, on entend par date le décalage par rapport au début du projet, pris comme origine des temps.

Pour pouvoir débiter, une tâche doit attendre que toutes les tâches dont elle dépend soient terminées (contrainte d'antériorité). Pour déterminer les **dates de début au plus tôt** de chacune des tâches, on effectue la somme des durées en partant du début (figure 8). En cas de branches convergentes (R, P, S), on choisit la date la plus tard.

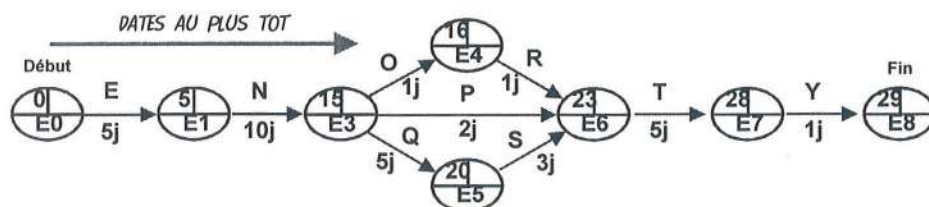


Figure 8 – Réalisation des supports : détermination des dates de début au plus tôt

Pour déterminer la latitude de délais dont dispose chacune des tâches, on est amené à calculer les **dates de fin au plus tard**. Celles-ci sont obtenues en partant de la fin du projet (figure 9), puis en soustrayant la durée de chacune des tâches. En cas de branches divergentes (O, P, Q), on choisit la date la plus tôt.

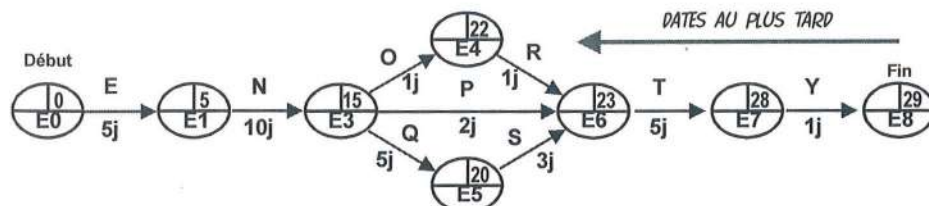


Figure 9 – Réalisation des supports : détermination des dates de fin au plus tard

La figure 14 montre le réseau PERT complet du projet Mididanse.

La méthode des potentiels permet de représenter les dates de début et de fin au plus tôt et au plus tard. Pour les déterminer, on applique les règles décrites précédemment (figure 10).

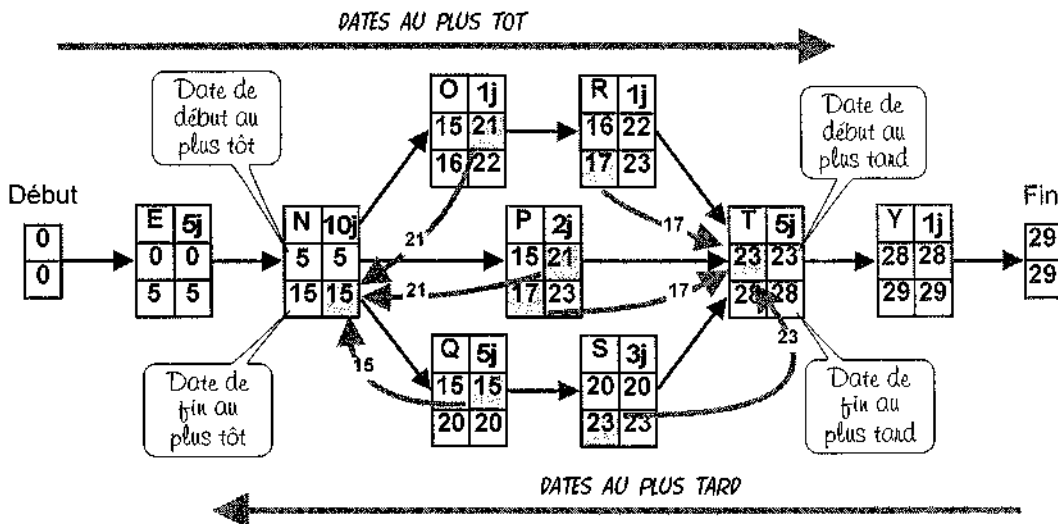


Figure 11 – Calcul des dates par la méthode des potentiels

6 Planification du projet : le diagramme de GANTT

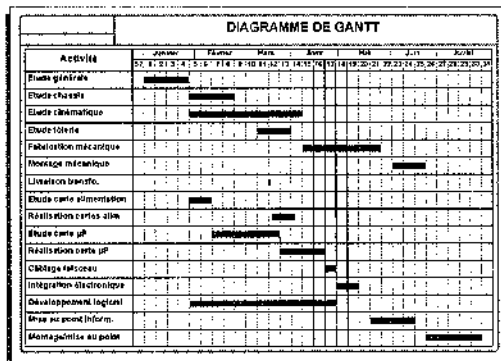


Figure 12 – Forme initiale du diagramme de GANTT

Parmi les méthodes de planification, le diagramme de GANTT est probablement la forme de représentation graphique qui vient la plus naturellement à l'esprit. La plupart des plannings muraux utilisés pour le contrôle de production, la gestion d'équipements ou l'affectation de personnel représente ainsi sous forme de barres la répartition temporelle de l'activité. Le principal avantage du GANTT est d'offrir une vision directe de la durée et des dates réelles de réalisation des tâches. Il est ainsi possible du premier coup d'oeil d'estimer la répartition de la charge, et par conséquent, de chercher à réduire les délais en optimisant l'utilisation des ressources.

Sous sa forme initiale (figure 12), le diagramme de GANTT présentait l'inconvénient majeur de ne pas matérialiser les contraintes d'antériorité. Il était de ce fait difficile d'évaluer l'incidence de la variation de durée d'une activité sur l'ensemble du projet. De plus, toute mise à jour des délais entraîne une modification du diagramme et la méthode s'avère de ce fait difficile à mettre en oeuvre manuellement. Pour ces raisons, elle était peu utilisée en phase de préparation et on la réservait au suivi d'activité.

L'évolution rapide des micro-ordinateurs et surtout l'extension de leurs capacités de représentation graphique a favorisé le développement de logiciels de gestion de projet. Ceux-ci supportent la méthode et enrichissent le diagramme d'une symbolologie multiple qui étend ses possibilités (figure 13). L'utilisation de couleurs améliore la lisibilité. La facilité de mise à jour offerte par l'informatique permet d'utiliser le GANTT dans toutes les

phases du projet, en faisant ainsi une méthode à part entière qui tend à supplanter les réseaux.

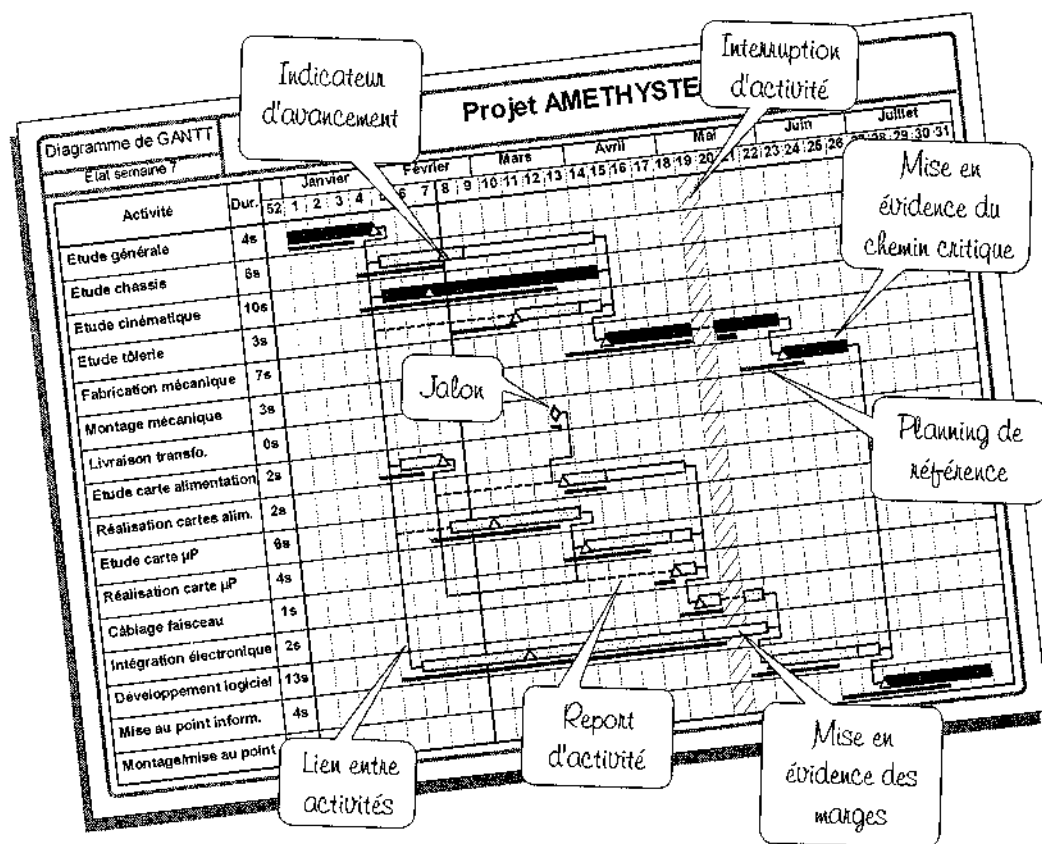


Figure 13 – Evolutions du diagramme de GANTT

6.1 Détermination des latitudes d'action.

Comme on peut le voir sur la figure 15, l'exécution simultanée de certaines activités associées aux contraintes d'enchaînement, déterminent dans la planification une certaine liberté dans les dates et les délais de réalisation.

Dans les limites des **marges** ainsi disponibles, on peut, sans risquer de retarder la fin du projet, soit allonger la durée d'une activité, soit la déplacer en reportant sa date de début. Cette latitude d'action peut être mise à profit à différents stades du cycle de vie du projet :

- en **phase de préparation**, en recherchant la meilleure répartition des ressources afin de diminuer les délais de réalisation ;
- en **phase de réalisation**, en déplaçant le potentiel disponible pour résorber d'éventuels retards.

Certaines activités ne disposent d'aucune liberté d'exécution (A, C, I, J de la figure 15). On dit alors qu'elles se trouvent sur le **chemin critique**. La somme de leurs durées détermine la durée totale du projet. On devra donc agir sur celles-ci en priorité si l'on souhaite réduire les délais de réalisation. On note que sur le chemin critique, les dates au plus tôt et au plus tard ont un écart nul. Ceci est le cas pour les activités A, E, N, Q, S, T, Y et Z de la figure 14.

D'une façon générale, on peut définir une marge comme la fourchette de temps dans laquelle on peut décaler la date de fin d'une activité sans que ceci ait un effet donné sur la planification. Selon les incidences sur le projet, on peut distinguer trois types :

6.2 Marges libres

Une **marge libre** est une fourchette de temps dans laquelle on peut décaler la date de fin d'une activité sans risquer de retarder la date de début au plus tôt des activités suivantes. La figure 15 représente ce type de marge pour l'ensemble des activités.

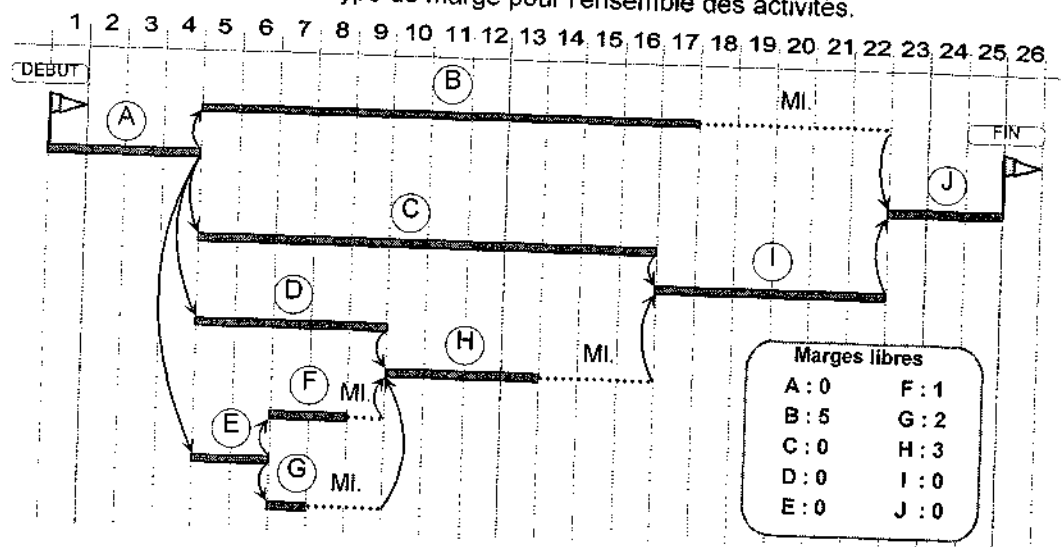


Figure 15 – Représentation des marges libres

6.3 Marges totales

Une **marge totale** est une fourchette de temps dans laquelle on peut décaler la date de fin d'une activité sans risquer de retarder la date de fin du projet. Pour la déterminer, il faut imaginer que toutes les activités suivantes s'exécutent au plus tard. C'est en effet l'ultime limite au-delà de laquelle la date de fin du projet risque de se trouver retardée. La figure 16 montre cette démarche pour les activités B, D et E.

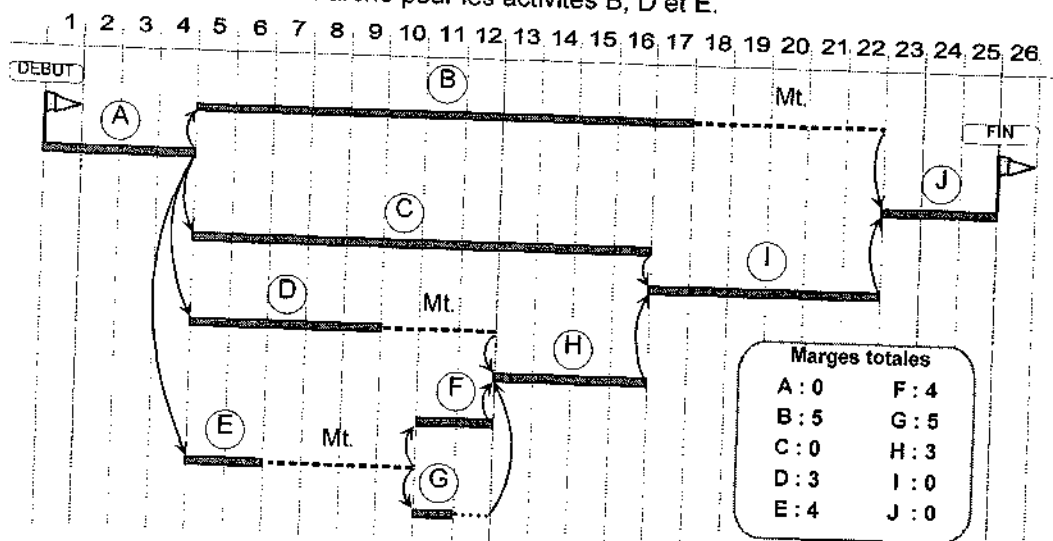


Figure 16 – Représentation des marges totales des activités B, D et E

6.4 Marges certaines

Contrairement aux marges libres qui peuvent se trouver consommées par des activités précédentes², les **marges certaines** sont incompressibles et ne peuvent être consommées que par l'activité elle-même. Sur la figure 17, seules les activités G (en parallèle avec F) et B (en parallèle avec C et I) possèdent ce type de marge.

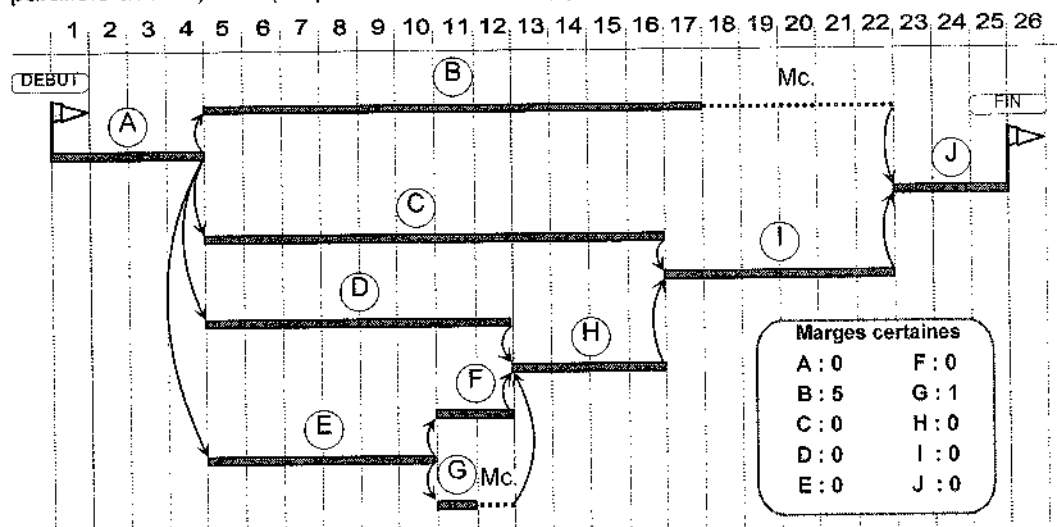


Figure 17 – Représentation des marges certaines

6.5 Calcul des marges

En ce qui concerne les méthodes en réseau (PERT et Potentiels). On peut calculer les marges libres et totales d'une activité n par les formules suivantes :

Marge libre de n = (date de début au plus tôt de $n+1$) – (date de fin au plus tôt de n)

Marge totale de n = (date de fin au plus tard de n) – (date de fin au plus tôt de n)

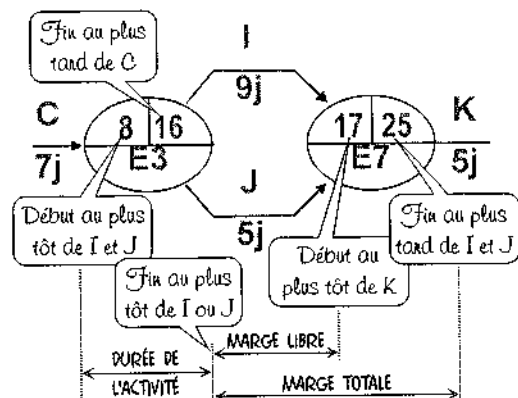


Figure 18 - Calcul des marges par la méthode PERT

La méthode des potentiels permet d'obtenir directement ces valeurs (figure 11). En revanche, la méthode PERT nécessite un calcul intermédiaire. Pour obtenir la date de fin au plus tôt qui ne figure pas sur le diagramme, il suffit d'ajouter la durée de l'activité concernée à la date de début au plus tôt.

Concernant l'exemple de la figure 18, les marges sont les suivantes :

$$Ml. \text{ de } I = 17 - (8+9) = 0j$$

$$Mt. \text{ de } I = 25 - (8+9) = 8j$$

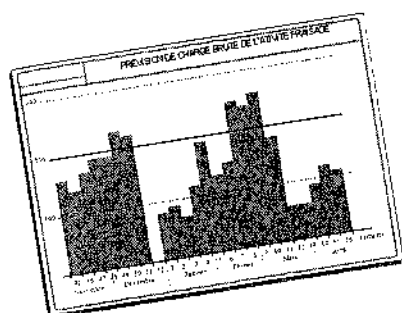
$$Ml. \text{ de } J = 17 - (8+5) = 4j$$

$$Mt. \text{ de } J = 25 - (8+5) = 12j$$

²Sur la figure 14, une augmentation de la durée de D peut consommer la marge de H. De même une augmentation de la durée de E peut consommer les marges de F et G puis de H.

Chapitre 12

Planifier l'emploi des ressources



Les projets innovants, si petits soient-ils, font appel à des techniques de plus en plus complexes. Ils requièrent de ce fait des compétences très spécifiques et mettent en oeuvre des matériels sophistiqués. Dans le même temps, la volonté de réduire les délais et de minimiser les coûts de développement, ceci tout en respectant le niveau de performance attendu, conduit à rechercher des méthodes pour tirer le meilleur parti des moyens mis à disposition. On sait que les ressources de l'entreprise, du laboratoire, de l'université ou de l'organisme de recherche, ne sont pas illimitées. Elles représentent souvent des investissements coûteux dont il faut optimiser l'utilisation. Ainsi on ne saurait effectuer la planification d'un projet sans se préoccuper de la disponibilité des moyens nécessaires à sa réalisation.

1 Contraintes d'utilisation des ressources

Les activités concurrentes pour l'utilisation de certaines compétences, l'affectation de matériels rares et chers, ou la mise à disposition temporaire d'équipements communs, se trouvent contraintes par des relations d'interdépendance qui peuvent influencer à plusieurs niveaux :

- **dans le cadre d'un même projet**, imposant ainsi des limites à l'exécution simultanée de certaines tâches ;
- **entre projets**, posant alors le problème du niveau de la priorité à accorder à chacun d'eux ;
- **avec l'activité productive**, en monopolisant du potentiel humain et en utilisant des moyens normalement affectés à la production ;
- **avec l'extérieur**, au travers de la sous-traitance, de l'assistance technique, des approvisionnements, ainsi que de la location de moyens non disponibles en interne.

La nécessité de partager des ressources rend donc chaque projet dépendant de son environnement. De ce fait, toute action susceptible d'entraîner une modification de la planification ne peut être envisagée qu'après en avoir évalué les répercussions sur les autres réalisations en cours et à venir. Inversement, les retards intervenant sur d'autres projets exécutés en parallèle, pourront avoir des incidences sur les conditions de réalisation des activités utilisant les mêmes moyens. Ces contraintes spécifiques aux activités d'étude et de développement supposent la mise en place de formes d'organisation favorables à un partage concerté des responsabilités.

2 Les acteurs de la planification

Mis à part le recours à des intervenants externes dans des domaines très spécifiques, ou l'emploi d'équipements spéciaux acquis ou loués pour des besoins ponctuels, on peut estimer que la responsabilité de mettre à disposition des compétences et des moyens, d'en optimiser l'emploi, d'en assurer le maintien à l'état opérationnel et d'en garantir la pérennité, ne relève pas des attributions du chef de projet. En effet :

- former les intervenants aux techniques nouvelles,
- faire entretenir et réparer le matériel,
- remplacer et faire évoluer les moyens,
- administrer les personnels,
- gérer la disponibilité des ressources,
- planifier la charge de travail globale,

sont des actions qui en principe font partie des attributions de la ligne hiérarchique. De ce fait, et comme le montre la figure 1, on peut considérer que l'activité projet résulte de la convergence entre deux points de vue complémentaires :

- **celui du chef de projet**, orienté vers la réalisation des activités,
- **celui des gestionnaires des ressources**, axé sur la mise à disposition des moyens.

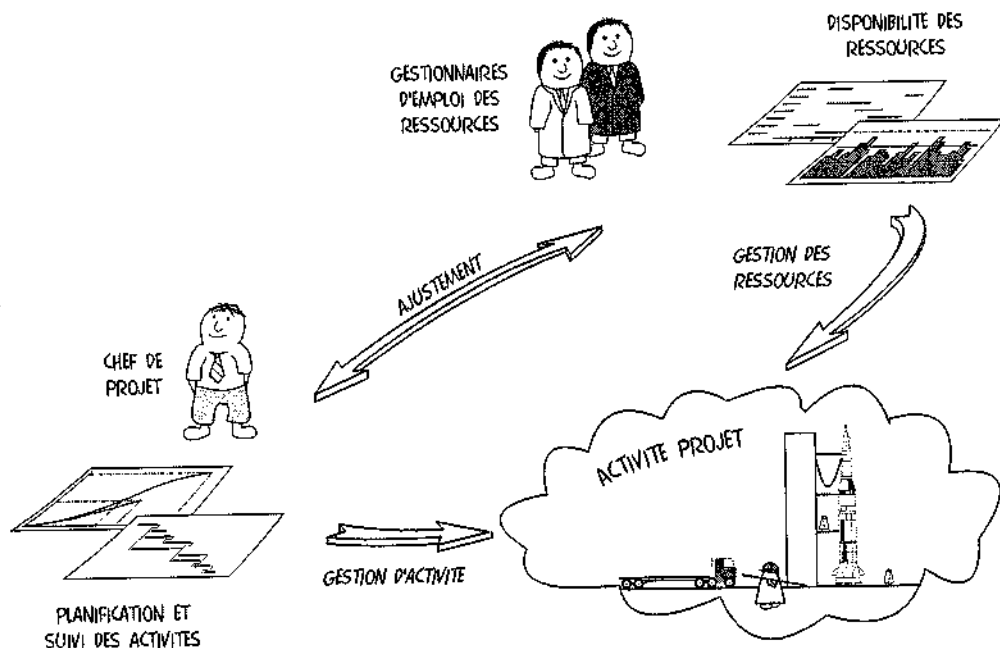


Figure 1 – La réalisation d'une activité

Un tel schéma d'organisation suppose un ajustement mutuel permanent par lequel les acteurs de la planification sont amenés à rechercher le meilleur compromis entre les contraintes liées à la maîtrise des délais et la nécessité d'optimiser l'utilisation des ressources. Ces deux exigences doivent être considérées avec le même niveau de criticité. De plus, on ne peut définir entre le rôle fonctionnel du chef de projet et la position institutionnelle du responsable de ressource aucune relation d'autorité ni aucune position dominante. La recherche de solution fera donc l'objet d'une concertation permanente sur la base des visions différentes que ces deux groupes d'acteurs peuvent avoir de la situation.

3 Gestion de l'utilisation des ressources

La disponibilité des moyens est limitée et une demande non satisfaite peut obliger à reporter certaines activités, induisant ainsi des retards. A l'opposé, la sous-utilisation de personnels ou d'équipements affectés, peut entraîner une hausse injustifiée des coûts. Ce souci d'optimiser l'utilisation des ressources est présent dans toutes les phases de la réalisation d'un projet :

- **lors de l'étude de faisabilité** (phase B), où avant tout engagement contractuel, on devra dans un premier temps s'assurer de la disponibilité des moyens nécessaires, puis insérer ces besoins nouveaux dans la planification à long terme.
- **au moment de la programmation des actions** (phase C), où le planning prévisionnel ne peut être considéré comme valide qu'après l'exécution d'un processus itératif de consolidation, par lequel chef de projet et responsables de ressources, ajustent les prévisions puis confirment les réservations qui ont été planifiées à long terme.
- **pendant la réalisation** (phase E), où toute modification dans le planning ne peut être envisagée sans en avoir au préalable évalué l'impact sur la disponibilité des moyens.

Le responsable de projet et les gestionnaires de ressources assument chacun pour une part la charge de la gestion des moyens. Deux cas peuvent se présenter.

3.1 Cas des ressources affectées

On parle de ressources affectées pour définir les moyens en personnel ou en matériel attribués à un projet à titre permanent, ou tout au moins, pour une période suffisamment longue pour justifier d'une modification de leur statut de rattachement. Dans ce cas, le rôle des gestionnaires de ressources se limite à la mise disposition des compétences et des équipements, aux dates et pour la durée qui ont été programmées lors de la planification long terme. Il en garantit le maintien à l'état opérationnel.

Le personnel, détaché à temps complet se trouve donc temporairement placé sous l'autorité fonctionnelle du chef de projet. C'est à ce dernier qu'incombe la charge de planifier l'activité journalière. Cette forme d'organisation est bien entendu la plus simple car les risques d'interférences avec les autres activités de l'entreprise sont minimaux. En effet, dans les limites de la période d'affectation, le chef de projet a toute latitude pour répartir le potentiel mis à sa disposition. Ceci suppose de pouvoir disposer du moyen de prévoir, contrôler et réguler le plan de charge.

Pour ce faire, on peut tracer à partir du diagramme de GANTT des histogrammes mettant en évidence le taux d'utilisation des ressources. Pour illustrer cette méthode, prenons l'exemple suivant :

Une équipe doit réaliser un prototype de robot manipulateur. Elle est constituée de la façon suivante :

- un ingénieur informaticien qui assume également les fonctions de chef de projet,
- deux techniciens en mécanique,
- un technicien en électronique,
- un câbleur,
- deux ouvriers hautement qualifiés en mécanique.

Chaque intervenant a une disponibilité sur le projet en horaire normal de 7 h/j.

Une étude sur les besoins en ressources, présentée dans le tableau 1, a permis de déterminer l'affectation de chaque intervenant sur les différentes activités. Sur cette base, et comme le montre la figure 2, il est alors possible de tracer les histogrammes de charge.

activité	charge	affectation des ressources					durée
		IN	TM	TE	CA	OM	
étude générale	350h	4 h/j	7 h/j	7 h/j			4s
étude châssis	200h		7 h/j				6s
étude cinématique	350h		7 h/j				10s
étude tôlerie	100h		7 h/j				3s
fabrication mécanique	700h		4 h/j			14 h/j	8s
montage mécanique	200h		7 h/j			7 h/j	3s
étude carte μ P	170h			7 h/j			5s
étude carte alim.	70h			7 h/j			2s
réalisation cartes	65h			4 h/j	7 h/j		6s
câblage faisceau	35h				7 h/j		1s
intégration électronique	160h			7 h/j	4 h/j		3s
développement logiciel	450h	7 h/j					13s
mise au point informatique	220h	7 h/j		4 h/j			4s
montage/mise au point	650h	4 h/j	4h/j	7 h/j	4 h/j	7 h/j	5s

Tableau 1 – Répartition de la charge

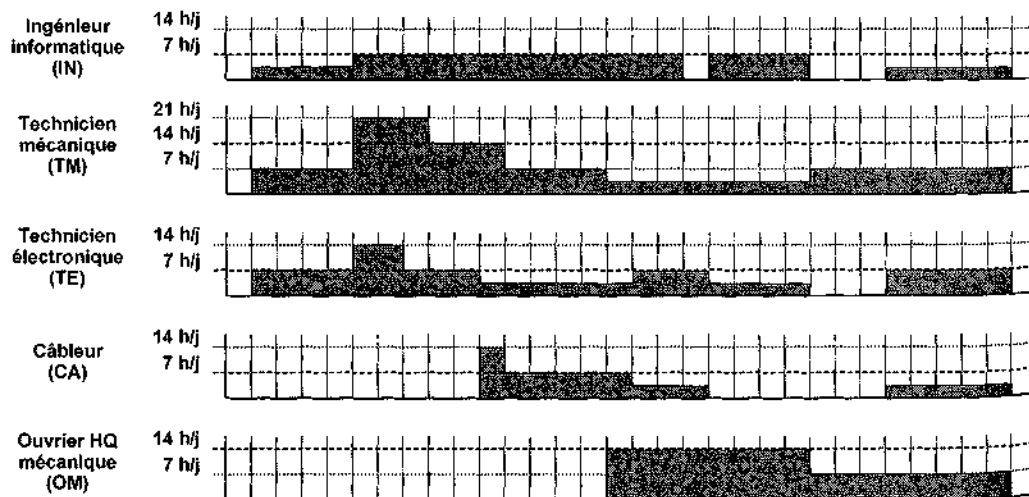
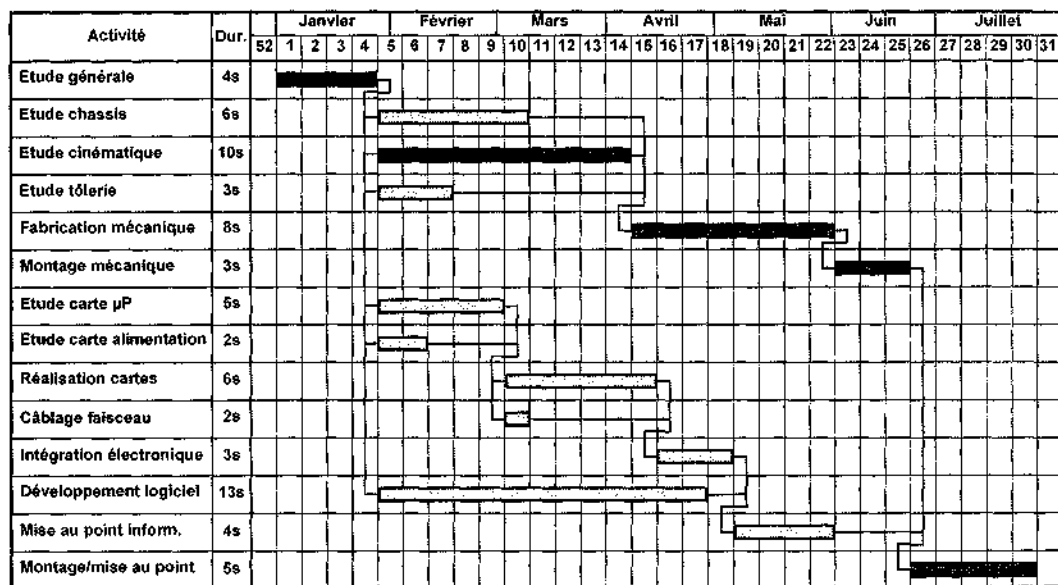


Figure 2 – Construction des histogrammes de charge

Si on élabore la planification en ne tenant compte que des contraintes d'enchaînement, on risque comme le montre la figure 2 de dépasser la capacité de production en horaire normal des ressources (trait en pointillé). Dans ce cas, on doit alors rechercher une répartition différente des activités (figure 3). Celle-ci doit permettre de résorber les surcharges et d'obtenir un taux d'utilisation des moyens aussi uniforme que possible.

Dans l'exemple présenté, le déplacement de certaines activités d'étude et le réordonnancement de la fabrication des cartes électroniques permettent de maintenir le taux d'activité en horaire normal en dessous du maximum admissible. Une répartition différente de la charge d'étude de la carte microprocesseur permet au technicien électronique de suivre à temps partiel la réalisation de la carte alimentation. Ceci a toutefois pour conséquence d'allonger son activité principale, qui passe de 5 à 6 semaines. Malgré ces modifications, la date de fin au plus tôt reste inchangée.

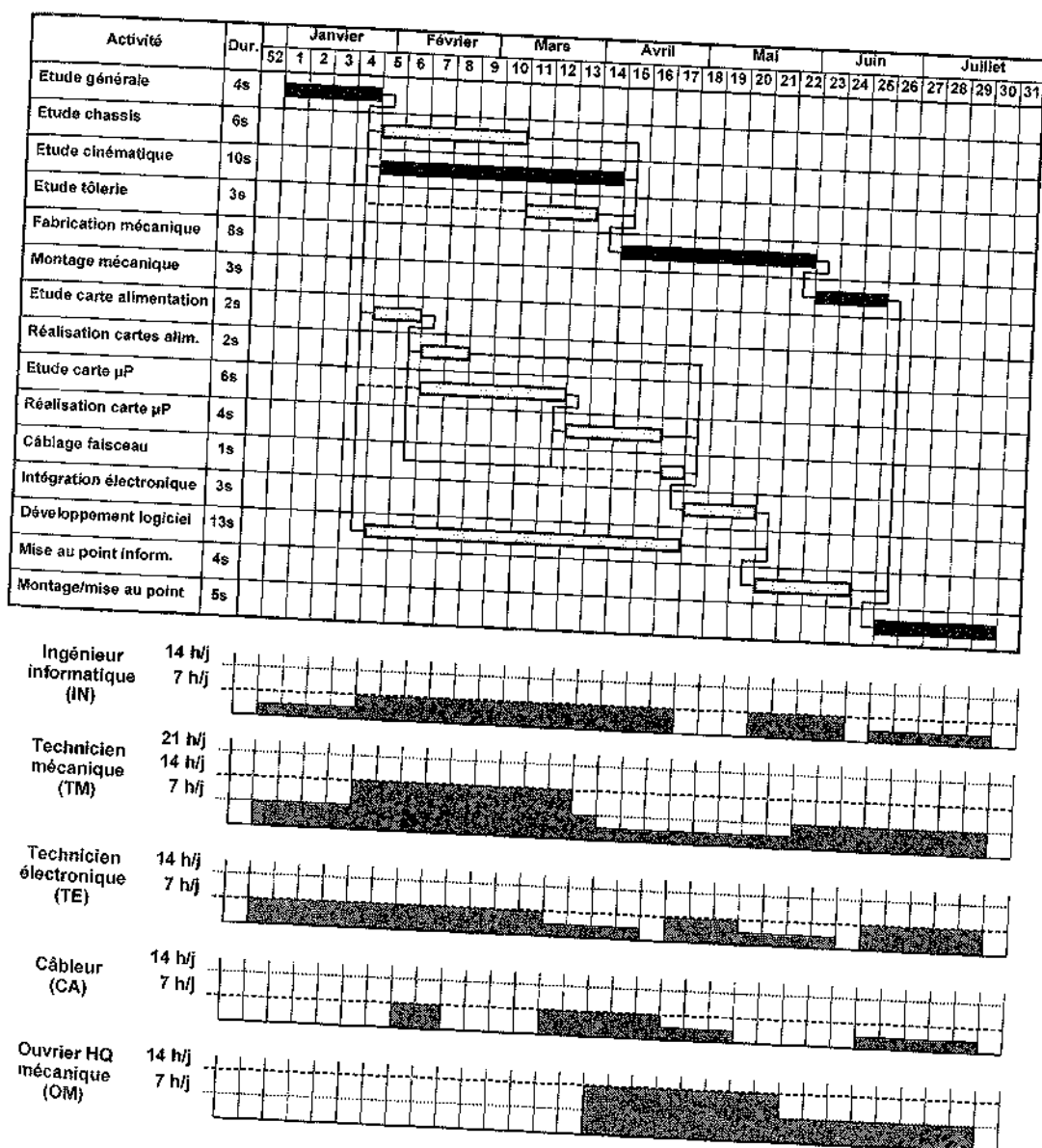


Figure 3 – Nouveau planning après lissage de la charge

3.2 Gestion des ressources partageables

Contrairement aux ressources affectées, les ressources partageables sont utilisées par plusieurs projets. Dans ce cas, c'est aux gestionnaires de ces moyens communs qu'il appartient de gérer l'activité à court terme, en répartissant le potentiel disponible entre les différents demandeurs.

Ceci nécessite une vue d'ensemble des travaux à réaliser. Pour ce faire, et comme le montre la figure 4, il est possible tracer pour chacune des ressources mises en oeuvre, un planning décrivant tous projets confondus, la chronologie des demandes à satisfaire. De cette représentation on peut alors déduire l'histogramme de charge montrant le niveau d'activité cumulé sur l'ensemble des activités utilisatrices.

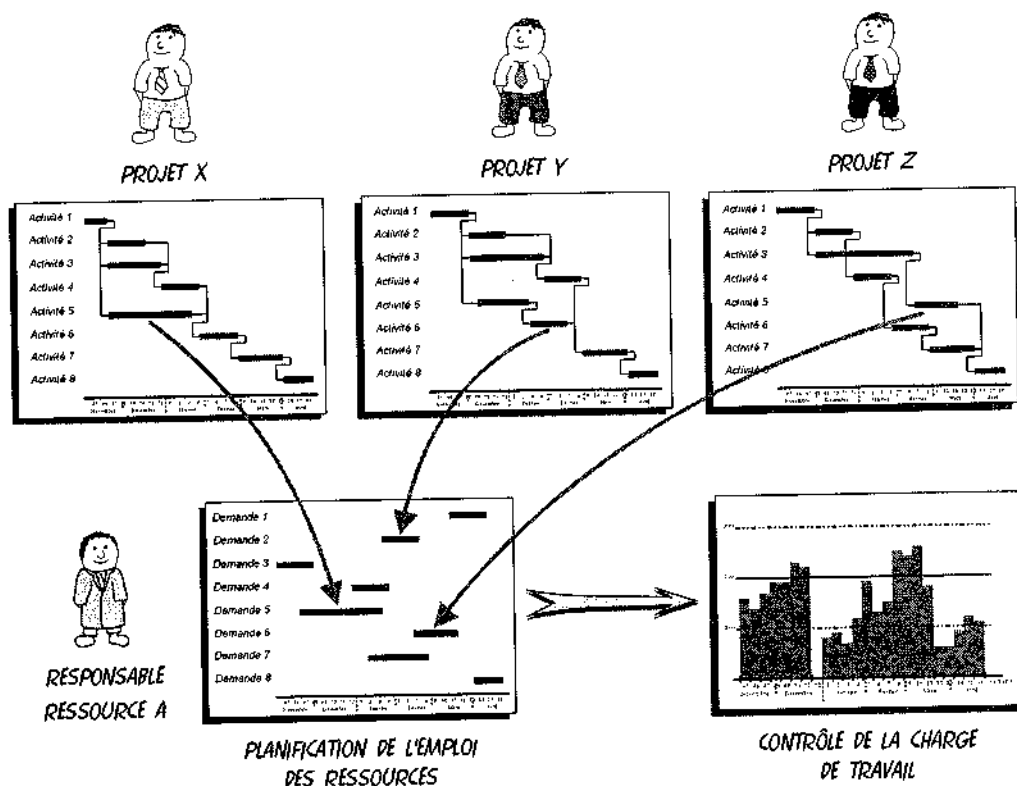


Figure 4 – Gestion de l'emploi des ressources partageables

Cette forme d'organisation est bien entendu plus complexe que la précédente car les projets, concurrents pour l'utilisation d'une même ressource, se trouvent de ce fait en situation d'interdépendance. Sauf cas exceptionnel où le recours aux dépassements d'horaire est autorisé, la nécessité de maintenir la charge en dessous du niveau maximum admissible, peut comme le montre la figure 5, imposer de différer la réalisation de certaines activités, risquant ainsi d'entraîner un retard général des projets concernés.

Ce mode de fonctionnement permet bien entendu d'aboutir à une meilleure utilisation des compétences et des équipements. Il suppose en contrepartie que puisse s'établir lors de la phase de préparation, un cycle demande / acceptation par lequel, responsable de projet et gestionnaires de moyens peuvent ajuster leurs prévisions respectives, ceci en tenant compte des différentes contraintes que sont : l'enchaînement des activités, le respect des délais et la disponibilité des ressources.

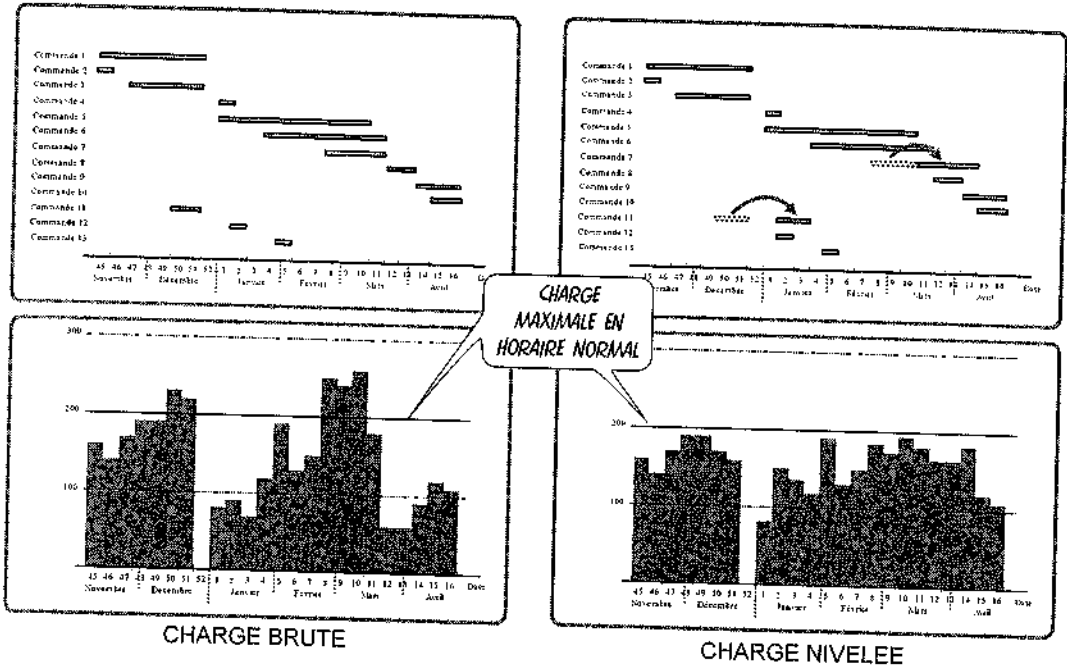


Figure 5 – Nivellement de la charge d'activité des ressources partageables

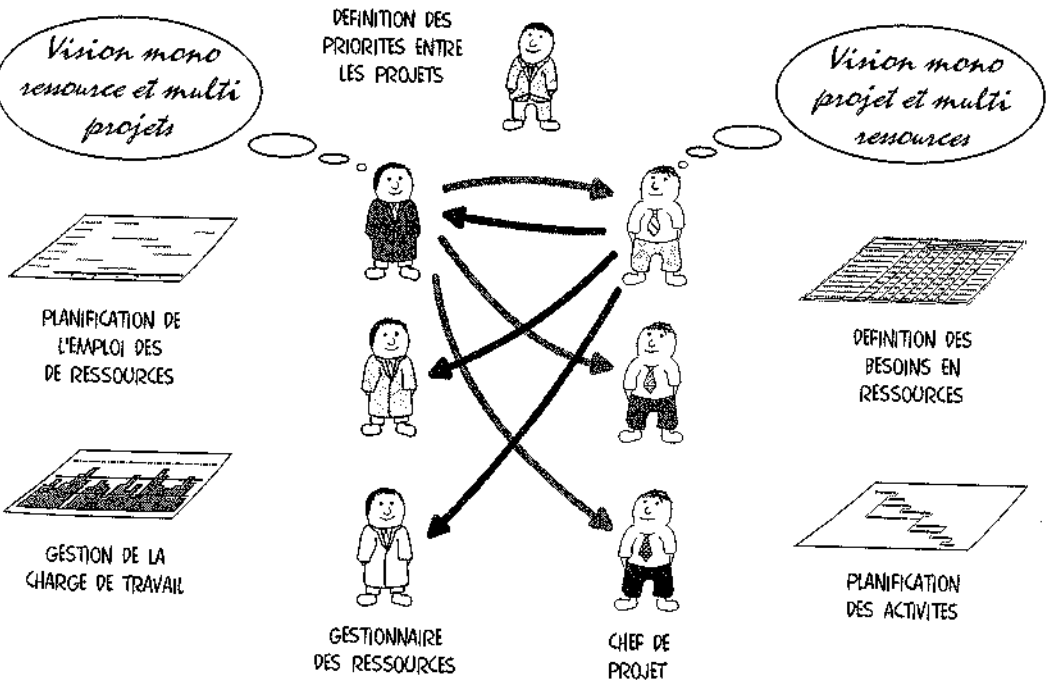


Figure 6 - Les deux visions complémentaires de la planification

Il en est de même pendant la réalisation, où tout retard, toute modification intervenant dans la planification devra faire l'objet d'une étude globale, permettant ainsi d'évaluer les incidences sur les autres projets en cours.

Les situations d'exclusion mutuelle entre des projets concurrents pour l'utilisation d'une même ressource sont bien entendu inévitables. C'est pourquoi, à défaut de trouver une solution négociée et afin d'être en mesure de déterminer ce qui doit être réalisé en urgence et ce qui peut être mis en attente, il sera alors nécessaire comme on le voit sur la figure 6, de recourir à l'arbitrage d'une autorité (hiérarchique ou fonctionnelle) habilitée à définir les priorités stratégiques.

Chapitre 13

Identifier les modules techniques

L'identification des modules techniques est une étape importante de la gestion d'un projet. Elle permet de définir les compétences techniques requises, de répartir les tâches entre les intervenants et d'analyser si les ressources humaines sont suffisantes pour réaliser le projet dans le temps imparti.

L'identification des modules techniques doit être plus ou moins détaillée suivant l'importance du projet. On peut comparer l'importance du découpage technique à une adresse postale. Pour rendre visite à Monsieur Duroc qui habite dans une grande métropole, il faut préciser le nom de la ville, le nom de l'arrondissement, le nom de la rue, le numéro de la résidence, le nom de l'immeuble, etc.. Pour rendre visite à Monsieur Dubois qui habite à Ars en Ré le nom de la rue suffit. De la même façon, le découpage des modules techniques sera plus ou moins poussé suivant la complexité du projet. On commence par découper le projet en *lots de travaux* facile à identifier. Un lot pourra être constitué par un ensemble mécanique, un autre par un ensemble électronique, un suivant par un ensemble informatique, etc..

La décomposition s'effectue à partir d'un tronc commun, le projet, sous la forme d'un organigramme technique arborescent (voir chapitre 9).

Cet organigramme va permettre :

- d'organiser et de répartir les domaines de responsabilité et de compétence des différents acteurs ;
- d'analyser l'existant et l'inconnu ;
- de gérer les sous-traitances.

La description et la décomposition technique d'un produit nécessite des connaissances sur ses divers aspects techniques et sur les différents éléments qui le constituent. Pour découper le projet, il est indispensable que le chef de projet et ses collaborateurs aient des compétences suffisantes pour effectuer correctement ce découpage. Il est délicat d'obtenir un bon découpage après une simple analyse du projet. Il est nécessaire de procéder par étapes. Pour décrire ces étapes, on s'appuiera sur l'étude d'un projet industriel : le « *Chrono Pouss* ».

Le Chrono Pouss' est une chambre de fermentation contrôlée qui permet d'optimiser la production en boulangerie. Le Chrono Pouss' permet d'accélérer le processus de fermentation des produits boulangers (pains, viennoiseries) en utilisant des antennes micro-ondes.

1 Avant projet

Avant de se lancer dans le découpage du projet, il est utile d'en effectuer une analyse sommaire. Une bonne méthode est de s'appuyer sur l'étude d'un produit comparable.

Pour l'exemple choisi, la société avait développé le « *Chrono dégel* », une chambre de désurgélation rapide qui permet d'optimiser la production de plat cuisinés.

Un premier point d'analyse peut être constitué par l'apparence du produit à concevoir.

Les pâtons congelés sont placés sur des chariots qui doivent pouvoir être utilisés aussi bien dans le Chrono Pouss' que dans un four électrique industriel : on peut en déduire que le Chrono Pouss' va avoir l'aspect d'un four électrique industriel.

Il doit conserver les pâtons surgelés en attendant de déclencher leur fermentation : il va aussi ressembler à une armoire frigorifique.

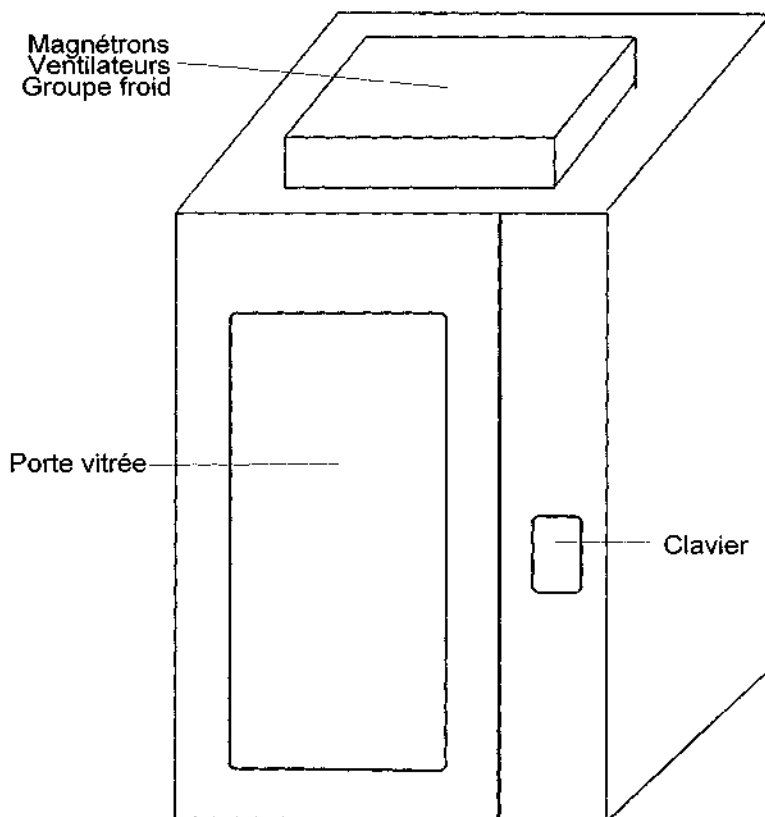
Un deuxième point concerne les cotes d'encombrement.

Dans les boulangeries modernes, la surface au sol est réduite. Par contre la hauteur sous plafond est standard. L'encombrement au sol doit être minimum : on placera de préférence les générateurs micro-ondes, les magnétrons, au dessus de l'armoire.

Un troisième point concerne le générateur micro-ondes.

Le point commun aux deux produits, « *chrono dégel* » et « *chrono pouss'* » est l'utilisation d'un applicateur micro-ondes constitué d'un ensemble d'antennes mobiles (système breveté) : les antennes doivent se déplacer au dessus du produit à décongeler.

Ces quelques considérations permettent de dessiner un premier croquis du « *chrono pouss'* » (figure 1). Ce croquis va servir de base à la décomposition technique du projet et à la réalisation de l'organigramme technique.



A partir de ce croquis, on peut décomposer le projet en trois grandes parties :

- l'ensemble mécanique constitué de l'armoire frigorifique, du chariot, des antennes et du mécanisme de déplacement des antennes ;
- l'ensemble électrotechnique constitué des magnétrons et de leurs alimentations, du système de ventilation, du groupe froid ;
- l'ensemble électronique de commande.

Cette première décomposition montre la nécessité de constituer une équipe à compétences multiples en mécanique, en électrotechnique et en électronique.

A partir de ces informations, on peut commencer à construire un organigramme technique de premier niveau donné sur la figure 2.

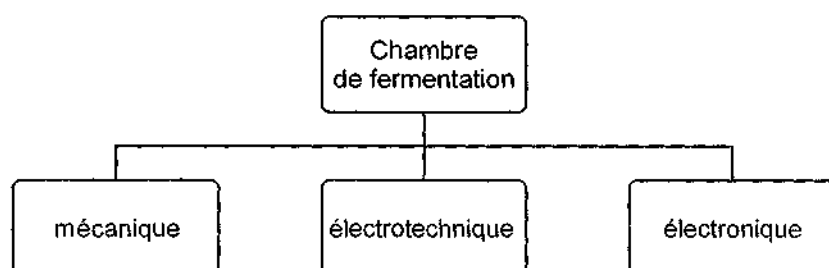


Figure 2 – Organigramme technique de niveau 1 du Chrono Pouss'

2 Décomposition de deuxième niveau

La décomposition de deuxième niveau permet d'analyser les lots de travaux à réaliser dans chacune des parties précédentes. Pour un projet de moyenne importance, ce niveau de décomposition donne une bonne idée du travail à réaliser. Rappelons les principales caractéristiques d'un lot de travaux (voir chapitre 9) :

- il est rattaché à un constituant bien identifié de l'ouvrage,
- il est confié à un responsable unique chargé de sa gestion,
- il regroupe un ensemble homogène de tâches.

On a représenté sur la figure 3 la décomposition de niveau 2 de la chambre de fermentation et les différents lots de travaux.

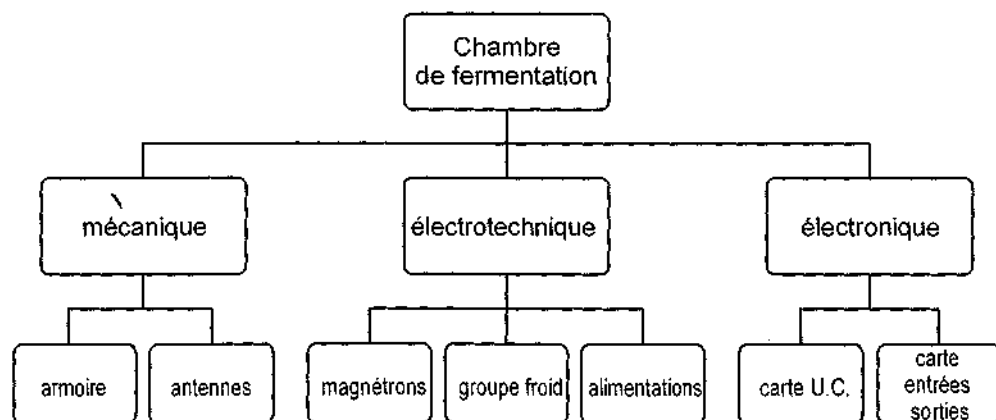


Figure 3 – Organigramme technique de niveau 2 du Chrono Pouss'

3 Décomposition en niveaux élémentaires

Après avoir décomposé le projet en grandes lignes, il faut rechercher dans chaque sous ensemble les niveaux élémentaires. Un niveau élémentaire correspond à un élément dont la réalisation peut être maîtrisée dans le temps (un début et une fin) par un ou plusieurs individus.

Finalement, la décomposition du système technique suivant un critère physique aboutit à une description de produits élémentaires qui pourraient « pratiquement être achetés » dans le commerce ou sous-traités. Cette décomposition est rarement triviale car de nombreux projets sont porteurs d'innovation et par conséquent un certain nombre de produits élémentaires sont entièrement à concevoir.

Pour chaque élément de l'organigramme technique du produit, il faut s'interroger sur son état éventuellement existant, c'est à dire déjà développé en tout ou en partie sur un autre projet. On peut en déduire l'importance des efforts de développement à déployer pour concevoir cet élément. Pour mieux apprécier l'effort de développement à produire, on peut classer les éléments du produit en catégories¹.

– La catégorie 1

Cette catégorie concerne les éléments produits totalement nouveaux et donc à développer entièrement. Toutes les connaissances sont à acquérir et tous les dossiers de conception et de fabrication sont à formaliser. Exemple : l'armoire, les logiciels de commande.

– La catégorie 2

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés mais pour des exigences différentes et moins contraignantes. Des connaissances complémentaires sont à acquérir ; les dossiers sont à adapter au projet concerné. Exemple : les cartes d'entrées et de sorties.

– La catégorie 3

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés pour des exigences similaires et ne nécessitant qu'un complément de vérification. Les solutions génériques entrent dans cette catégorie de produit. Exemple : la gestion du clavier.

– La catégorie 4

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés par ailleurs et pouvant être insérés tel quel dans le projet. Les produits « fonctions » peuvent être classés dans cette catégorie. Exemple : les antennes.

– La catégorie 5

Cette catégorie concerne les éléments produits « existants » et insérés tels quels dans le projet. Cette catégorie concerne notamment les produits achetés clés en mains. Exemples : les magnétons, les ventilateurs.

Pour les projets de taille moyenne tel que celui choisi pour exemple, il est important de réduire au minimum les éléments de la catégorie 1, à savoir les éléments totalement nouveaux. Dans le cas où cette catégorie reste incontournable, il faut être très vigilant sur l'évaluation du temps à passer pour développer les éléments nouveaux. Comme on l'a déjà mentionné par ailleurs le temps de développement correspond à la partie la plus importante du budget d'un projet de taille moyenne.

¹I.Chvidchenko, J.Chevallier, Conduite & gestion de projet, Cépadués-éditions, Toulouse, 1993

4 Exemples de découpage en éléments

On examine dans les paragraphes suivants la décomposition en éléments des principaux système de la chambre de fermentation.

4.1 Le système mécanique

Le système mécanique de la chambre de fermentation est constitué principalement d'une armoire isotherme et d'un ensemble d'antennes mobiles.

La fonction principale de l'armoire isotherme est d'assurer une bonne isolation thermique et d'assurer un blindage parfait contre les rayonnements micro-ondes. Elle a pour fonction complémentaire de servir de support mécanique à l'ensemble des accessoires. Les éléments qui constituent l'armoire isotherme sont représentés figure 4.

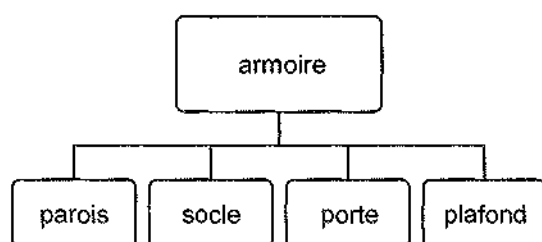


Figure 4 – Décomposition en éléments de l'armoire isotherme

Les parois sont réalisées à partir de panneaux frigorifiques dont la surface est métallique. Ces panneaux assurent l'isolation thermique et la protection électromagnétique.

Le socle est réalisé en tôle pliée. Il assure le guidage des chariots.

La porte est un élément complexe qui assure une bonne isolation thermique, une protection contre les micro-ondes (pièges à ondes sur le pourtour) et une vision de l'intérieur (paroi vitrée).

Le plafond est un élément complexe qui assure lui aussi des fonctions d'étanchéité thermique et micro-ondes. Il supporte :

- le mécanisme d'entraînement des antennes du côté intérieur ;
- le groupe froid, les ventilateurs et les alimentations de puissance du côté extérieur.

4.2 Le système électrotechnique

Le système électrotechnique comprend tous les systèmes électriques de puissance dont les principaux éléments sont représentés sur la figure 5.

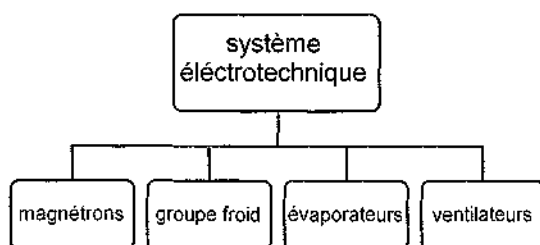


Figure 5 – Décomposition en éléments du système électrotechnique

Sur ce système on trouve :

- les magnétrons, à raison de un par antenne ; chaque magnétron est associé à un guide d'ondes (antenne).
- le groupe froid, qui est un élément du commerce (catégorie 5) ;
- les évaporateurs, constitués de résistances chauffantes, de ventilateurs et de buses d'injection d'eau ;
- les ventilateurs, qui assurent le refroidissement des magnétrons et un brassage de l'air de l'enceinte.

On peut remarquer que certains éléments tels que les magnétrons, le groupe froid, constituent des éléments achetés dans le commerce ; ils entrent dans la catégorie 5. Chaque magnétron est associé à un applicateur de micro-ondes. Cet applicateur est réalisé en profilé spécialement étudié pour des applications industrielles réalisées par la société maître-d'oeuvre de la chambre de fermentation. L'ensemble magnétron applicateur est considéré comme un élément de la catégorie 3. Cet exemple montre qu'il n'est pas toujours aisé de décomposer un projet en éléments puisqu'il est possible d'aller plus ou moins loin dans cette décomposition. Par contre si un ensemble peut constituer un élément, il est souhaitable d'arrêter la décomposition à ce niveau dans la description globale du projet.

4.3 Le système électronique

Les systèmes micro-informatiques à base de microcontrôleurs se prêtent bien au découpage de la gestion des tâches comme cela est expliqué au chapitre 9. Le microcontrôleur joue le rôle du fédérateur entre des tâches éclatées telles que la gestion d'un clavier, la gestion d'un afficheur LCD, la gestion d'entrées (capteurs) et la gestion de sorties (actionneurs). Chaque tâche annexe peut être étudiée séparément comme on vient de le voir dans les paragraphes précédents. On a représenté sur la figure 6 le découpage matériel d'un ensemble à base de microcontrôleur.

En 1971, Ted Hoff, ingénieur travaillant pour la société Intel, inventait le premier **microprocesseur**. Un microprocesseur est un circuit intégré composé de dizaines de milliers de transistors et capable d'effectuer plusieurs millions d'opérations par seconde. La fonction de ce composant ne dépend pratiquement pas du composant lui-même mais du programme qui le pilote. Avec cette invention, il a amené une grande flexibilité dans la conception des systèmes micro-informatiques. Depuis cette date les circuits programmables n'ont pas cessé d'évoluer. Une évolution particulièrement intéressante du microprocesseur est le microcontrôleur. Un microcontrôleur est un super circuit intégré qui incorpore à la fois un microprocesseur, des circuits périphériques programmables et la mémoire programme permettant de faire fonctionner le tout.

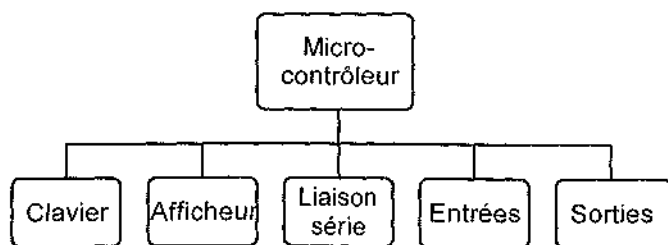


Figure 6 – Organigramme technique matériel d'une carte microcontrôleur

On peut remarquer aussi que les circuits électroniques sont assemblés sur des circuits imprimés appelés cartes électroniques. Il est tentant de découper le projet électronique

en suivant cette logique. Chaque carte peut être ensuite découpée en fonctions plus élémentaires.

C'est cette décomposition qui a été retenue pour le système électronique de la chambre de fermentation. Ce découpage est représenté sur la figure 7.

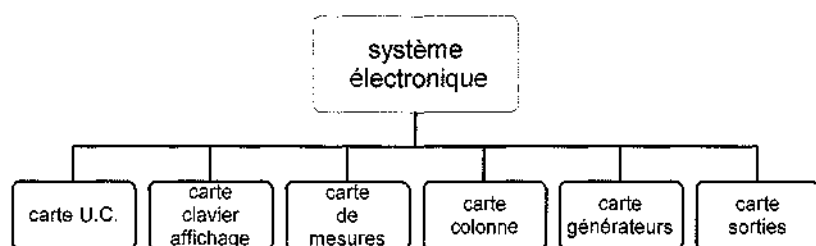


Figure 7 – Décomposition en éléments du système électronique

La carte unité centrale, pilotée par un microcontrôleur, est reliée aux autres cartes du système. Le programme implanté sur cette carte permet d'établir le dialogue entre les différentes cartes périphériques. Du point de vue de la conception, ces cartes peuvent être étudiées et réalisées séparément.

5 Attribution des responsabilités

Un des objectifs de l'organigramme technique est de définir des lots de travaux de façon claire et gérable. Chaque lot possède un domaine technique bien délimité qui permet de définir les compétences de son responsable. Ses compétences doivent être générales car on a vu que les lots sont très souvent interconnectés. Elles doivent être aussi suffisamment pointues dans le domaine pour qu'il puisse suivre les travaux de son équipe. Ses responsabilités peuvent être attribuées à partir de l'organigramme de niveau 1.

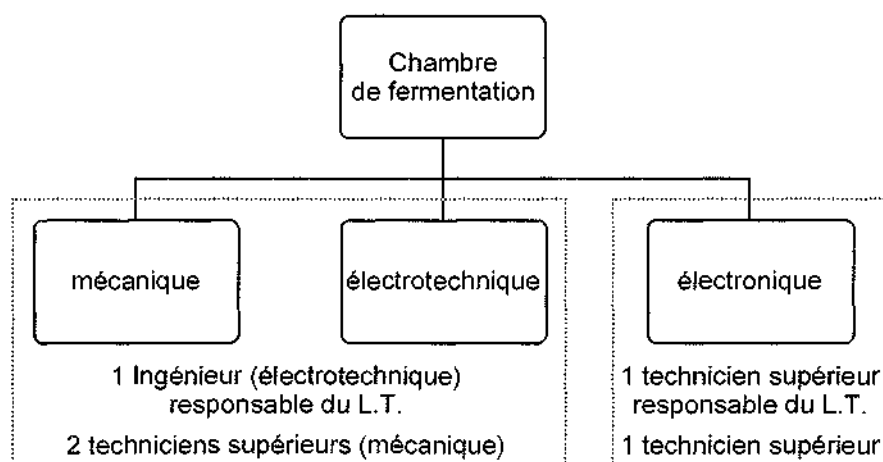


Figure 8 – Organigramme des responsabilités

La décomposition en niveaux inférieurs permet au chef de projet et à son équipe de définir les ressources humaines à mettre en oeuvre pour la réalisation du projet. On a représenté sur la figure 8 les équipes qui ont réalisé la chambre de fermentation citée en exemple. La décomposition en éléments techniques permet aussi de définir les compétences que doivent posséder les intervenants. Selon les objectifs de délais, on peut renforcer les équipes sur la réalisation des lots les plus importants, soit en fonction

de la quantité de travail, soit en fonction du degré d'innovation des éléments constituant le lot de travaux.

6 La phase d'intégration

L'opération d'intégration (ou assemblage) des différents éléments constitue une phase importante dans la gestion technique du projet (voir chapitre 9). C'est au cours de cette phase qu'apparaissent les éventuels oublis. Certains problèmes ne sont mis en évidence que lorsque le produit est totalement assemblé. On peut se rendre compte par exemple que, sur une machine automatique, des sécurités supplémentaires doivent être ajoutées au système. Il serait dommage, dans un tel cas, que les cartes électroniques n'aient pas d'entrées disponibles pour gérer ce nouveau cas de figure. Dans la conception des éléments, il est important, à chaque fois que cela est possible, de conserver le maximum de flexibilité et d'adaptabilité. Ces cas de figure sont en général faciles à mettre en oeuvre sur les systèmes électroniques programmables. Il ne faut pas évidemment tomber dans l'excès inverse en laissant des zones d'ombre qui seront résolues plus tard.

On donne sur la figure 9 une vue éclatée du prototype de la chambre de fermentation en fin de réalisation (documentation de la société 3 AMI).

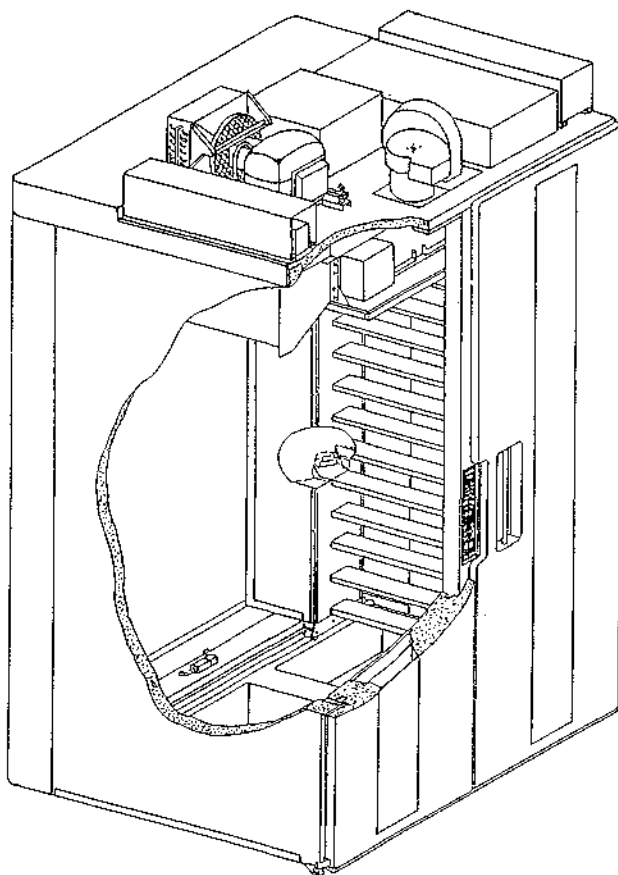


Figure 9 – Vue éclatée du « Chrono pouss' »

Chapitre 14

Concevoir les modules techniques

L'identification des modules techniques a pour objectif de répartir les différentes tâches de conception et de réalisation. L'organisation du travail de la personne ou de l'équipe chargée de cette réalisation doit s'appuyer sur des méthodes spécifiques d'optimisation de la conception comme, par exemple, la recherche et l'application de solutions génériques et de fonctions techniques.

Une **solution générique** est une solution adaptée à la réalisation d'un élément technique particulier, mais conçue avec le souci d'être suffisamment flexible pour être facilement adaptable à la conception de nouveaux éléments. Les exemples choisis (alimentation stabilisée, gestion d'un clavier, gestion d'un afficheur et utilisation d'un plateau tournant) montrent l'importance de retenir des solutions génériques qui viendront enrichir la base de données des concepteurs.

Une **fonction technique** est un module conçu pour être autonome et réutilisable dans n'importe quel projet. C'est le cas par exemple du mécanisme d'entraînement d'une cassette vidéo. Le découpage en fonction permet de confier la réalisation de la tâche à un ou plusieurs spécialistes. La fonction, une fois réalisée, peut être associée au reste du projet mais elle peut être aussi réutilisée dans d'autres projets de façon autonome, au même titre qu'une solution générique.

1 Décomposition d'un système électronique

La complexité des systèmes électroniques a amené, depuis fort longtemps, les électroniciens à se pencher sur le problème de la décomposition des projets électroniques. Une méthode de décomposition, très utilisée, consiste à décrire le système sous une forme hiérarchisée depuis le niveau le plus haut, l'application, jusqu'au niveau le plus bas, la réalisation. Cette méthode est proche de la Méthodologie de Conception de Système Electronique (MCSE) décrite par J.P. Calvez¹.

La démarche consiste, à partir de l'application, à définir un cahier des charges regroupant les spécifications techniques du produit. Puis, en partant du niveau le plus haut, on effectue une décomposition sous la forme de blocs fonctionnels. Chaque bloc de la description fonctionnelle décrit une fonction principale du système. Chaque fonction peut être à son tour, compte tenu de sa complexité, décomposée en schéma fonctionnel ou en schéma synoptique. La figure 1 représente cette démarche et les différents schémas associés. On distingue :

– Le **schéma fonctionnel**, qui a pour objectif de décrire le fonctionnement du système sous la forme de fonctions générales indépendantes de la technologie.

¹ J.P. Calvez, Spécification et conception des systèmes, Masson, Paris, 1991.

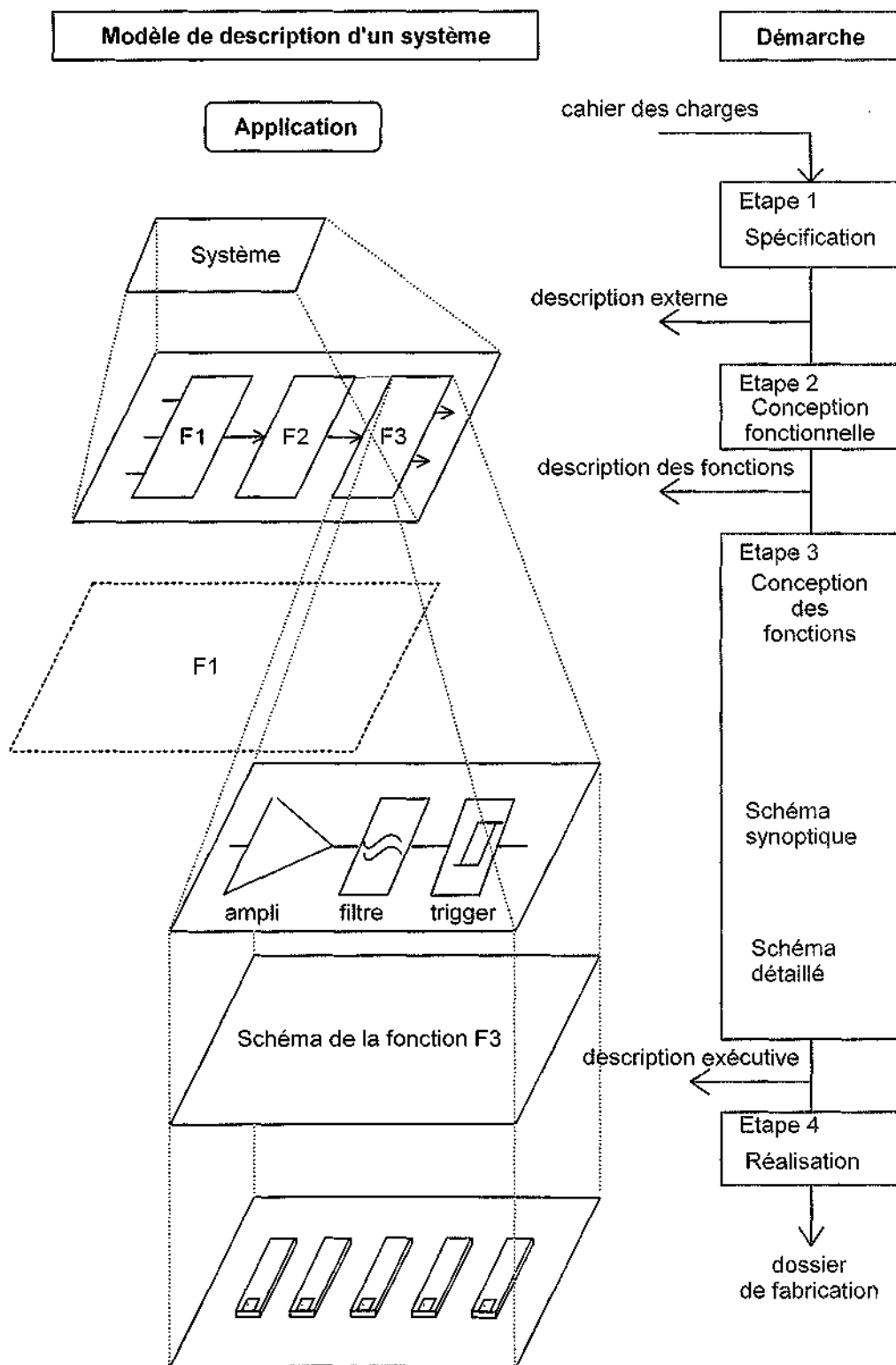


Figure 1 – Vue éclatée d'un schéma hiérarchisé

– **Le schéma synoptique**, qui représente un système à partir de symboles (plus ou moins normalisés) désignant des fonctions élémentaires telles qu'un amplificateur, un détecteur, un filtre, un circuit de mise en forme.

– **Le schéma technique**, qui décrit le fonctionnement du système dans ses moindres détails. Il est utilisé pour la construction et la maintenance du produit.

La méthode de conception d'un module technique consiste à décomposer le montage sous une forme hiérarchisée depuis le niveau 2, à savoir la représentation fonctionnelle, jusqu'au niveau n correspondant au niveau le plus élémentaire. La décomposition sous forme d'un « design hiérarchisé » est en tout point comparable à la décomposition d'un projet sous la forme d'un organigramme technique.

Le schéma fonctionnel et le schéma synoptique décrivent le fonctionnement technique du produit. Les schémas détaillés ne sont utilisés que par les experts.

On vient de voir que le schéma fonctionnel permettait de décrire les fonctions principales d'un système sans tenir compte de la technologie. Toutefois, compte tenu de la complexité des systèmes, le concepteur est contraint d'effectuer des décompositions intermédiaires. Par exemple on a représenté sur la figure 2 le schéma fonctionnel d'un système simple. Il s'agit d'un VU-mètre digital permettant d'afficher le niveau sonore d'un signal sur des diodes électroluminescentes horizontales (bargraph) et sur des afficheurs 7 segments. Sur ce schéma qualifié de fonctionnel, on commence à anticiper sur la technologie en précisant que l'on utilise un processeur de signal, une mémoire dont la capacité est définie et en précisant le type de l'affichage, afficheurs « bargraph » et afficheurs « 7 segments ».

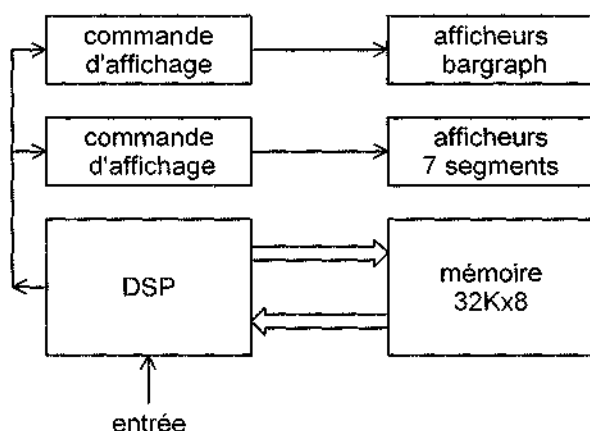


Figure 2 – Schéma fonctionnel d'un VU-mètre à DSP

Depuis l'avènement des circuits intégrés, les électroniciens ont pris l'habitude de représenter les circuits par la fonction qu'ils réalisent. C'est le cas par exemple pour les amplificateurs opérationnels (A.O.P.) et les circuits logiques. Ces circuits sont utilisés comme une boîte noire avec des entrées et des sorties. Ils réalisent en fait une fonction analogique ou une fonction logique. Mais les circuits intégrés devenant de plus en plus complexes, il a fallu augmenter la hiérarchie des schémas décrivant leur fonctionnement.

Par exemple, un amplificateur d'instrumentation, qui est conçu à partir d'amplificateurs opérationnels, sera schématisé par un symbole particulier. Ce symbole peut être éclaté en plusieurs amplificateurs opérationnels. Puis on peut détailler le schéma, à base de transistors, de chaque amplificateur opérationnel. On a représenté sur la figure 3 le symbole d'un amplificateur d'instrumentation et son schéma synoptique.

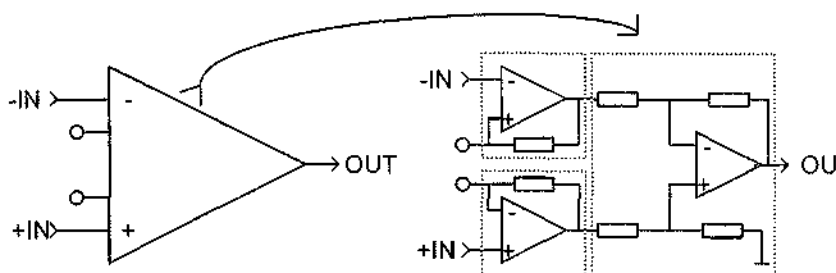


Figure 3 – Symbole d'un amplificateur d'instrumentation

On voit à travers cette description qu'un ensemble électronique ou qu'un simple composant est très rapidement à lui seul un petit projet. Pour concevoir une carte électronique, il est indispensable d'en analyser sa structure sous une forme fonctionnelle en essayant de séparer au mieux les différents niveaux de décomposition. En outre, les éléments ou les ensembles d'éléments doivent être conçus, dans la mesure du possible, sous la forme de fonction ou de bloc générique, c'est à dire sous une forme permettant de les réutiliser facilement dans d'autres projets.

1.1 Décomposition en solution générique

On peut montrer sur un exemple simple, une alimentation stabilisée, l'intérêt de retenir une solution générique.

Hormis les montages électroniques qui fonctionnent sur pile ou sur batterie, la majorité des montages électroniques utilisent une alimentation basse tension. La source d'énergie est généralement fournie par le secteur. Il existe essentiellement deux types de montage : les alimentations à fonctionnement linéaire et les alimentations à découpage.

Prenons comme exemple l'étude d'une alimentation linéaire à tension de sortie unique. Pour isoler l'utilisateur du secteur et abaisser la tension, on utilise en entrée un transformateur. La tension fournie au secondaire est redressée par des diodes, puis elle est filtrée par un condensateur électrochimique de forte capacité. Le plus simple est ensuite de placer un régulateur intégré qui permet d'obtenir la tension souhaitée. Le schéma fonctionnel représenté sur la figure 4 fait intervenir une suite de quatre fonctions : transformation, redressement, filtrage et régulation.

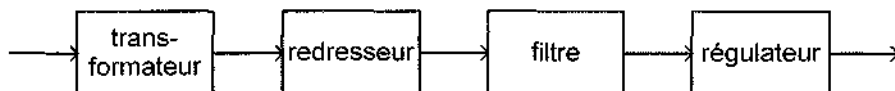


Figure 4 – Schéma fonctionnel d'une alimentation stabilisée

Mis sous cette forme, le schéma fonctionnel d'une alimentation 5V, 100mA ou d'une alimentation 12V, 2A est identique. Le schéma détaillé reste le même, seul le dimensionnement des composants varie en fonction de la puissance à dissiper et de la tension à obtenir. Il est très facile dans ces conditions de programmer le calcul des éléments en fonction de la tension et de l'intensité désirées.

Le dessin du circuit imprimé peut être établi à l'avance. Il suffit ensuite de l'adapter à la taille des composants. Il est donc très rapide, avec cette méthode, de créer rapidement des alimentations stabilisées à la demande. Les outils modernes de programmation et de C.A.O., s'ils sont bien maîtrisés, permettent d'obtenir une solution dans des délais très courts.

Au regard de cette description, on peut se rendre compte qu'une solution générique est proche d'une solution clé en main. Certes, il est possible de trouver sur le marché des

alimentations stabilisées permettant de faire face à un grand nombre de situations. Pour la conception d'un prototype de montage électronique, ce choix permet de gagner du temps. Mais très souvent des contraintes d'encombrement ou de simplicité d'assemblage obligent à intégrer le module d'alimentation sur l'unique carte électronique du projet. Dans ce cas, il n'y a aucun doute que la solution générique, si elle a été bien conçue, apportera un gain de temps considérable.

1.2 Décomposition en fonctions

Pour continuer la démarche de décomposition d'un système électronique, on va illustrer sur un exemple la possibilité de découpage sous la forme d'une fonction. L'exemple retenu est celui de la conception d'une carte de commande de moteurs pas à pas.

*Les **moteurs pas à pas** sont des composants très utilisés dans les systèmes automatiques. Ils servent à commander, de façon discrète ou par pas, le déplacement suivant plusieurs axes des outils de machines automatiques. Le déplacement suivant chaque axe est assuré par un moteur indépendant. C'est le cas par exemple d'une perceuse à commande numérique. Le déplacement suivant les axes X et Y est fonction des coordonnées, à partir d'une origine, du trou à percer. Le déplacement est converti en nombre de pas et il est assuré par deux moteurs séparés. Le perçage est effectué suivant l'axe Z. La tête mobile, supportant la perceuse, se déplace entre une butée haute et une butée basse. Ce déplacement est lui aussi converti en nombre de pas et est assuré par un troisième moteur.*

Le schéma de principe d'un moteur pas à pas bipolaire est donné figure 5. Le stator est constitué de deux paires d'enroulement et le rotor est constitué d'un aimant permanent.

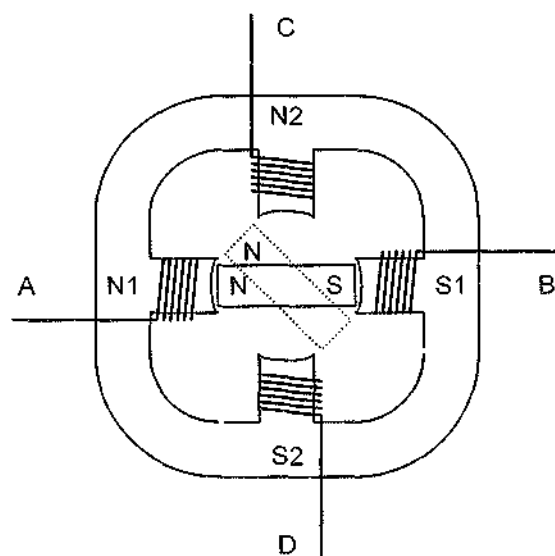


Figure 5 – Schéma de principe d'un moteur pas à pas

Si on alimente la paire de bobine AB, l'aimant va s'orienter dans le sens AB. Si on arrête l'alimentation de la paire de bobines AB et si on alimente la paire de bobines CD, l'aimant tourne d'un quart de tour. En changeant le sens d'alimentation des bobines, on peut faire tourner l'aimant d'un tour complet. Dans ce mode de fonctionnement, le rotor peut tourner de 90° par pas, soit 4 pas par tour. En multipliant le nombre d'aimants sur le rotor, on peut augmenter le nombre de pas par tour. On atteint ainsi couramment 200 pas par tour.

En excitant simultanément les paires de bobine AB et CD, le champ magnétique créé est à 45° de l'axe des bobines. En jouant sur le sens de passage du courant dans les

bobines, on obtient un déplacement de 4 pas par tour. Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont constamment excitées et le couple de maintien est maximum. En panachant les deux modes de fonctionnement précédents, on peut faire fonctionner le moteur en mode demi-pas ; on obtient dans ce cas huit pas par tour. Le moteur à 200 pas par tour est transformé en moteur à 400 pas par tour.

Pour résumer, la commande d'un moteur pas à pas consiste soit à alimenter ou non un ensemble de deux bobines, soit à commuter ou non le sens du courant à travers ces deux bobines. Le schéma de principe est donné sur la figure 6.

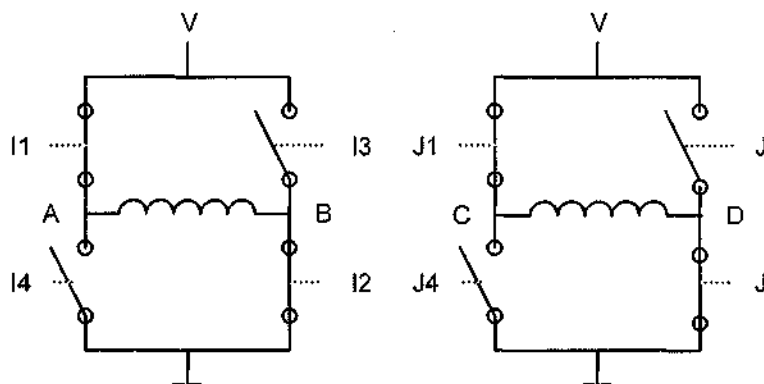


Figure 6 – Commutation du courant dans les bobines d'un moteur pas à pas

Les commutations doivent être réalisées dans un ordre préétabli. Ces commutations peuvent être assurées soit par le logiciel du système micro-informatique, soit par des circuits intégrés spécialisés.

Si les commutations sont réalisées directement par le système micro-informatique, le programme correspondant est fortement dépendant des ressources du microprocesseur implanté dans le système. Le programme et le schéma du circuit de commande sont difficilement utilisables dans une autre application.

Par contre, la solution réalisée à partir de circuits intégrés spécifiques est préférable car elle est indépendante du système micro-informatique. Elle permet de développer une carte de commande sous la forme d'une fonction indépendante du projet dans lequel elle est insérée.

Le schéma fonctionnel de la carte réalisant la fonction de commande d'un moteur pas à pas est donné sur la figure 7.

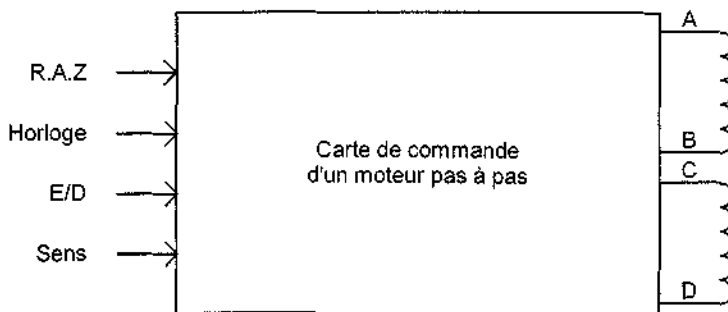


Figure 7 – La fonction commande d'un moteur pas à pas

Les signaux à envoyer sur la carte de commande sont :

- remise à 0 de la carte (RAZ) ;

- mode de fonctionnement (pas entier ou demi pas) (E/D) ;
- sens du déplacement (Sens) ;
- avance d'un pas (Horloge).

La fonction ainsi réalisée est indépendante du système micro-informatique. La carte peut être aussi bien commandée par un micro-ordinateur que par un microcontrôleur. Pour actionner le moteur, il suffit de choisir le mode de fonctionnement (demi pas ou pas entier), le sens de rotation et d'envoyer un nombre de coups d'horloge égal au nombre de pas.

2 Décomposition d'un système micro-informatique

Sur un ordinateur, le clavier est utilisé pour saisir des commandes ou des données et l'écran est utilisé pour afficher le résultat d'opérations ou comme interface entre l'opérateur et la machine. Pour simplifier l'utilisation de ces deux composants, les informaticiens ont décrit leur fonctionnement à l'aide de fonctions standardisées. Tous les logiciels de programmation reconnaissent le clavier comme une entrée standard et l'écran comme une sortie standard.

Sur un système micro-informatique, spécifique à un projet, cette notion d'entrée et de sortie standard n'existe plus. La gestion du clavier de l'application est spécifique au projet ; il en est de même pour l'affichage des résultats.

A défaut de fonctions standardisées, il est fortement recommandé de rechercher des solutions génériques de gestion d'un clavier et d'un système d'affichage. Cet aspect est présenté dans la suite de ce chapitre.

2.1 Analyse de la gestion d'un clavier

Analysons le cas de l'étude de l'interface homme-machine de la chambre de fermentation citée en exemple au chapitre 13.

L'utilisateur, en l'occurrence un boulanger, doit pouvoir intervenir sur la programmation de la chambre de fermentation sans aucune connaissance en informatique. Il doit pouvoir agir sur la machine en appuyant sur des touches représentant la fonction à programmer, par exemple une touche décongélation, une touche cuisson, etc.

La résolution de ce problème se ramène à l'étude de la gestion d'un clavier. En premier lieu, il faut réaliser un bilan du nombre de touches désiré par le concepteur et ensuite utiliser la méthode la mieux adaptée à la résolution du problème. On examine plusieurs méthodes de décodage et on montre l'intérêt de retenir une solution générique.

Examinons comment est agencé un clavier. Vu par l'utilisateur, un clavier se présente sous la forme de touches équivalentes à un ensemble de boutons-poussoirs. Un bouton-poussoir permet d'établir un contact entre deux lignes électriques quand l'utilisateur appuie sur le bouton. Dans le cas d'un clavier à 16 touches, il y a donc l'équivalent de 16 boutons-poussoirs chargés d'établir des contacts entre 16 lignes d'entrées et 16 lignes de sorties. Cette technique est très rarement utilisée car elle nécessite un trop grand nombre de fils de câblage. Les fils d'entrées sont généralement reliés à la masse, mais il reste néanmoins 17 fils de connexions. La gestion d'un tel clavier par un système informatique est extrêmement simple. Il suffit de relier chaque fil de liaison à une entrée du système informatique et de tester si cette entrée est à 0 ou à 1. Sur cet exemple, dont le schéma est donné sur la figure 8, on voit que l'appui sur un bouton-poussoir envoie une information 0 lorsque la ligne commune est reliée à la masse ; les sorties au repos sont à l'état 1.

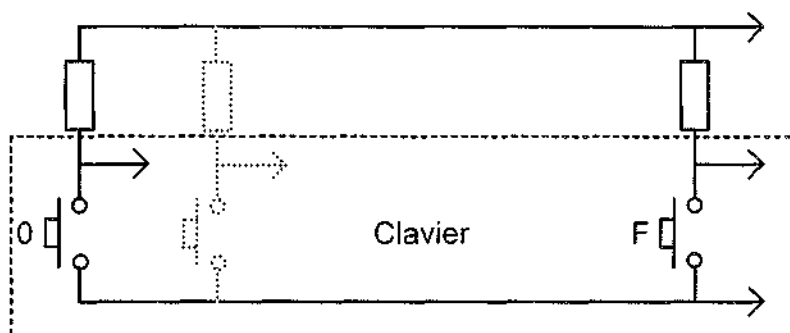


Figure 8 – Clavier non matricé

La technique de câblage la plus communément utilisée consiste à agencer l'ensemble des boutons-poussoirs sous la forme d'une matrice 4 par 4. Cet agencement est représenté sur la figure 9. Dans ce mode de fonctionnement, l'appui sur un bouton-poussoir vient mettre en contact le fil d'une ligne avec le fil d'une colonne. Ce type de clavier ne nécessite plus que 8 fils de liaison. La gestion informatique d'un tel clavier est moins immédiate que dans le cas précédent.

En procédant avec méthode, on peut dégager une procédure générale de traitement du décodage de la touche enfoncée. Pour détecter qu'une touche est enfoncée, il faut envoyer une information 0 sur les lignes et rechercher sur quelle colonne on retrouve cette information. Au repos, les colonnes sont tirées vers la tension d'alimentation à travers des résistances ; elles sont toutes à l'état 1.

Pour détecter quelle est la touche appuyée, il existe plusieurs méthodes de détection.

Une méthode consiste à envoyer sur les lignes une information 0 et à lire les colonnes. Examinons les résultats donnés par cette méthode sur le décodage des touches du clavier représenté sur la figure 9. Si, par exemple, la touche 2 est enfoncée, on va lire l'information 0 sur la colonne 3. Puis on envoie l'information 0 sur les colonnes et on vient lire les lignes. Dans ce cas, on va lire un état 0 sur la ligne 1. Cette procédure permet de détecter que la touche enfoncée est à la croisée de la ligne 1 et de la colonne 3 ; on a détecté l'appui de la touche notée 2. Cette méthode dite de retournement des lignes et des colonnes est astucieuse et présente l'avantage de générer peu de codes.

	lignes		colonnes	
	4	3	2	1
écriture des lignes	0	0	0	0
lecture des colonnes	1	0	1	1
lecture des lignes	0	0	0	1
lecture des lignes	0	0	0	0

Elle présente toutefois l'inconvénient d'être restrictive à un système micro-informatique possédant des lignes d'entrées et de sorties bidirectionnelles. Elle est contraire à l'esprit de gestion de projet car elle n'est pas suffisamment universelle pour être utilisée couramment.

Une deuxième méthode consiste à envoyer successivement un état 0 sur les lignes et à lire l'information sur les colonnes. Par exemple, si on a envoyé un état 0 sur la ligne 3 et si on lit un état 0 sur la colonne 2, on a détecté l'appui sur la touche 9. Pour gérer ce clavier, on a besoin de 4 fils de sortie et de 4 fils d'entrée. Dans le cas précédent, il fallait 2 fois 4 fils utilisables aussi bien en entrées qu'en sorties. Les ressources matérielles du système micro-informatique, pour traiter cette deuxième méthode, sont moins restrictives que dans le cas précédent.

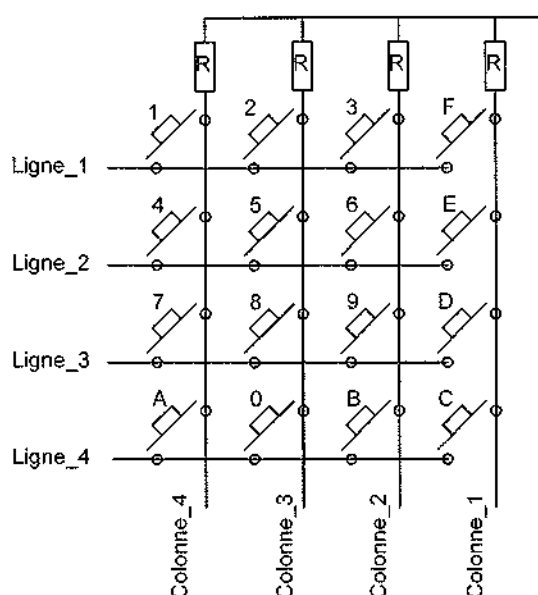


Figure 9 – Clavier matricé

L'algorithme simplifié du traitement de la gestion de ce clavier est le suivant :

```

faire n=1
tant que n ≤ 4
envoyer un état 0 sur la ligne n
lire les colonnes
faire n = n+1

```

Pour traiter cet algorithme, il existe plusieurs méthodes. La plus universelle, et donc la meilleure en gestion de projet, est celle consistant à mettre les valeurs à envoyer dans une table. Il suffit d'envoyer successivement les valeurs enregistrées dans la table sur les lignes de commande et de comparer le résultat obtenu sur les colonnes aux valeurs enregistrées dans une deuxième table. La valeur de la touche décodée est placée dans une troisième table. Les valeurs à placer dans les 3 tables sont données sur le tableau 1.

Table 1	
Sorties	
n°	Lignes
1	1110
2	1110
3	1110
4	1110
5	1101
6	1101
7	1101
8	1101
9	1011
10	1011
11	1011
12	1011
13	0111
14	0111
15	0111
16	0111

Table 2	
Entrées	
	Colonnes
	1110
	1101
	1011
	0111
	1110
	1101
	1011
	0111
	1110
	1101
	1011
	0111
	1110
	1101
	1011
	0111

Table 3	
Affectation	
	Touches
	F
	3
	2
	1
	E
	6
	5
	4
	D
	9
	7
	8
	C
	B
	0
	A

Tableau 1 – Table de décodage clavier

On peut remarquer qu'avec cette méthode il est très facile de modifier l'affectation des touches. Par exemple, l'information « lignes = 1011 » associée à l'information « colonne = 0111 » permet de détecter la mise en contact de la ligne 3 et de la colonne 4. Cette information correspond à la ligne 12 des tables 1 et 2, il suffit de pointer sur le même numéro de ligne de la table 3 (tableau 1) pour avoir l'information de la touche décodée. L'information à placer dans la table 3 (tableau 1), c'est à dire la valeur de la touche à décoder, dépend de la sérigraphie portée sur la touche. La table 3 (tableau 1) est facile à modifier en fonction des repères portés sur les touches des claviers.

On peut montrer tout l'intérêt de la méthode en reprenant le cas de la chambre de fermentation pour pâte à pain. Sur ce projet l'utilisateur avait besoin de 24 touches sur la face avant de son appareil.

Pour résoudre ce problème, il suffit d'ajouter deux lignes de commandes et de conserver les quatre colonnes. La seule modification à effectuer au programme consiste à éditer de nouvelles tables 1, 2 et 3 (tableau 2). Le balayage de la table étant effectué en déplaçant un pointeur du début à la fin de la table, le programme est indépendant de la longueur de la table.

	Table1		Table 2		Table 3
	Sorties		Entrées		
n°	Lignes		Colonnes		Touches
1	111110		1110		F
2	111110		1101		3
..	..		..		..
23	011111		1011		M
24	011111		0111		N

Tableau 2 - Table de décodage d'un clavier 24 touches

Cette solution, immédiate, n'était cependant pas compatible avec le reste du projet car il ne restait pas de fil de commande disponible sur le système micro-informatique pour passer de 4 lignes à 6 lignes.

Pour résoudre ce petit problème, il suffit d'insérer entre les 4 fils de sortie et le clavier un circuit intégré effectuant un décodage de l'information obtenue sur trois fils vers huit sorties différentes. Ce circuit est un décodeur 3 vers 8. On utilise seulement 6 sorties du décodeur pour attaquer le clavier. Le schéma de ce montage est donné sur la figure 10.

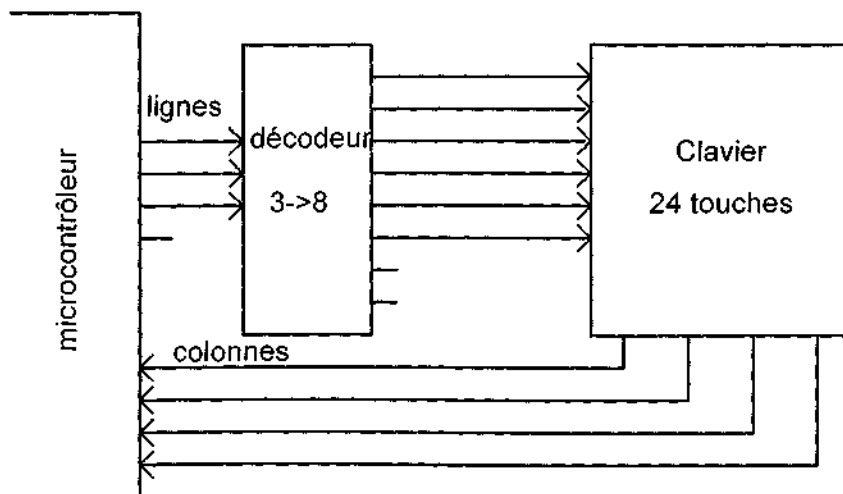


Figure 10 - Gestion d'un clavier à 24 touches

Le programme de gestion de ce nouveau clavier reste intégralement le même. La seule modification à effectuer par rapport au cas précédent consiste à éditer une nouvelle table en binaire naturel. Les informations de la table 1 (tableau 3) sont toujours envoyées successivement sur les lignes de commande. Les informations reçues sur les colonnes sont comparées à celle de la table 2 (tableau 1) ; quand il y a égalité, la valeur de la touche décodée est lue dans la table 3 (tableau 3). Le programme reste en tout point similaire à celui du décodage du clavier 16 touches.

Table 1		Table 2		Table 3	
Sorties		Entrées			
n°	Lignes	Colonnes		Touches	
1	000	1110		F	
2	000	1101		3	
—	—	—		—	
23	110	1011		M	
24	110	0111		N	

Tableau 3 – Table de décodage clavier

Sur cette description de la gestion d'un clavier, on a essayé de montrer l'intérêt de rechercher des solutions générales au détriment d'une solution trop restrictive. Avec cette méthode de travail, il est possible de quantifier le temps à passer pour adapter le décodage à n'importe quel cas de figure.

Lorsque l'on possède le programme de gestion d'un clavier tel qu'il est décrit précédemment, le travail à effectuer pour éditer la documentation de gestion d'un nouveau clavier et la compilation du nouveau programme peut être estimé à une seule journée de travail.

Ce travail consiste essentiellement :

- à modifier les tables de décodage ;
- à documenter le nouveau programme en associant les lignes et les colonnes à des entrées et des sorties physiques du système micro-informatique ;
- à éditer les nouveaux tableaux et fournir un plan de câblage du nouveau système.

2.2 La gestion d'un afficheur

On vient de traiter dans la section précédente le problème de l'interface homme machine réalisé par l'intermédiaire d'un clavier. Un point tout aussi important est le retour de l'information fournie sur un afficheur. Ce problème concerne tous les types d'appareils programmables. Sur la plupart des appareils programmables, il s'agit de gérer un ensemble de questions et de réponses. Les questions sont posées sous la forme d'interrogations proposées par le concepteur à l'utilisateur. Les réponses sont fournies par l'utilisateur. Pour que le système soit convivial, il est très important que l'utilisateur puisse modifier à sa guise la valeur des réponses, c'est à dire qu'il puisse revenir sur la question précédente s'il a un doute sur sa réponse. Chacun a pu rencontrer des systèmes programmables trop complexes à programmer pour un non initié. C'est le cas de nombreux magnétoscopes par exemple. On va analyser le principe du dialogue sur les produits présentés ci-dessous.

L'automate de coloration a pour fonction principale de tremper des coupes histologiques placées sur des lamelles en verre dans des bains de colorant ou de fixateur. Les colorants et les fixateurs sont placés dans douze bacs en verre disposés sur un plateau tournant. Ils sont repérés par leur position de un à douze.

La chambre de périfusion programmable a pour fonctions principales la programmation des temps de périfusion de cultures cellulaires et la régulation de leur température à 37°C. Les cultures cellulaires sont placées dans quatre boîtes de Pétri et sont périfusées en continu grâce à un système d'aspiration. Chaque culture peut recevoir un milieu nutritif ou un milieu de stimulation. L'automatisme permettant de contrôler la périfusion des cultures cellulaires consiste à piloter dans le temps un ensemble de huit micro-électrovannes.

Une variante de ce système est le « débiteur de solution ». Sur cet appareil les cultures cellulaires sont placées dans une seule boîte de Pétri et elles peuvent être soumises à la stimulation de plusieurs milieux.

Le compteur de poissons a pour fonction principale de détecter le passage de poissons à travers un capteur tubulaire placé dans une échelle à poisson. Il enregistre l'heure et le sens de passage des poissons ainsi que leurs tailles.

La fonction principale des produits qui viennent d'être cités est totalement différente pour chaque automatisme. On peut cependant dégager un point commun au dialogue de la programmation de ces appareils. Pour cela il suffit d'analyser quelques lignes de dialogue concernant chacun de ces appareils.

La chambre de périfusion, le débiteur de solution constituent une gamme de produit consistant essentiellement à piloter dans le temps un ensemble d'électrovannes et à effectuer des régulations de température. Il est facile d'imaginer que, dans ce cas, le type de dialogue concernant cette gamme de produit est tout à fait identique.

Prenons comme exemple le cas de la chambre de périfusion. Cet appareil permet de périfuser en continu des cultures cellulaires placés dans quatre boîtes de Pétri. Chaque culture peut être soumise à un milieu nutritif appelé « Blanc » ou à milieu de stimulation appelé « Test ». La programmation de ce système consiste à entrer des durées de périfusion, Blanc ou Test, pour chacune des quatre boîtes. Les informations sont affichées sur un afficheur à cristaux liquides de deux lignes de vingt caractères non accentués. A la mise sous tension de l'appareil, on affiche une suite de message de présentation. On affiche ensuite des messages indiquant à l'opérateur les opérations qu'il a à effectuer (Figure 11). Par exemple, lorsque les électrovannes « TEST » sont ouvertes, l'opérateur peut placer les cathéters correspondants. Une fois que les cathéters « TEST » sont placés, il suffit de valider l'opération en appuyant sur la touche « étoile » et de continuer les opérations indiquées sur l'afficheur.

Placer les catheters Test, puis valider *
Placer les catheters Blanc, puis valider *

Figure 11 – Messages d'action.

Ensuite l'opérateur doit entrer les données de programmation. Par exemple il doit indiquer la valeur de la température, la durée de l'expérience sur la voie 1, etc. Il doit pouvoir modifier la valeur des caractères qui sont donnés en gras sur l'exemple de la figure 12.

Temperature : 37°C
Voie 1: BLANC 1:10TEST 1:04

Figure 12 – Messages d'interrogations

Dans le cas de l'automate de coloration l'opérateur doit pouvoir indiquer quel est l'ordre de passage dans les différents bains. Pour chaque bain, il doit indiquer en outre la durée de trempage. La figure 13 présente quelques pages d'affichage de cet automate.

Sequence n° : 1
valider avec *
1 Bac n° : 1
Duree : 12 mn ↓

Figure 13 – Automate de coloration

Le compteur à poissons est utilisé essentiellement par des sociétés de pêche pour effectuer des comptages de saumons dans des lieux de passage obligé. Le relevé des informations est assuré dans la plupart des cas par des gardes pêches. Ils n'ont pas à intervenir sur la programmation de l'appareil. Ils peuvent seulement consulter les informations mémorisées en utilisant les flèches du clavier pour faire défiler les informations.

A l'installation du compteur, il est nécessaire de configurer les paramètres de l'appareil. Cette opération est réalisée par un technicien. Il a accès à tous les paramètres par des menus déroulants. Les informations sont affichées sur un afficheur de deux lignes avec quarante caractères par ligne.

Gestion de l'heure
Entrer l'heure : 16 H 42 mn 05s ↓
Jour : 4 Date : 09
Mois : 11 Année : 96 valider avec *
Jeudi 9 Novembre 96
Il est : 16 H 42 mn 06 s

Figure 14 – Messages du compteur à poissons

La présentation de ces trois exemples permet d'analyser le fonctionnement du dialogue entre l'utilisateur et l'automate.

Le premier type d'affichage concerne l'envoi de messages d'information indiquant à l'utilisateur quelle opération il doit effectuer. Quand il a effectué cette opération, il peut passer à l'étape suivante en validant son action par l'appui sur une touche indiquée en clair sur l'afficheur.

Le deuxième type de message concerne la modification des paramètres de programmation. Pour que la programmation soit conviviale, il faut pouvoir se déplacer simplement d'une page d'affichage (de deux lignes) à une autre. Cette opération est effectuée à l'aide des flèches haut ou bas. A l'intérieur d'une page, il est intéressant à tout moment de pouvoir corriger une valeur. On se déplace sur les données à modifier à l'aide des flèches droite et gauche. Pour modifier une valeur, il suffit d'écrire par dessus. Les données modifiables sont indiquées en gras sur les exemples cités ci-dessus. Sur le système d'affichage, les données modifiables sont repérées par un curseur mobile et clignotant.

La voie choisie pour traiter le problème de l'affichage a été, dès le premier projet, de développer un logiciel s'appliquant aux cas de figure les plus courants. On a développé un programme permettant de gérer des afficheurs de deux à quatre lignes avec seize à quarante caractères par ligne.

Le texte à afficher correspondant au dialogue avec l'utilisateur est placé en mémoire. Pour repérer le début du fichier, la fin d'une page ou un retour à la ligne on utilise les caractères normalisés du code ASCII. Un premier pointeur permet de pointer sur le texte à afficher.

Pour repérer l'emplacement des données insérées dans le texte, on utilise le caractère de substitution *SUB*. Un deuxième pointeur permet de pointer sur la zone de données. Chaque code *SUB* inséré dans le texte est ensuite remplacé par une donnée.

Pour afficher du texte et des données, il faut :

- positionner un premier pointeur sur le texte,
- positionner un deuxième pointeur sur les données,
- appeler le sous programme d'affichage.

Le sous-programme d'affichage est indépendant du type d'afficheur (dans les limites du choix initial) et du nombre de données. Le module de programme a été écrit pour la chambre de périfusion et il a été amélioré sur les exemples suivants.

On donne sur le fichier qui suit un exemple de texte à écrire dans le programme pour afficher le dialogue de la figure 14. Sur cet exemple les codes FCC ou FCB sont spécifiques du langage informatique propre à un microprocesseur donné (assembleur Motorola). Chaque ligne est commentée pour permettre au lecteur de suivre les informations données dans cet exemple. Les codes SOH, DTX, ETX, EOT, CR sont des codes normalisés du code ASCII. Les codes SUB permettent de repérer l'emplacement des données. Le module de programme de gestion de l'affichage des questions et des réponses vient gérer l'ensemble de ces repères. En procédant de cette façon, la modification des questions et de l'emplacement des réponses consiste à éditer des fichiers similaires à celui donné ci-dessous.

TEXTE_1:

FCB	SOH	début du fichier
FCB	DTX	début d'une page
FCC	'Gestion de l'heure'	texte
FCB	CR	retour à la ligne
FCC	'Entrer l'heure :'	texte
FCB	SUB,SUB,'H',SUB,SUB	données
FCC	'mn'	texte
FCB	SUB,SUB,'s'	données et texte
FCB	ETX	fin de page
*page suivante		commentaire
FCB	DTX	début de page
FCC	'Jour :'	texte
FCB	SUB	donnée
FCC	'Date :'	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCB	CR	retour à la ligne
FCC	'Mois :'	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCC	Annee :	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCB	ETX	fin de page
FCB	EOT	fin de fichier

En utilisant cette méthode d'affichage, le temps à passer pour écrire l'interface utilisateur d'un automate quelconque est maintenant très réduit et facilement quantifiable. Le temps de développement dépend presque essentiellement de l'écriture des questions qui

doivent apparaître sur l'afficheur. Ces questions sont à mettre au point avec le demandeur.

Par exemple, avec cette méthode, pour développer le dialogue d'un préleveur d'échantillons sur une station d'épuration il a fallu environ deux semaines de travail pour éditer une cinquantaine de questions.

3 Décomposition d'un système mécanique

Tous les projets basés sur la micro-informatique font appel aussi à des éléments de mécanique. C'est le cas pour les automates où la partie opérative est actionnée par des moteurs et qui mettent en jeu des éléments mobiles.

C'est aussi le cas pour n'importe quel montage électronique qui doit être fixé dans un boîtier servant de support aux cartes électroniques mais aussi à d'autres éléments tels que : un clavier, un afficheur, un connecteur, etc.. Cette mise en boîte peut poser des problèmes car elle n'est considérée ni comme de la mécanique, ni comme de l'électronique. Sur un appareil produit en petite série, on ne peut pas non plus faire appel à un designer. Pour des petites séries, il est possible d'utiliser des coffrets standard sur lesquels il ne reste qu'à effectuer des découpes. Il faut cependant ne pas négliger cette mise en boîte car elle apporte le fini indispensable à un projet.

Il est des cas où la mécanique peut être sous-traitée. On a vu que le mididanse comportait un support métallique permettant de positionner les émetteurs infrarouges². Ce support est constitué de deux éléments principaux, un tube et un socle en aluminium anodisé. Les délais de fabrication sont donnés par les sous-traitants. Ils concernent le détournage des socles et l'anodisation des pièces. Il est aisé d'intégrer ces délais dans un planning « PERT ».

On a vu dans les exemples d'électronique précédents l'utilité de dégager des solutions génériques. Dans le cas de système mécanique, il est possible d'obtenir le même type de démarche. On peut citer le cas des tables trois axes qui sont presque devenues un composant mécanique. Elles sont utilisées pour effectuer des opérations de perçage, de détournage ou de positionnement de pièces diverses. Les déplacements sur les trois axes sont généralement commandés par des moteurs pas à pas ou des moteurs à courants continus couplés à un codeur angulaire. Sur les trois exemples cités, les déplacements sur les axes X et Y sont identiques. Seule l'opération suivant l'axe Z est différente. Une équipe de projet possédant une bonne maîtrise du système de perçage automatique pourra aisément se lancer dans l'étude d'un automate de placement de composant CMS.

On a cité au paragraphe 2 l'étude d'un automate de coloration. Le mécanisme de cet automate est constitué d'un bâti horizontal en tube soudé et d'un bâti vertical. Le bâti horizontal reçoit un plateau tournant entraîné par un moteur à courant continu. Les bacs de trempage sont positionnés sur ce plateau. Le bâti vertical sert de support au mécanisme de montée et de descente du panier contenant les objets à colorer. Le schéma de cet automate est donné sur la figure 15. Un tel système de présentation de pièces à l'aide d'un plateau tournant peut être réutilisé sur d'autres appareils. C'est le cas, par exemple, du **calcimètre automatique**.

*Le **calcimètre automatique** est un appareil qui permet de mesurer le taux de carbonate dans des échantillons de sédiments. Ce taux est obtenu en mesurant la pression et la température du dégagement gazeux après réaction à l'acide chlorhydrique.*

²Voir chapitre 3, p. 24.

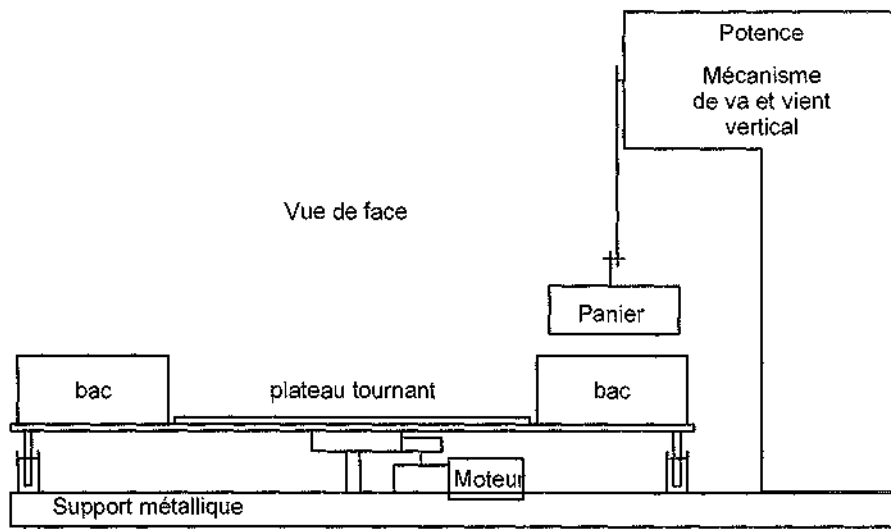


Figure 15 – Schéma de l'automate de coloration

Pour ce type d'appareil il faut présenter à tour de rôle 20 flacons, contenant des sédiments, devant un support. Il faut ensuite boucher le flacon, injecter de l'acide chlorhydrique et enregistrer la montée en pression du dégagement gazeux.

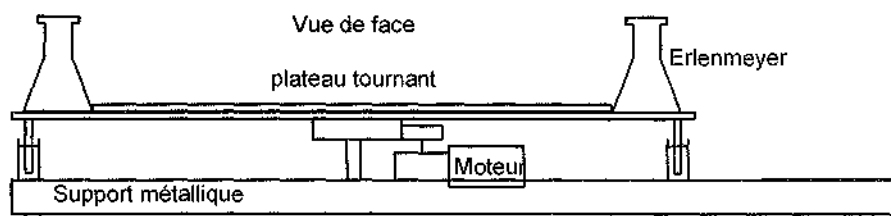


Figure 16 – Plateau tournant du calcimètre automatique

La partie concernant le plateau tournant est représentée sur la figure 16. On peut voir qu'elle est en tout point similaire à celle de l'automate de coloration. Il suffit d'adapter l'échelle du plateau à celle du nouveau produit. Le nouveau plateau doit pouvoir recevoir vingt flacons de quatre centimètres de diamètre. La puissance du moteur est adaptée à la nouvelle charge.

La potence amovible est conçue pour recevoir un électro-aimant qui assure la fermeture du flacon et pour recevoir un système d'injection de l'acide chlorhydrique.

Ce dernier exemple montre une fois de plus tout l'intérêt d'adopter des solutions génériques aussi bien dans la conception de systèmes électroniques ou micro-informatiques que de systèmes mécaniques.

Au fil des projets, le concepteur pourra se constituer une puissante base de données qui lui permettra d'accroître sa productivité au niveau de la conception. Pour être efficace, l'adoption de solutions génériques doit s'appuyer très largement sur les moyens informatiques modernes tels que la conception assistée par ordinateur.

Chapitre 15

Concevoir à l'aide de l'outil CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) est devenu l'outil incontournable de la gestion de projets industriels. Les projets décrits dans cet ouvrage ont tous été réalisés en utilisant des outils de CAO électronique ou mécanique. Cette liste n'est pas limitative. Il existe des outils de CAO dans tous les domaines, y compris pour la rédaction de documents ; dans ce cas les outils portent le nom de traitement de texte ou de publication assistée par ordinateur (PAO).

1 La conception assistée en électronique

On a vu dans la décomposition d'un projet électronique qu'il était très utile de rechercher des éléments sous la forme de solutions génériques ou de fonctions. L'informatique et plus particulièrement la CAO vont permettre de développer efficacement ce type de solution et de les gérer. L'intérêt de l'outil informatique est sa flexibilité. Il est très facile de récupérer un document existant et de le faire évoluer vers un nouveau produit.

La conception d'une carte électronique doit être menée avec les techniques de gestion de projet. Dans ce mode de conception, on cherche à développer les éléments du projet en parallèle. Au fil des années, les outils de CAO se sont adaptés à ce concept. On est passé d'une structure de conception purement verticale à une structure de conception plus horizontale que les américains appellent le « *concurrent engineering* » (ingénierie simultanée).

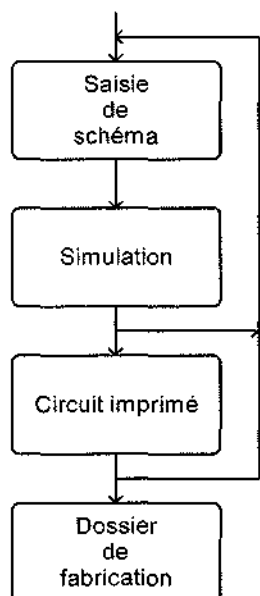


Figure 1 – Conception verticale.

En conception verticale (figure 1) il faut commencer par saisir le schéma, le valider par des simulations avant de passer à la réalisation du circuit imprimé. En cas d'erreur en cours de route, il est nécessaire de repasser par toutes les étapes. Avec ce type de structure, il est très difficile de travailler à plusieurs sur un même projet.

En conception horizontale (figure 2) ou « concurrent engineering », il est possible de modifier partiellement le schéma à l'issu d'une simulation et de « rétroannoter » le schéma si les résultats de la nouvelle simulation conviennent. De la même façon, il est possible de commencer à travailler sur la conception du circuit imprimé sans que le schéma soit complètement validé. Avec ces nouvelles méthodes, il est assez commode de travailler à plusieurs sur un même projet.

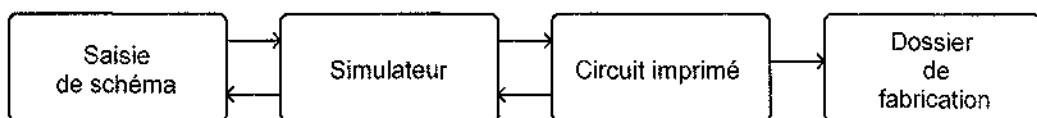


Figure 2 – Conception horizontale

1.1 Le « display manager »

La complexité d'un ensemble électronique est telle que pratiquement tous les logiciels de conception électronique intègrent un logiciel de gestion de projet. Ces logiciels permettent de structurer la conception de l'ensemble électronique sous une forme arborescente similaire à un organigramme technique. Le « display manager » permet de gérer correctement les fichiers de l'ensemble des intervenants sur un même projet. Il maintient à jour les liaisons entre les fichiers d'un projet unique.

1.2 La saisie de schéma

De la même manière que les machines à écrire ont disparu des secrétariats au profit d'ordinateurs équipés de traitement de texte, les tables à dessin ont disparu des bureaux d'études de conception électronique au profit d'ordinateurs équipés de saisie de schéma. Il n'est plus envisageable de dessiner un schéma autrement qu'à l'aide d'un outil informatique. Le schéma est construit à partir de composants modélisés de la bibliothèque. Le concepteur peut assembler ces composants selon ses besoins et spécifier la valeur des composants paramétrables (valeur des résistances, des condensateurs, etc.). Le logiciel permet de vérifier la syntaxe associée aux différents symboles du schéma et d'effectuer quelques vérifications sur les connexions électriques.

La saisie de schéma permet aussi d'encapsuler un schéma dans un bloc fonctionnel, de le vérifier et de l'archiver pour l'utiliser ultérieurement comme un composant. Tous les schémas peuvent facilement être modifiés et remis à jour. La saisie de schéma est donc l'outil de base de la CAO électronique.

Un bon logiciel de saisie de schéma va permettre au fil des projets de constituer une bibliothèque de schémas qu'il sera possible d'adapter rapidement à d'autres projets. On retrouve ici les éléments de la catégorie 2 et 3 de l'organigramme technique décrits au chapitre 13. Il est possible, par exemple, de constituer une bibliothèque de schémas d'alimentations linéaires ou à découpages couvrant un grand nombre d'applications. Si la bibliothèque est suffisamment fournie, il suffit d'adapter les tensions de sortie et la puissance de l'alimentation. Le schéma reste le même, il n'y a que la valeur de quelques composants à modifier pour adapter l'alimentation au projet en cours d'étude.

1.3 Les outils de conception de système

En complément de la saisie de schéma, on trouve de véritables outils de conception qui permettent de créer des schémas à partir de la description fonctionnelle d'un module électronique. A partir de cette description, le compilateur va proposer une solution, sous la forme d'un schéma, pour résoudre le problème posé. Ces outils sont très efficaces pour la conception d'ensembles logiques à base de circuits intégrés programmables ou non. Un même langage de description tel que VHDL (Very High Description Language) peut être employé quels que soient les circuits programmables utilisés, des PALs (Programmable Array Logic) aux ASICs (Application Specific Integrated Circuit). Malheureusement ces outils restent encore assez chers.

1.4 Les simulateurs

Les simulateurs permettent de vérifier le bon fonctionnement du schéma saisi par le concepteur. Les prototypes de circuits électroniques sont de plus en plus délicats à mettre en oeuvre en raison de la complexité de plus en plus grande des circuits intégrés. Les circuits intégrés modernes ont beaucoup de broches et ont des dimensions très réduites. Cette complexité rend les simulateurs de plus en plus utiles car ils évitent de développer des prototypes de définition câblés. Grâce à leur puissance, ils permettent en outre de simuler le fonctionnement d'un montage en tenant compte de la dispersion sur les caractéristiques des composants.

Les circuits intégrés complexes ne peuvent être conçus et testés que grâce aux simulateurs. Il est hors de question de réaliser un montage électronique équivalent à un circuit intégré contenant des milliers de transistors. Il faut réaliser directement les prototypes sous la forme de circuit intégré. Le coût de réalisation de ces prototypes est tel qu'il vaut mieux les réussir du premier coup. Ces composants sont réservés aux projets très importants. Pour les projets plus modestes, l'utilisation de circuits intégrés spécifiques est tout à fait envisageable. Ces composants sont conçus avec des outils similaires à ceux utilisés pour réaliser les circuits complexes.

1.5 Les outils de conception de circuits imprimés

Les outils de conception de circuits imprimés permettent d'obtenir, à partir d'un schéma, le dessin du circuit imprimé et de l'implantation des composants. Ils apportent une assistance dans le placement des composants sur la carte et sur le routage des pistes. Le concepteur peut facilement optimiser l'implantation des composants en tenant compte des contraintes technologiques telles que les temps de propagation, les intensités de courant dans les pistes, etc..

En plus des aides apportées à l'opérateur, ils garantissent, à partir d'un schéma validé, d'obtenir un circuit imprimé dont les liaisons sont justes à 100%. C'était loin d'être le cas lorsque les circuits imprimés étaient dessinés à la main. Cette garantie justifie à elle seule l'utilisation de logiciels de conception de circuits imprimés.

Grâce à la grande souplesse d'utilisation de ces outils, il est possible de commencer à concevoir le circuit imprimé sans que le schéma soit finalisé. On peut donc adopter une véritable stratégie de gestion de projet. Une personne peut travailler sur la conception du montage et une autre sur la conception du circuit imprimé. Pour rendre le travail de conception du circuit imprimé efficace, il est tout de même nécessaire que le schéma utilisé soit proche du dessin final. Lorsque le schéma final est validé, il ne reste plus qu'à transmettre les modifications aux différents logiciels qui actualiseront, souvent en automatique, toutes les données sur le circuit imprimé définitif.

1.6 Les dossiers de fabrication

Le logiciel de fabrication est le dernier maillon de l'outil de CAO. En CAO électronique, il permet d'obtenir :

- les dessins des circuits imprimés et des découpes à effectuer ;
- les films de fabrication des circuits imprimés (sérigraphie de l'implantation des composants, vernis épargne, couches de cuivre, etc.) ;
- les fichiers de perçage (qui permettent de réaliser des perçages automatiques) ;
- les listes des composants avec les informations nécessaires à la fabrication telles que les valeurs, les références, la quantité par valeur, etc..

2 La conception assistée en mécanique

On retrouve en conception assistée par ordinateur en mécanique une méthodologie comparable à celle utilisée en conception assistée en électronique. L'outil de saisie de l'information est le module de dessin (2D) ou de conception (3D). Il est ensuite possible d'effectuer divers calculs de résistance des matériaux, d'encombrement, de cinématique.... Les simulateurs permettent de visualiser par exemple la déformation de pièces soumises à des contraintes. Le dernier maillon de la chaîne (module FAO) permet de piloter directement les machines outils à commandes numériques.

2.1 Dessin assisté par ordinateur

L'outil de dessin assisté par ordinateur est devenu l'outil de base de la mécanique. Il permet de modifier rapidement un dessin existant et de faire appel à des pièces standard disponibles en bibliothèque. Sur de nombreux projets, l'activité d'un bureau d'études comporte en moyenne 70% de recopie de dessin et 20% de modifications. Seuls 10% de l'étude représentent un travail de création. On comprend bien, dans ces conditions, l'intérêt de disposer d'un outil qui permet d'effectuer une recopie rapide de dessins existants.

Les logiciels de dessin en deux dimensions (2D) remplacent avantageusement la planche à dessin pour réaliser des plans, des dessins industriels, des illustrations techniques des projets architecturaux, des logos, etc.. Dans le cas d'un dessin technique, ils permettent :

- de dessiner des entités géométriques de couleur ou de nature de traits prédéfinies ;
- d'utiliser une grille pour faciliter les tracés d'équerre ;
- de sélectionner des objets, de les déplacer, de les dupliquer ou de modifier leurs orientations ;
- d'habiller le plan (dimensions, textes, hachures...) ;
- de faciliter les modifications et les remises à jour.

Les logiciels de conception en trois dimensions (3D) donnent une image du produit étudié dans l'espace. Il est, par exemple, possible de visualiser une pièce sous différents angles et d'avoir une meilleure image du produit à concevoir.

En CAO électronique, les logiciels 3D permettent de visualiser les cartes de circuits imprimés avec leurs composants et d'obtenir toutes les côtes d'encombrement. Pour obtenir ce résultat, chaque composant de la bibliothèque est associé à un fichier de définition contenant ses côtes d'encombrement sur la carte (2D) et ses dimensions volumiques (3D). Ces logiciels sont une aide précieuse pour intégrer une carte électronique dans un boîtier exigu.

2.2 La conception assistée par ordinateur

Comme en conception électronique, les logiciels de conception assistée par ordinateur sont très utiles pour concevoir des systèmes sous une forme hiérarchisée. Ces logiciels sont utilisés pour effectuer une conception ascendante à partir de pièces et de symboles des bibliothèques. Inversement, ils permettent de manipuler des pièces assemblées comme un objet et d'en effectuer une décomposition descendante jusqu'à la définition précise des composants. Face à ce type de conception ascendante et descendante, de nombreux outils s'orientent vers une conception d'ingénierie simultanée beaucoup mieux adaptée au travail d'équipe.

Les outils de simulation interviennent dans l'analyse du comportement des pièces soumises à des contraintes mécaniques. De cette façon, il est possible de tester des pièces sans les avoir encore fabriquées.

Quelle que soit la performance des systèmes, la communication entre eux et l'accessibilité aux données techniques sont fondamentales. Les logiciels sont modulables en fonction des spécialités des utilisateurs (du concepteur au fabricant en passant par le mécanicien) regroupés dans un environnement projet.

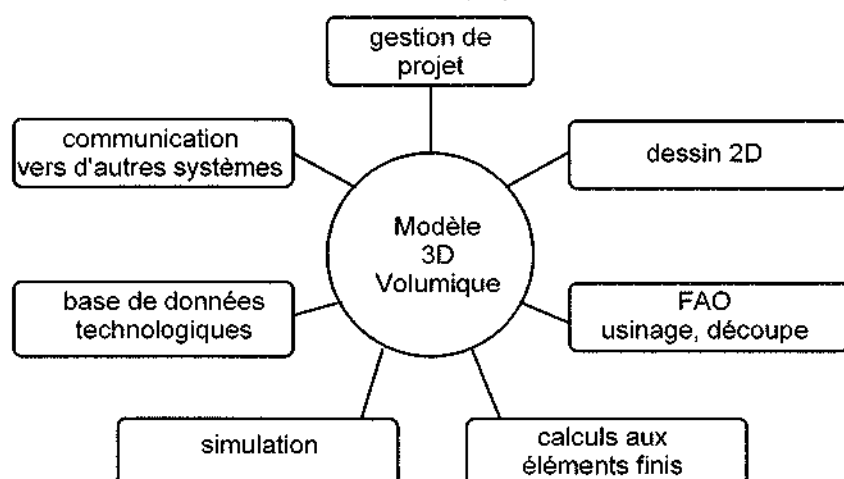


Figure 3 – Structure d'un système de CAO-CFAO

2.3 La fabrication assistée par ordinateur

Le dernier maillon de la chaîne est constitué des logiciels d'aide à la fabrication. A partir de la géométrie tridimensionnelle ou des dessins 2D, on obtient les éléments nécessaires à la programmation d'usinage, par exemple les points et contours définissant les positions et trajectoires d'outils. L'élaboration de la gamme d'usinage est alors facilitée si les données techniques relatives aux outils, aux machines ou aux matériaux des pièces sont disponibles. La simulation permet de vérifier et de corriger le programme d'usinage préparé. Il est ensuite transféré vers l'armoire de commande et traduit en langage machine. La pièce peut alors être réalisée, opération après opération, par l'exécution de ce programme. Suivant la complexité de la pièce et les possibilités des machines on parlera d'usinage 2 axes, 3 axes ou 5 axes.

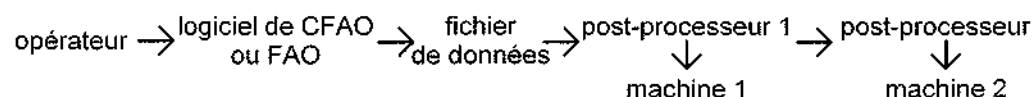


Figure 4 – Exemple de structure d'un système de FAO

3 La documentation technique

La documentation technique constitue un maillon essentiel dans la conception et la vie d'un projet technique. La conduite d'un projet requiert la participation de nombreux acteurs, la réalisation de nombreux travaux interconnectés ou non. En cours de projet, elle permet aux intervenants de faire le point sur l'avancement du projet. Il est très important d'éditer la documentation technique au fur et à mesure de l'avancement du projet technique. Grâce à la documentation, on peut véhiculer les données et les informations qui portent :

- sur la description technique du système ;
- sur la description des éléments ;
- sur la vie du projet lui-même et sur les différents événements qui le rythment.

La production de la documentation, sa structuration, son rangement, sa validation, sa conservation, sa disponibilité et sa diffusion conduisent à établir et définir des règles applicables à l'ensemble des acteurs impliqués dans le projet.

3.1 Quelques notions de base

En pratique documentaire, il est d'usage de différencier les moyens d'informations, les supports et les documents. Ils sont définis de la façon suivante :

- les supports qui permettent de véhiculer l'information, tels que un papier, un calque, un film, une disquette,
- les moyens qui sont constitués par l'ensemble des outils et des supports,
- les documents qui sont une synthèse des données et des supports.

En cours de projet, les documents sont destinés à des usages variés. Il est utile de préciser la nature du document édité. Ainsi on appelle :

- **documents pour approbation**, les documents soumis à un destinataire et devant recueillir son approbation ,
- **documents pour acceptation**, les documents devant être soumis au destinataire avant utilisation,
- **documents pour information**, les documents pouvant faire l'objet d'avis ou de commentaires de la part du destinataire ,
- **documents de référence**, les documents utilisés comme source et acceptés en tant que tels par les parties.

3.2 Règles et principes utiles

Une bonne gestion de la documentation repose sur quelques règles et principes concernant l'identification, les formats, la logique de production, la diffusion et la disponibilité.

Tous les documents émis au titre d'un projet doivent se conformer à un format et à une présentation unifiée. Le format A4 est le format généralement retenu. La présentation est souvent spécifique à chaque société. Les outils de gestion de documentation informatisés permettent d'obtenir facilement une présentation unifiée avec par exemple un logo de la société. La méthode consiste à utiliser des fichiers modèles qui servent de support unique à l'édition de tous les documents.

Un document important tel qu'un rapport d'avancement d'une partie du projet doit être organisé avec au minimum :

- une page de garde donnant les informations concernant l'identité de l'émetteur, l'identité du projet, la nature du rapport, la date d'émission ;
- une page présentant le sommaire ;
- le texte explicatif ;
- une page d'analyse documentaire .
- les annexes techniques.

Tous les documents doivent être identifiés par rapport au projet auquel il se rapporte et par rapport aux éléments de ce projet. Cette identification doit être sans ambiguïté. Elle constitue un lien avec les différents éléments identifiés à l'aide de l'organigramme technique.

Les documents doivent être émis en trois étapes.

- la première étape concerne la mise au point et la rédaction du document par le rédacteur qui peut être le principal intervenant sur une partie du projet ;
- la deuxième étape concerne la vérification des documents et l'approbation. Elle peut être faite par le chef de projet s'il n'est pas le rédacteur ;
- la troisième étape concerne l'autorisation et donc la diffusion du document. Cette troisième étape doit être réalisée par toutes les parties concernées par le projet.

3.3 La gestion de la documentation

L'expérience montre que la gestion de la documentation pose des problèmes aux intervenants de la gestion d'un projet car ils sont très souvent à la fois les acteurs de la technique et les rédacteurs obligés de cette documentation. Peu formés aux méthodes de la rédaction technique, ils négligent cette composante essentielle de la vie d'un projet. L'absence de documents spécifiques ou une documentation incomplète sur un projet précédent est après coup cruellement ressentie.

La gestion et la rédaction de la documentation sont à élaborer dès le démarrage officiel du projet.

Elle concerne la rédaction des spécifications techniques des besoins, la rédaction du cahier des charges fonctionnel, la rédaction des documents techniques, la rédaction des dossiers de fabrication. La saisie informatique de toutes ces informations dès le début du projet doit permettre de conserver ces informations et de les réutiliser à bon escient.

Les outils d'édition et de gestion documentaire, couplés à une CAO, sont une aide extrêmement précieuse à la rédaction de document et au maintien de leur mise à jour.

Les schémas électroniques, les résultats de simulation, les dessins de circuit imprimé ou les dessins de pièce mécanique peuvent être insérés de plusieurs façons dans un document.

Une première méthode consiste à effectuer un « copier-coller » entre le fichier source (un schéma, un dessin) et le fichier destination (le texte). Cette façon de procéder, couramment pratiquée, possède l'avantage d'être facile à mettre en oeuvre et de produire un document sous la forme d'un objet unique incluant le texte et les dessins incorporés. L'inconvénient majeur de cette méthode est que la mise à jour des objets incorporés dans le document doit être réalisée manuellement.

Une deuxième méthode consiste à incorporer les fichiers sources non plus en tant qu'objet mais en tant que lien vers l'objet. Seul le chemin d'accès vers l'objet est mémorisé dans le document de destination. Cette façon de procéder permet d'obtenir une mise à jour automatique du document dès qu'un objet est modifié. Cette méthode, puissante, est à manier avec précaution car, si un objet est détruit par inadvertance, il disparaît en même temps du document. Un autre inconvénient apparaît lorsqu'il est nécessaire de déplacer un fichier source ou un fichier destination car on modifie les chemins d'accès à ces fichiers. Seul un « display manager » adapté permet de gérer correctement ce problème.

Les systèmes informatiques montés en réseaux présentent un intérêt déterminant en gestion de projet en permettant une diffusion permanente et en temps réel de l'information auprès des intervenants. Par exemple :

- le chef de projet peut envoyer toutes les informations d'évolution du projet, simultanément à tous les intervenants, par l'intermédiaire du courrier électronique ;
- le rédacteur de la documentation technique peut obtenir tous les documents nécessaires à partir de la source et, donc, avec un risque d'erreur réduit.

Chapitre 16

Concevoir en programmation

Le temps de développement des logiciels d'un projet incluant de l'informatique industrielle représente une part de plus en plus importante de la réalisation. Ce fait s'explique simplement par le nombre croissant de circuits programmables implantés sur une carte électronique. Ces composants programmables sont une aide précieuse dans la gestion d'un projet piloté par un ensemble électronique. Ils permettent, à partir d'un système matériel figé, d'envisager une évolution des solutions développées. Il ne faut évidemment pas profiter de cette flexibilité pour laisser des imprécisions dans le cahier des charges. On doit au contraire utiliser la souplesse d'utilisation des circuits programmables pour conserver des solutions de repli. Un autre avantage d'une carte incluant des circuits programmables est qu'elle peut souvent être déviée de sa destination première et être modifiée pour tester des solutions logicielles sur une maquette de faisabilité d'un autre projet.

Dès les débuts de la programmation, les informaticiens ont senti la nécessité de décrire leurs programmes sous la forme d'organigrammes. L'organigramme décrit les tâches effectuées par le programme. Suivant l'importance du programme, l'informaticien va décrire son programme sous la forme d'un organigramme de plusieurs niveaux. Le niveau général décrit les grandes lignes de fonctionnement de son programme. Chaque tâche principale peut être ensuite décomposée de nouveau sous la forme d'un organigramme plus détaillé.

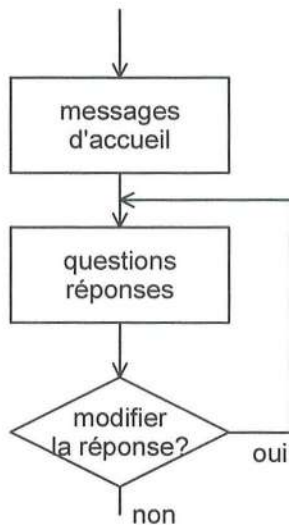


Figure 1 – Exemple d'organigramme.

La description d'un programme sous la forme d'un organigramme de plusieurs niveaux ressemble a priori à la description d'un système sous la forme d'un organigramme technique. Cependant, en y regardant de plus près, on note une différence essentielle.

Un système informatique, tout au moins pour les systèmes les plus simples, ne sait effectuer qu'une tâche à la fois. Les tâches sont effectuées les unes après les autres dans un ordre déterminé par le programmeur. L'organigramme d'un programme informatique est lié à cette notion de temps. La description s'effectue verticalement de haut en bas, le point de départ correspondant à la partie la plus haute.

Pour réaliser cette description temporelle, même sous une forme très générale, il faut déjà avoir effectué une bonne analyse des tâches que doit réaliser le programme. Ce n'est qu'à partir de cette description que le programmeur peut envisager une description plus détaillée des niveaux inférieurs. Cette approche est pénalisante en temps car la description hiérarchique ne peut être effectuée qu'un niveau après l'autre. Dans ces conditions, il est délicat d'organiser le travail de plusieurs personnes sur un même programme. On a représenté sur la figure 2 un organigramme décrit de façon séquentielle.

Une autre approche consiste à rechercher quelles seront les tâches à effectuer sans tenir compte de leur organisation dans le temps. Cette décomposition d'un programme informatique peut s'inspirer de la décomposition en organigramme technique. L'ensemble fédérateur est le programme principal. Chaque sous-programme doit être conçu comme un module autonome qui reçoit ou non des paramètres d'entrée et qui retourne ou non des paramètres de sortie. Par exemple le programme de gestion d'un clavier retourne la valeur de la touche enfoncée, il ne reçoit pas de paramètre d'entrée. Le programme de gestion d'un affichage reçoit des paramètres d'entrée, les valeurs à afficher, mais il ne retourne pas de valeur. Par contre, un sous-programme de conversion de données d'un code en un autre reçoit par exemple une valeur en binaire et retourne cette valeur en décimal.

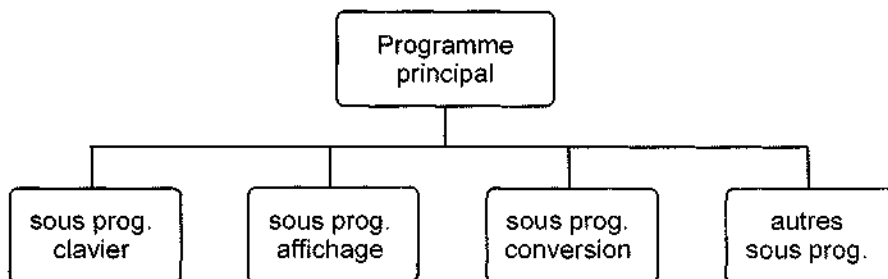


Figure 2 – Organigramme technique logiciel d'un système à base de microcontrôleur

Les tâches secondaires qui apparaissent en parallèle sur l'organigramme technique sont constituées par des sous-programmes ou des modules. La conception des modules indépendants peut être confiée à des personnes différentes.

1 Organigrammes

On vient de voir que l'organigramme technique permet de décomposer la partie informatique d'un projet en sous-programmes ou modules de programme qui peuvent être écrits et testés par des personnes différentes. La description du programme sous la forme d'un organigramme reste indispensable pour agencer le déroulement du programme dans le temps. Cette description ne peut être menée que par le porteur du projet de la partie informatique. Cette description fonctionnelle doit être indépendante de la technologie et donc du support exécutif.

La description du programme sous la forme d'un organigramme général permet au concepteur du programme de présenter les fonctions du programme au client. Il peut

servir de base de discussion entre le concepteur du programme et le client pour envisager des solutions en adéquation avec le projet.

Pour illustrer cette approche, on peut reprendre l'exemple du **compteur de poissons**. L'organigramme général est présenté sur la figure 3. Après avoir réalisé l'initialisation interne du microcontrôleur, on affiche des messages d'accueil puis on propose à l'utilisateur de modifier ou non les paramètres du compteur. Après cette phase de mise en service, le compteur est opérationnel et il est prêt à détecter le passage de poissons à travers le capteur. Le client désirait transmettre les données enregistrées par le compteur à un ordinateur personnel à travers une liaison série. Ce transfert prend quelques secondes et est effectué une à deux fois par semaine. Le microcontrôleur ne sachant effectuer qu'un nombre limité de tâches, une solution simple est de suspendre la mesure pendant la transmission série. Le système de mesure étant arrêté, on ne peut pas compter les poissons qui passeraient éventuellement pendant ce temps là.

Cette solution qui consiste à interrompre le programme pour effectuer la transmission des données est simple et peu coûteuse. Elle est de plus tout à fait compatible avec la précision du compteur. Une solution plus complexe ne se justifie pas et augmenterait le coût du développement. Il est aisé d'expliquer le fonctionnement du processus au client sur un organigramme simplifié même s'il n'est pas informaticien.

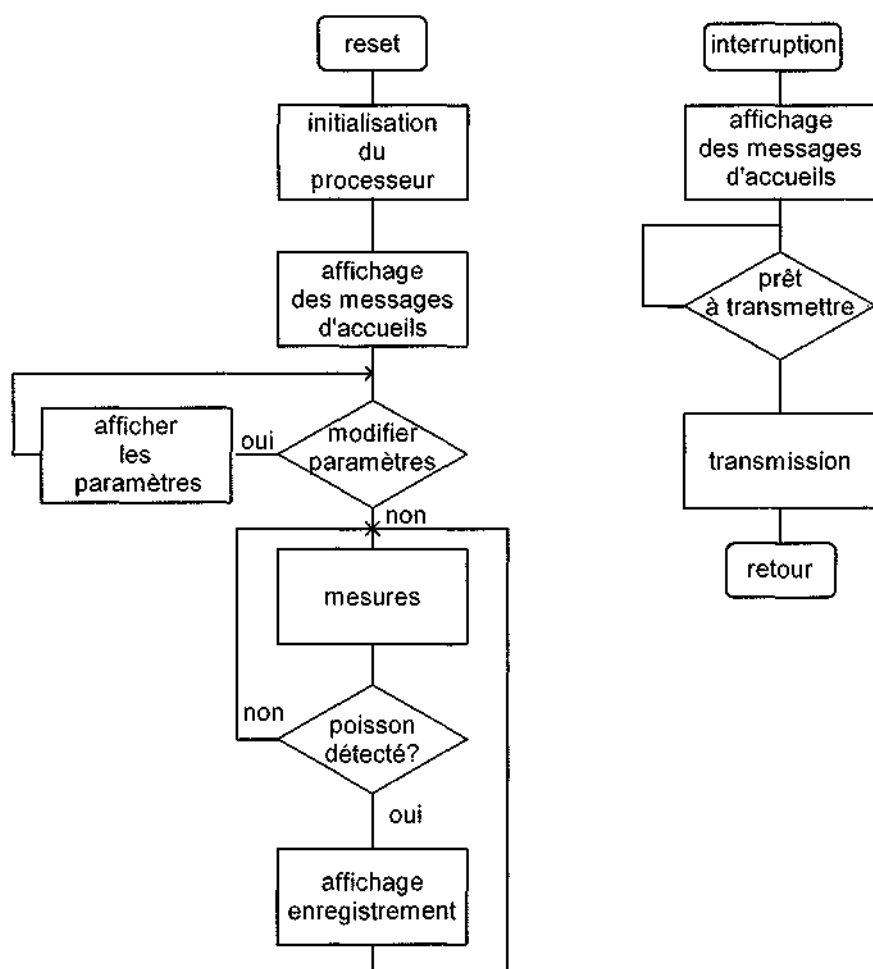


Figure 3 – Organigramme général d'un système : le compteur de poissons

L'utilisation d'outils de description de processus est aussi une aide précieuse pour décrire le séquençement des opérations que doit effectuer un système à base de

microcontrôleur. Une méthode efficace est de décrire le fonctionnement du processus sous la forme d'un Grafcet. Cette méthode se prête bien à la description du fonctionnement des automates. La plupart des automates industriels peuvent être programmés directement à partir de cette représentation.

Le Grafcet est une représentation normalisée du cahier des charges d'un automatisme logique. La méthode consiste à décrire le fonctionnement du processus sous la forme d'une suite de tâches, les *états*, et à indiquer quelles sont les actions, notées *transitions*, qui permettent de passer d'un état au suivant.

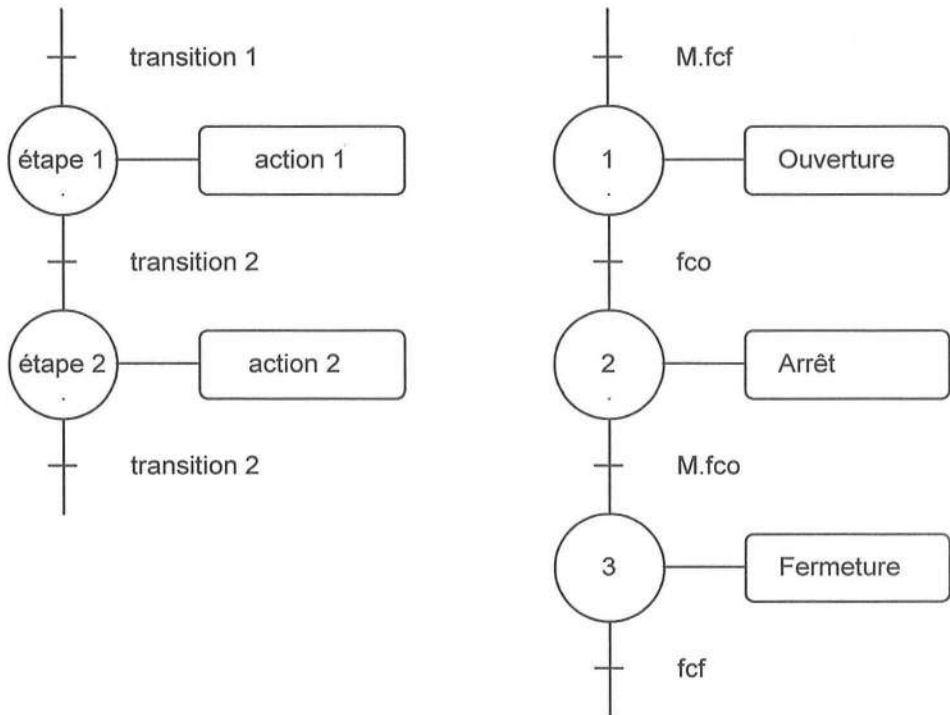


Figure 4 – Exemples de Grafcet

Pour passer du Grafcet au programme, il faut associer à chaque état un appel à un sous-programme qui exécute la tâche prévue. Les transitions correspondent à des changements d'états de variables. Il faut donc tester ces variables et agir en conséquence. Les microcontrôleurs qui possèdent des instructions de test de bit se prêtent bien à ce type de programmation. Chaque variable binaire, très souvent un contact ouvert ou fermé, est associée à un fil du microprocesseur et ce fil est associé à un bit.

2 Décomposition du programme

Lorsque le programme a été décrit sous une forme suffisamment détaillée, il faut passer à l'écriture du programme. Pour garder une bonne lisibilité aux programmes, on doit les décomposer en sous-programmes ou fonctions. Ces fonctions peuvent être incluses dans le programme ou écrites et testées séparément.

2.1 Sous-programmes

Pour améliorer la lisibilité d'un programme, surtout s'il est écrit en assembleur, il faut représenter les actions sous la forme d'un sous-programme.

Le nom du sous-programme doit être suffisamment explicite pour faciliter la lecture du programme.

Chaque sous-programme doit être commenté de façon détaillée pour expliquer sa fonction. Les variables reçues par le sous-programme doivent être clairement explicitées. Il en est de même pour les variables renvoyées par le sous-programme.

Chaque sous-programme ne doit faire que quelques lignes. Si un sous-programme est trop long, il doit être décomposé, à son tour, en sous-programme.

2.2 Modules

Lorsqu'un sous-programme présente un intérêt général (conversion de données, calcul d'une fonction mathématique, etc.), il peut être écrit sous une forme modulaire. Un module est un sous-programme qui est écrit et testé séparément. Une fois validé le module est archivé en bibliothèque et il est mis à la disposition de tous les utilisateurs.

La programmation modulaire est très utile pour structurer un programme très long. Elle permet de travailler sur des fichiers plus courts et plus faciles à manipuler. Elle permet aussi de travailler à plusieurs développeurs sur un même programme. Chacun est chargé de développer un module du programme. Lorsque les modules sont au point, ils sont liés ensemble par un logiciel spécifique, appelé *éditeur de lien*.

La décomposition d'un programme en module améliore sa lisibilité et sa maintenabilité. Sa programmation doit respecter les exigences de la programmation structurée :

- structuration des données (définir les différents objets utilisés dans le module et les différents types de données) ;
- structuration des traitements en utilisant les structures algorithmiques de base telles que la séquence, l'alternative (si... alors... sinon...), la répétition (tant que... faire... , répéter... jusqu'à ce que..., pour... variant de... avec un pas de... faire) ;
- documentation du travail (programmes soigneusement commentés).

3 Programmation en assembleur

La programmation en assembleur, c'est-à-dire dans un langage propre à un microprocesseur, reste très utile pour développer de petits programmes. Elle présente l'avantage de générer peu de codes. Les programmes occupent peu d'espace mémoire et présentent un temps d'exécution minimum. Ils sont tout à fait adaptés aux petits systèmes gérant des automatismes.

La programmation en assembleur est spécifique d'un système donné : c'est son inconvénient majeur. Un programme, écrit pour un microprocesseur donné, est entièrement à réécrire pour le faire exécuter sur un autre système. Un autre inconvénient de ce type de programmation est la faible lisibilité des programmes.

Il est toutefois possible de réduire ces inconvénients en structurant correctement les programmes et en utilisant un maximum de sous-programmes. Ces sous-programmes doivent être commentés et accompagnés d'un algorithme indépendant du type de microprocesseur utilisé. Il faut, comme en programmation modulaire, utiliser les descriptions algorithmiques de base. En procédant de cette façon il sera plus facile de suivre le déroulement du programme et de l'adapter à un nouveau processeur.

Cependant, pour rester efficace, il est conseillé de faire le choix d'une famille de microprocesseur et de développer tous les projets d'une société avec les composants de cette famille. En procédant de la sorte, le programmeur peut se constituer très rapidement un ensemble de sous-programmes qui, s'ils sont correctement archivés et

commentés, permettront de développer les programmes ultérieurs avec un maximum d'efficacité.

4 Programmation en langage évolué

Les programmes développés, destinés à être implantés sur des cartes à base de microprocesseur, peuvent être écrits en langage évolué. Par exemple le langage C est très utilisé en informatique industrielle. Les instructions sont normalisées. Le langage C permet de développer des programmes qui sont théoriquement indépendants de la cible sur laquelle ils sont implantés. Le compilateur, spécifique d'un microprocesseur, se charge d'effectuer la transcription en langage machine qui peut être implanté en mémoire.

Ce langage est extrêmement utile pour le programmeur dès qu'il est nécessaire d'effectuer des calculs car on peut faire appel aux fonctions mathématiques classiques et travailler sur des nombres en format fixe ou flottant.

Son principal inconvénient pour les petits systèmes est qu'il génère beaucoup plus de code qu'un programme équivalent écrit directement en assembleur.

L'intérêt de la portabilité, pour un système à base de microcontrôleur qui utilise surtout des ressources matérielles, reste limité. C'est le cas notamment pour les fonctions qui utilisent les fils d'entrée ou de sortie, les compteurs internes, les interfaces séries. Mais même dans ce cas il peut être intéressant de développer le corps du programme en langage C et d'adapter l'écriture des fonctions au type de microprocesseur utilisé.

Si par exemple un programme utilise une fonction « délai » recevant une variable « durée », le corps du programme est indépendant de la cible :

```
#DEFINE dure 10;
```

```
void delai();
```

```
main void()
```

```
{
```

```
int duree;
```

```
...
```

```
delai(duree);
```

```
...
```

```
}
```

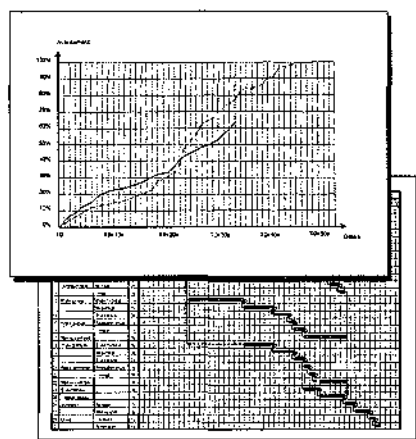
```
void delai(int x)
```

```
(dépend du matériel)
```

par contre l'écriture de la fonction dépend du matériel

Chapitre 17

Maîtriser les délais de réalisation



L'une des préoccupations majeures du chef de projet est de mener à bien dans le temps imparti la réalisation dont il a la charge. Le respect des contraintes calendaires est un élément important qui peut, dans certains cas, devenir prépondérant par rapport aux deux autres facteurs déterminants que sont les coûts et l'adéquation au besoin.

Quelle serait en effet l'utilité d'un stade destiné à l'ouverture des jeux olympiques, dont la construction serait achevée une semaine après le début des épreuves ? Il est vrai que la maîtrise des délais de réalisation n'est pas toujours aussi critique. Mais les effets n'en sont que plus insidieux et bon nombre de réalisations n'ont jamais atteint leurs objectifs faute d'avoir su bien gérer le temps et les moyens.

1 Les facteurs de risques¹

A une mauvaise maîtrise des délais, peuvent être associés une multitude de risques, tant techniques (non-satisfaction du besoin à une date impérative, travail bâclé parce que terminé dans l'urgence) qu'économiques (surconsommation de ressources, pénalités de retard). De nombreux facteurs peuvent être à l'origine de dépassements. Parmi ceux-ci :

- **l'évolution des attentes exprimées** par le demandeur, qui induit des charges supplémentaires et qui est due en général à une mauvaise spécification du besoin ;
- **une sous-estimation de la charge** de travail nécessaire pour réaliser chacune des activités ;
- **la sous-évaluation des difficultés** techniques ou organisationnelles associées à des situations nouvelles et à la mise en oeuvre de technologies encore mal maîtrisées ;
- **une mauvaise planification** dans l'enchaînement des tâches élémentaires, qui induit des délais d'attente et un sous-emploi des ressources ;
- **des aléas et incidents** d'origine interne ou externe, qui ne sont pas maîtrisables et perturbent la réalisation des activités ;
- **un mauvais suivi** en cours de réalisation qui retarde les décisions, introduit des délais d'attente et conduit de ce fait à des flux distendus.

Après signature du contrat liant le demandeur et le réalisateur, les prévisions, devenues contractuelles, sont difficilement modifiables. Il est de ce fait impératif d'éviter toute dérive

¹Voir également le chapitre 6.

des délais de réalisation. Pour ce faire, l'analyse des écarts entre les prévisions et la progression concrète des travaux doit permettre de détecter au plus tôt les dysfonctionnements, et de lancer rapidement des actions correctives.

2 La notion d'avancement physique

Le temps passé ne peut pas être pris comme indicateur pour quantifier les résultats obtenus. L'efficacité d'un opérateur ou d'une équipe, la productivité d'une machine, peuvent non seulement être très différentes entre deux ressources ou groupes de ressources similaires, mais également varier notablement dans le temps. De plus, le propre d'un projet est d'être soumis à de nombreux aléas susceptibles d'entraîner d'importantes pertes de temps. Pour mesurer de façon probante le travail effectué, mieux vaut par conséquent évaluer ou faire évaluer « sur le terrain » les résultats obtenus. Mais pris dans l'absolu, le constat que l'on peut effectuer sur la progression concrète d'un travail ne présente en réalité qu'un intérêt limité.

Prenons l'exemple de l'édition d'un rapport : peu importe en effet de savoir qu'une opératrice a réalisé la composition de 30 pages de texte et de schémas, si on ne connaît pas le volume total du document à produire. Peu importe même ces données vis-à-vis des objectifs généraux de satisfaction du besoin que sont la publication des informations à un congrès qui doit avoir lieu dans huit semaines, si on ignore le temps qui a été nécessaire pour réaliser le travail.

Pour obtenir l'assurance que quelque chose de concret est fait ou est susceptible de remplir sa fonction et s'inscrit dans une logique de succès, on préfère à la mesure absolue des résultats, exprimée en unités physiques (mètres cubes, nombre de pages,), une vision relative de la progression, indépendante du volume d'activité effectivement réalisé. On introduit donc la notion d'**avancement physique**, que le Vocabulaire de la gestion de projet définit comme *le rapport entre le travail effectivement réalisé à une date donnée, et le travail total² à effectuer, pour l'ouvrage complet ou une partie de l'ouvrage ou des études³.*

Si on sait par exemple que le document dont on vient de parler comporte 200 pages, on peut alors dire qu'à la date où est effectuée l'observation, l'état d'avancement physique du travail de composition sera de :

$$\text{avancement physique} = \text{travail réalisé} / \text{travail total prévu} = 30 / 200 = 15\%$$

De plus, si on sait que le temps passé sur ce travail a été de 45 heures, on peut alors prévoir que la charge totale nécessaire sera de :

$$\text{charge totale} = (45h / 15) \times 100 = 300h$$

soit au jour de l'observation, une charge restante de :

$$300h - 45h = 255h$$

En faisant l'hypothèse d'une même disponibilité de l'opératrice sur ce travail (6h/j et 5j/s) et même en espérant que tout se passe bien (les machines sont disponibles, il n'y a pas de pannes à l'horizon, tous les schémas sont de bonne qualité et ne nécessitent pas de traitement spécial), on peut penser que le client de ce travail aura toutes les raisons d'être pessimiste car le délai de réalisation sera alors de :

$$255h / 30h/s = 8 \text{ semaines } 2 \text{ jours et } 3 \text{ heures}$$

Pour tenir l'objectif d'un travail terminé dans huit semaines (tirage compris) il est donc urgent de prendre les décisions de corrections nécessaires (augmenter la

²Par « travail réalisé » et « travail total », on entend ici bien entendu le résultat obtenu et non la quantité d'activité qui a été nécessaire à sa production.

³Op. cit. p. 29.

disponibilité, affecter une deuxième opératrice, utiliser des moyens plus performants, faire appel à de la sous traitance, ...).

3 Mesure de l'avancement physique d'une activité

3.1 Activités fournissant des résultats mesurables

L'évaluation de l'avancement physique des activités produisant un résultat concret est relativement aisée. Ainsi, dans le cas de travaux de carrelage, l'unité d'oeuvre peut s'exprimer en mètres carrés ; s'il s'agit de béton, on parle en mètres cubes et en faisant l'hypothèse d'une productivité constante, il est alors possible d'établir une relation quasi linéaire entre le temps passé et le résultat obtenu. Dans l'exemple de la préparation d'un rapport, on s'était fixé pour objectif de réaliser la composition du document de 200 pages en 8 semaines. Ceci représente une moyenne de 25 pages par semaine et en tablant sur une progression constante, il est alors facile d'établir les prévisions d'avancement de ce travail (voir figure 1).

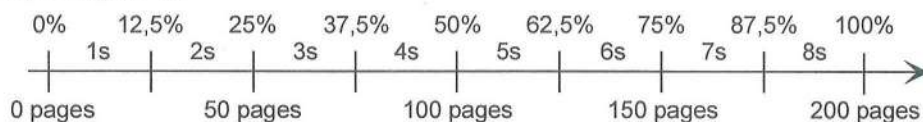


Figure 1 – Avancement linéaire d'une activité.

Mais cela n'est pas toujours aussi simple. Par exemple, pour le percement d'un tunnel, la progression dépend bien évidemment de la nature du sol. Parvenu à la moitié de la distance à franchir, on ne peut pas pour autant prétendre avoir réalisé 50% du travail. L'évaluation de l'avancement physique est alors plus délicate : on peut faire appel à des abaques, des modèles plus ou moins empiriques, ou tout simplement à l'expérience des exécutants. Ainsi, sur la figure ci-dessous, on constate que pour établir des prévisions sur la date d'achèvement, mieux vaut se baser sur l'avancement relatif des travaux que sur la longueur de tunnel réalisée.

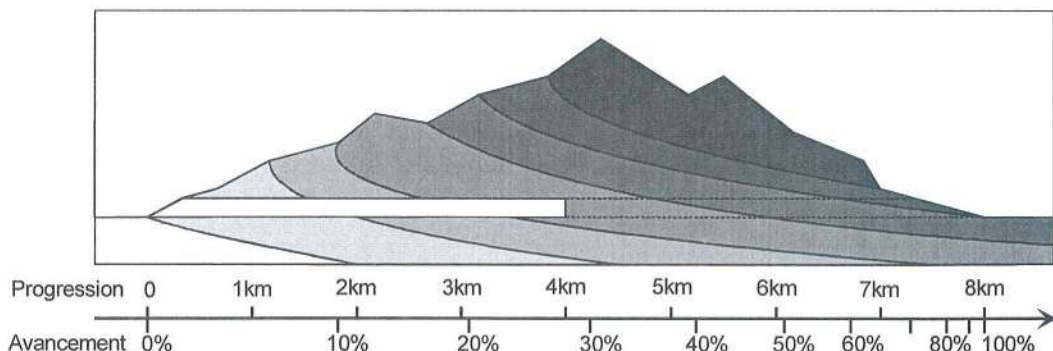


Figure 2 – Avancement non linéaire d'une activité

3.2 Activités ne fournissant pas de résultats mesurables

Plus délicate encore est l'évaluation de l'avancement, réalisée sur des activités produisant des résultats non directement mesurables. C'est le cas notamment des travaux de recherche, d'ingénierie ou d'étude pour lesquels toute progression n'est vraiment acquise qu'à la condition de produire quelque chose de réellement exploitable. Déterminer l'avancement relève alors d'une démarche beaucoup plus subjective et à défaut d'éléments quantifiables, il faut dans ce cas se fier aux estimations des hommes

de l'art. Pour apprécier le pourcentage de travail réalisé, il faut même dans certains cas se contenter d'impressions liées à une simple espérance de succès.

3.3 Avancement physique des activités complexes

Un autre cas où la mesure de l'avancement physique peut s'avérer difficile, est celui des activités complexes, composées de tâches multiples et dont le chef de projet ne peut avoir qu'une vision globale. Deux méthodes peuvent être alors mises en oeuvre.

La première, dite par **reporting** est surtout adaptée aux activités très complexes, décomposables en sous-activités non chronologiques ou fortement parallélisées. Dans ce cas, chacun des responsables de sous-domaine fournit au niveau supérieur, suivant une périodicité adaptée, des informations sur l'état d'avancement. Des synthèses successives permettent d'obtenir des données assez fiables.

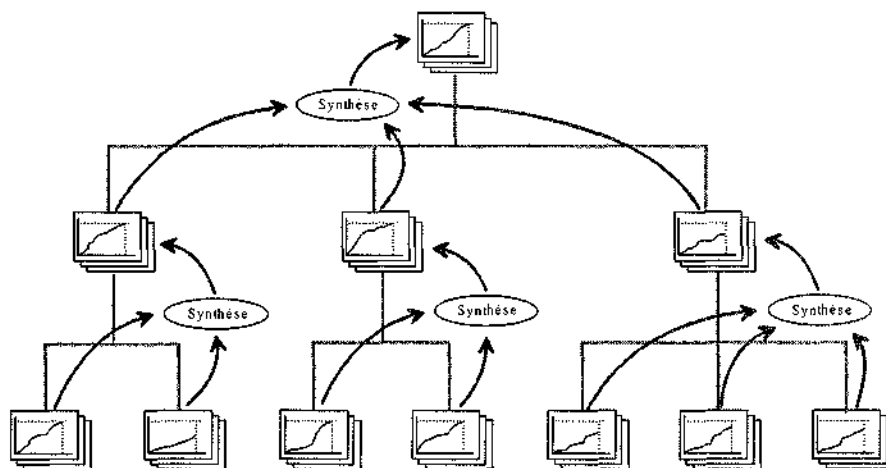


Figure 3 – suivi de l'avancement physique par reporting.

La seconde, dénommée **méthodes des jalons d'avancement**, est mieux adaptée aux activités faiblement parallélisées, qui se déroulent suivant une chronologie rigoureuse (par exemple : étude, prototypage, essai, réalisation, contrôle d'un sous-ensemble). Plus simple de mise en oeuvre, elle consiste à sélectionner dans le déroulement logique des opérations des événements marquants auxquels il est possible d'associer un certain degré d'avancement (exprimé en %). Pour permettre la mesure, ces jalons doivent sanctionner l'obtention de résultats tangibles. Ils sont de ce fait le plus souvent associés à des fins de phases.

– *Exemple : tournage d'un film vidéo.* Dans cet exemple, on retient quatre jalons marquant l'achèvement des activités principales du film : tournage en extérieur, en intérieur, montage et illustration musicale. Les pourcentages résultent d'estimations d'hommes de l'art, encore qu'il soit possible, dans ce type de projet, de quantifier avec assez de précision le nombre de scènes à tourner, le nombre de séquences montées et illustrées musicalement (voir figure 4).

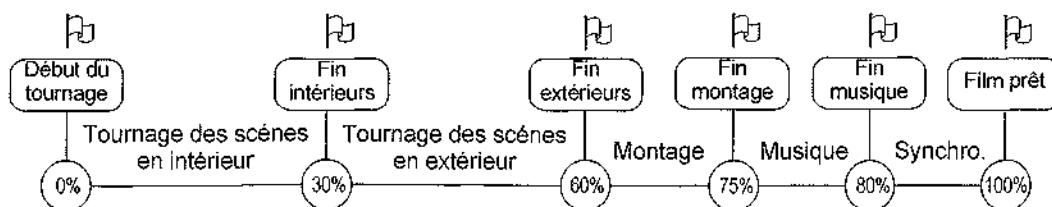


Figure 4 – Jalonnement d'un tournage de film vidéo

4 Déterminer l'avancement physique d'un projet

4.1 Une référence commune : la charge de travail

Dans un projet, 100% d'avancement signifie que tout est terminé, c'est à dire qu'on a totalement atteint les objectifs fixés. Déterminer l'avancement physique en cours de réalisation consiste donc à évaluer l'importance relative des résultats effectivement acquis à un instant donné par rapport à la production finale prévue.

Un projet procède de l'enchaînement logique d'un ensemble d'activités et son avancement (exprimé en %) est le reflet de la progression cumulée de chacune d'elles. Ceci suppose tout d'abord que l'on sache en apprécier l'importance relative. Mais creuser une tranchée, construire un mur, poser des câbles... ou encore, concevoir un logiciel, réaliser un circuit électronique, éditer une documentation ... ne produisent pas des effets comparables. Il faut donc choisir une unité commune, indépendante de la nature des travaux réalisés. A défaut de pouvoir utiliser le temps passé, la **charge** qui a été estimée avant le lancement du projet peut constituer un indicateur acceptable. C'est en effet sur cette base qu'ont été définis les engagements contractuels de coût et de délais. Les prévisions qui ont été faites reflètent bien l'effort jugé nécessaire pour obtenir le résultat. Notons qu'on se base sur l'hypothèse d'un minimum d'aléas et d'une productivité moyenne. Pour illustrer ces notions, prenons l'exemple du projet Stand⁴ :

Dans le cadre des activités d'un salon professionnel consacré à l'électronique, une agence de communication est chargée par une PME d'électronique de concevoir, de réaliser et d'animer un stand.

A partir de la charge estimée pour chaque activité le responsable du projet pourra exprimer en pourcentage le poids relatif de chacune des activités (voir tableau 1).

Projet Stand : répartition de la charge estimée			
	Activité	Charge estimée (Homme . heure)	Poids relatif
Documentation	Etude générale	24	8%
	Posters formation	36	12%
Supports images	Posters produits	42	14%
	Film vidéo	48	16%
	Diaporama	18	6%
	Mise au point	12	4%
Animation musicale	Bande son	36	12%
	Pilote informatique	30	10%
	Post synchronisation	18	6%
Installation	Installation infrastructures	18	6%
	Installation animation	12	4%
	Réglages / mise en route	6	2%
	TOTAL	300	100%

Tableau 1 – Projet Stand : répartition de la charge estimée

⁴Voir chapitre 9.

4.2 Mesure de l'avancement physique

La charge estimée, expression des objectifs à atteindre, constitue une référence qui ne peut être modifiée qu'exceptionnellement. Elle peut de ce fait servir de base pour déterminer l'avancement global d'un projet.

Avancement de la réalisation d'une maison			
Activité	Poids relatif	Etat	Avancement acquis
Fondations	7%	Terminé	7%
Murs	26%	Terminé	26%
Toiture	9%	Terminé	9%
Aménagements	19%	En cours	0%
Equipements	21%	Attente	0%
Finitions int. ext.	18%	Attente	0%
TOTAL	100%		42%

Tableau 2 – Détermination de l'avancement

Comme le montre l'exemple donné dans le tableau 2, il suffit de considérer comme acquis du point de vue des résultats le poids associé à chacune des activités terminées, puis d'en faire la somme pour déterminer en première approximation la progression globale d'un ensemble d'activités hétérogènes.

Cette méthode est satisfaisante dans son principe. Mais elle ne tient pas compte de l'avancement des activités en cours. On peut remédier à cet inconvénient en utilisant, pour affiner le calcul, les

informations transmises périodiquement par les responsables des sous-niveaux. Pour illustrer ce procédé, reprenons l'exemple développé au paragraphe précédent.

A la date de mise à jour, le responsable du projet Stand reçoit de chaque responsable, des informations concernant l'avancement des activités dont ils ont la charge. Il calcule alors l'avancement acquis sur le projet par chaque activité :

$$\text{Avancement acquis} = \text{Poids relatif de l'activité} \times \text{Avancement de l'activité}$$

Il détermine ensuite l'avancement total (tableau 3)

Projet Stand : Avancement du projet				
Activité	Poids relatif de l'activité	Etat de l'activité	Avancement de l'activité	Avancement acquis
Etude générale	8%	Terminée	100%	8,0%
Documentation				
Posters formation	12%	En cours	80%	9,6%
Posters produits	14%	En cours	60%	8,4%
Supports images				
Film vidéo	16%	En cours	40%	6,4%
Diaporama	6%	Terminée	100%	6,0%
Mise au point	4%	En attente	0%	0,0%
Animation musicale				
Bande son	12%	En cours	90%	10,8%
Pilote informatique	10%	Terminée	100%	10,0%
Post synchronisation	6%	En attente	0%	0,0%
Installation				
Installation infrastructures	6%	En attente	0%	0,0%
Installation animation	4%	En attente	0%	0,0%
Réglages / mise en route	2%	En attente	0%	0,0%
TOTAL	100%			59,2%

Tableau 3 – Projet STAND détermination de l'état d'avancement

5 Etablissement et ajustement des prévisions

La maîtrise des délais suppose avant tout la définition d'un plan d'avancement tenant compte aussi bien des contraintes d'ordre technique (maîtrise de la technologie, ...), humaines (apprentissage, motivation, synergie, ...) et organisationnelles (occupation de l'espace, disponibilité des moyens, exclusion mutuelle de certaines activités,).

5.1 Evolution théorique de la charge et de l'avancement

Le développement d'un projet consiste en la réalisation d'un ensemble d'activités qui peuvent s'exécuter en parallèle.

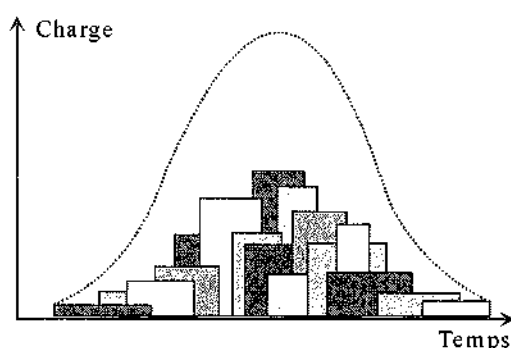


Fig. 5 - Evolution de la charge totale

En analysant les conditions de réalisation de la plupart des projets, on conçoit aisément que le volume d'activité induit à un instant donné par les tâches en cours de réalisation ne soit pas constant dans le temps.

Réduite dans la phase de lancement, la charge totale passe par un maximum au fur et à mesure que l'on progresse dans le développement. Puis, afin de ne pas risquer de terminer dans l'urgence, l'activité doit décroître progressivement laissant ainsi le temps nécessaire aux finitions et à la mise au point.

La courbe en cloche représentée ci dessus (figure 5) matérialise cette évolution idéale et quasi naturelle de l'engagement total des ressources en main d'oeuvre dans un processus de développement. A partir de celle-ci, et en cumulant les éléments de charge acquis à chaque tranche élémentaire de temps, on peut en déduire une courbe d'avancement dite « en S », à laquelle la gestion de projet associe par expérience la progression théorique représentée sur la figure ci-dessous.

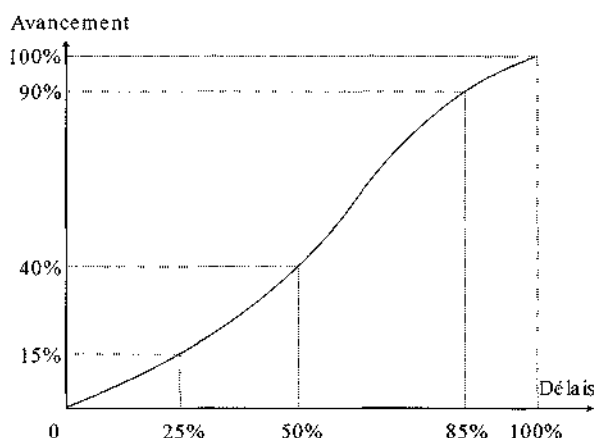


Fig. 6 – Evolution théorique de l'avancement

On peut obtenir un tracé approximatif de cette courbe par la formule :

$$y = \frac{e^k}{e^k - 1} \left(1 - e^{-k \cdot x^2} \right)$$

avec $K=2$

Notons que cette courbe est surtout représentative de l'évolution de projets de grande ou moyenne importance, dans lesquels de multiples activités sont exécutées en parallèle. En revanche, pour les petits projets qui réclament l'intervention quasi permanente de quelques personnes, la charge sera presque constante et de ce fait, la courbe de prévision d'avancement pratiquement linéaire.

5.2 Elaboration et évaluation les prévisions d'avancement

Le rythme d'avancement physique d'un projet dépend de la répartition de la charge et du taux d'affectation des ressources sur les différentes activités. A partir du planning prévisionnel, on peut en cumulant la charge associée à chacune des tâches, tracer la courbe prévisionnelle d'avancement global. Celle-ci peut être prise comme référence en cours de développement pour mesurer les écarts entre les prévisions et ce qui a été effectivement réalisé.

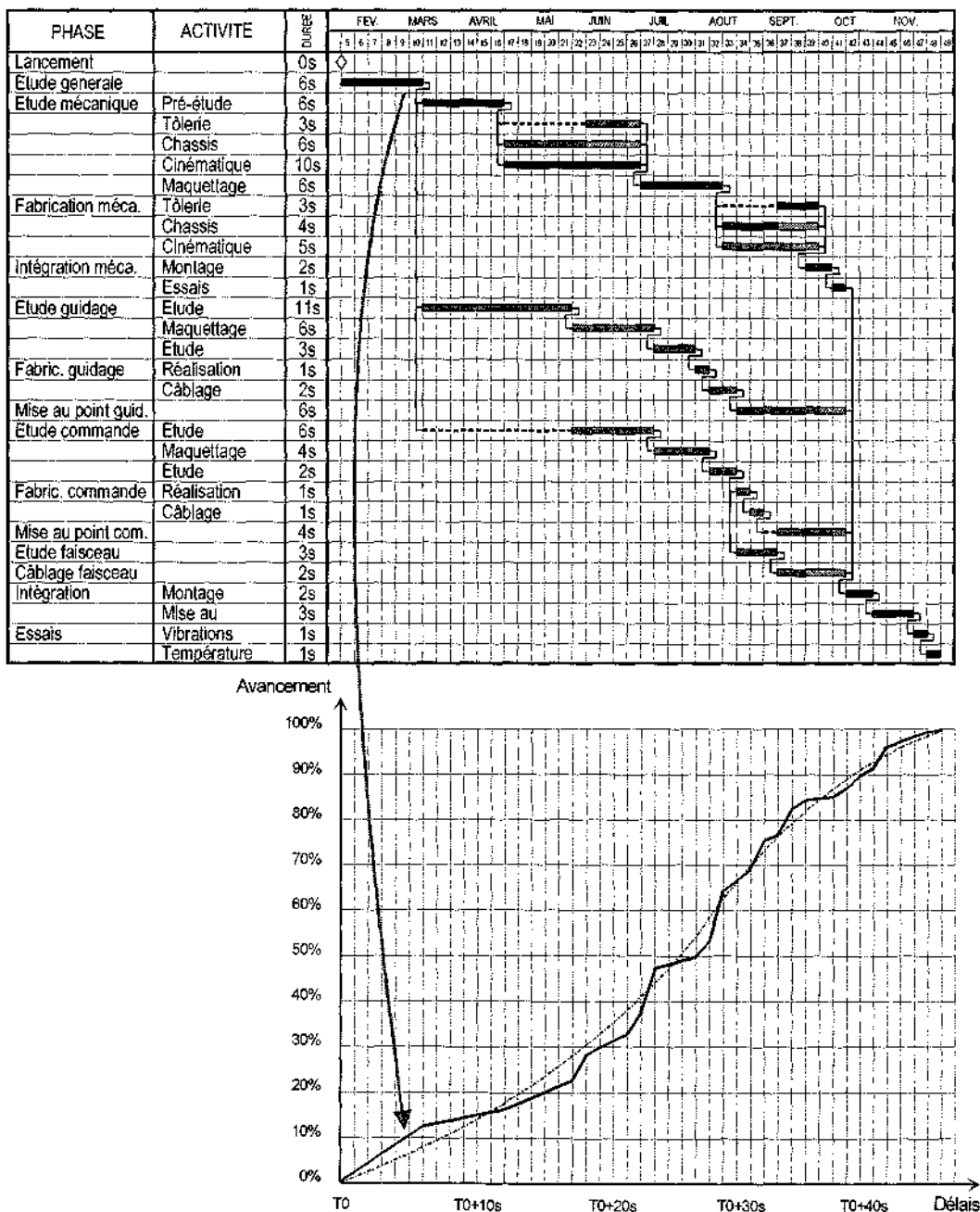


Fig. 7 – Construction de la courbe d'avancement prévu à partir du planning prévisionnel

La répartition de la charge influe largement sur les conditions de réalisation. C'est pourquoi, il peut être utile après avoir élaboré un premier planning prévisionnel, de s'assurer que la progression prévue suit une évolution normale.

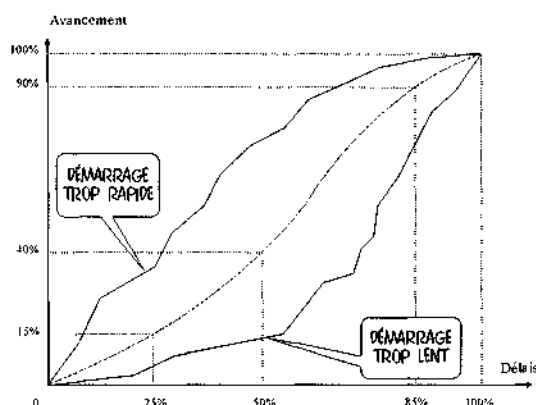


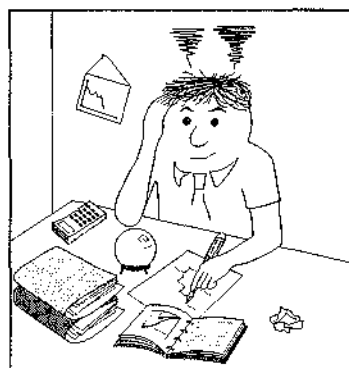
Fig. 8 - Evaluation des prévisions d'avancement

Un démarrage trop lent entraîne une forte charge vers le milieu et la fin du projet, rendant plus critique la réalisation de certaines tâches et accentuant les risques de retard, de finition bâclée et de mise au point sommaire.

En revanche un démarrage trop rapide peut être le révélateur d'une préparation insuffisante ou d'une étude préalable trop superficielle. Un tel mode d'évolution peut avoir pour conséquence de masquer des problèmes qui émergeront en cours de réalisation. De plus, une fin qui s'éternise peut engendrer des flux distendus voire une baisse de motivation ayant des effets négatifs sur la productivité de l'équipe.

La variation de l'avancement prévisionnel est bien entendu fonction de la nature du projet. Toutefois, une trop grande différence par rapport à l'avancement théorique défini par la courbe en S peut justifier des réajustements. On modifie alors la répartition de la charge, soit en recherchant un autre enchaînement des activités, soit en modifiant l'affectation des ressources.

6 Mesure et contrôle de l'état d'avancement



Le planning prévisionnel ayant été figé et les premières activités lancées, le chef de projet doit maintenant porter toute son attention sur l'évolution de la situation et la tenue des objectifs. Respecter les délais devient alors l'une de ses préoccupations majeures. En cas de difficultés, et avant que le retard induit ne devienne trop important, il doit pouvoir détecter au plus tôt les dérives afin de prendre rapidement les décisions qui s'imposent. Comme tout système basé sur des prévisions, les plannings de référence et les évaluations de charge qui ont été définis ont de grandes chances d'être erronés. Pourtant, à défaut d'être le reflet d'une réalité encore à découvrir, ils n'en constituent pas moins un tout homogène, cohérent avec les objectifs à atteindre.

Le contrôle périodique de l'état d'avancement physique est encore le meilleur moyen de s'assurer de la progression souhaitée. Mais ce suivi systématique ne doit pas se borner à un simple constat de réussite ou d'échec tiré de l'observation de la situation du moment. Il doit permettre également d'extrapoler la variation des indicateurs pour en dégager les tendances et être en mesure de faire les hypothèses les plus probables sur l'évolution de la situation. Aucun système de pilotage ne peut fonctionner sur la base d'informations fausses. Parmi les causes susceptibles de venir polluer les indicateurs citons :

- la mauvaise qualité des prévisions ;
- les évaluations fausses de l'état d'avancement ;
- les délais excessifs de transmission des informations ;
- la dissimulation de la réalité.

6.1 Effectuer le suivi

En termes de maîtrise des délais, effectuer le suivi d'un projet consiste à évaluer le décalage (avance ou glissement) qui existe entre le temps prévu pour aboutir à un certain état d'avancement et celui qui a été effectivement nécessaire pour obtenir ce même résultat. La charge qui a été réellement consommée pour exécuter le travail, soumise aux variations de productivité, ne peut pas être prise comme élément représentatif de la progression physique. Pour pouvoir établir des comparaisons avec les prévisions d'avancement, on utilise donc comme base de calcul la charge qui a été estimée avant le lancement du projet. Celle-ci, bien que supposée fausse, présente l'avantage de rester dans un système cohérent.

Pour élaborer les indicateurs permettant de contrôler l'évolution de la situation, le chef de projet sollicite donc suivant une périodicité adaptée (tous les jours pour un projet de quelques semaines, toutes les semaines pour un projet de plusieurs mois) chacun des responsables d'activité pour obtenir une estimation sur l'avancement du travail dont ils ont la charge. A partir de ces données, il lui est alors possible de calculer par la méthode décrite au paragraphe 4.2. le pourcentage d'avancement prévisionnel global acquis à la date de mise à jour. La valeur ainsi obtenue permet de tracer point par point la courbe d'avancement du projet.

Comme le montre la figure ci-dessous, la différence entre la date où est réalisée la mise à jour et la date où les résultats équivalents auraient dû être obtenus matérialise le glissement en délais. Notons que cet indicateur matérialise une avance moyenne ou un retard moyen déterminé sur l'ensemble des activités terminées ou en cours. Ceci ne signifie pas pour autant que la date de fin au plus tôt se trouvera avancée ou reculée. Dans ce cas seules comptent les activités qui se trouvent sur le chemin critique.

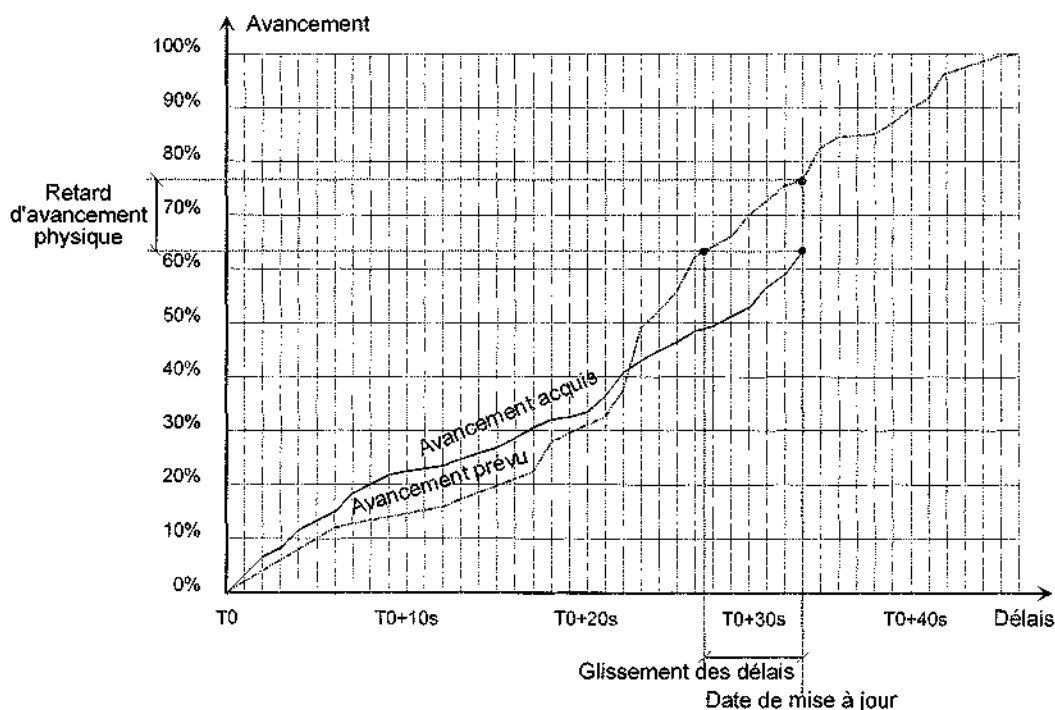


Fig. 9 – Détermination du glissement des délais

6.2 Anticiper sur les glissements

L'efficacité des actions correctives dépend pour une grande part de leur rapidité de mise en oeuvre. Une anticipation insuffisante limite la liberté de réaction et ne peut aboutir de ce fait qu'à un constat d'échec. C'est pourquoi, avant qu'une situation critique ne devienne irréversible, on s'efforce de détecter au plus tôt les risques de glissements, d'en identifier les causes et de prendre les bonnes décisions.

L'observation du rythme d'avancement peut fournir de précieuses indications. L'inflexion anormale de la courbe peut en effet permettre d'identifier des difficultés sous-jacentes, montrant ainsi qu'il est urgent d'agir. Mais bien que très révélateur d'une situation mal maîtrisée, cet indicateur qui s'appuie sur l'observation du passé, ne permet pas toujours de réagir dans des délais satisfaisants. Il faut en effet attendre que la tendance se confirme pour que la situation puisse être considérée comme réellement préoccupante, d'où la perte d'un temps précieux.

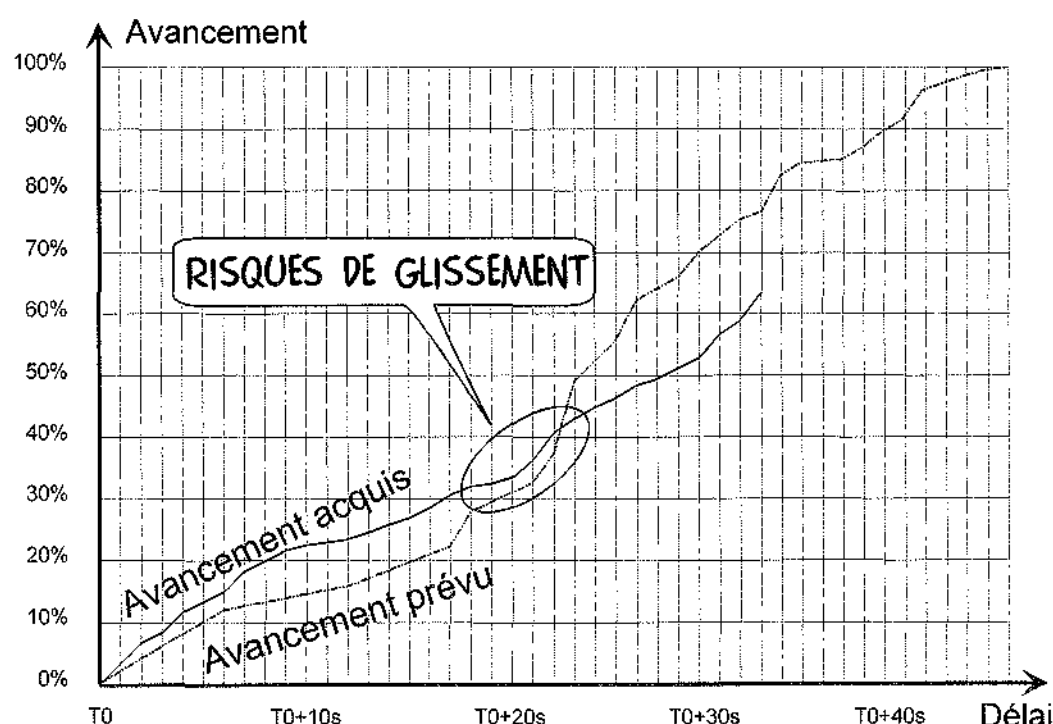


Figure 10 – Mise en évidence des risques de glissement

Pourtant, les difficultés rencontrées sont souvent perçues par les intervenants bien avant que celles-ci ne se manifestent par des dysfonctionnements mesurables. C'est pourquoi, il peut être intéressant de connaître et de tracer les espérances de succès.

Une méthode consiste à demander à chacun des responsables d'une activité de fournir en même temps que l'état d'avancement une estimation de la date de fin des travaux dont il a la charge. Cette information, reportée en ordonnée d'un diagramme, permet de tracer point par point une courbe montrant clairement l'évolution du degré de confiance de l'équipe.

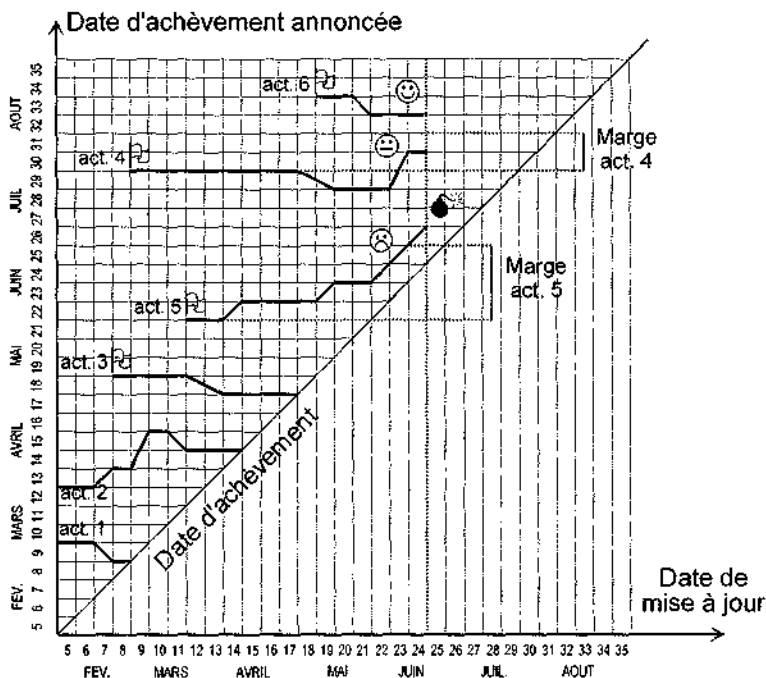


Fig 11 – Mise en évidence du glissement des prévisions de fin d'activité

Le graphique de la figure 11 est difficilement utilisable sous cette forme. C'est pourquoi, dans la pratique, on préfère la représentation suivante :

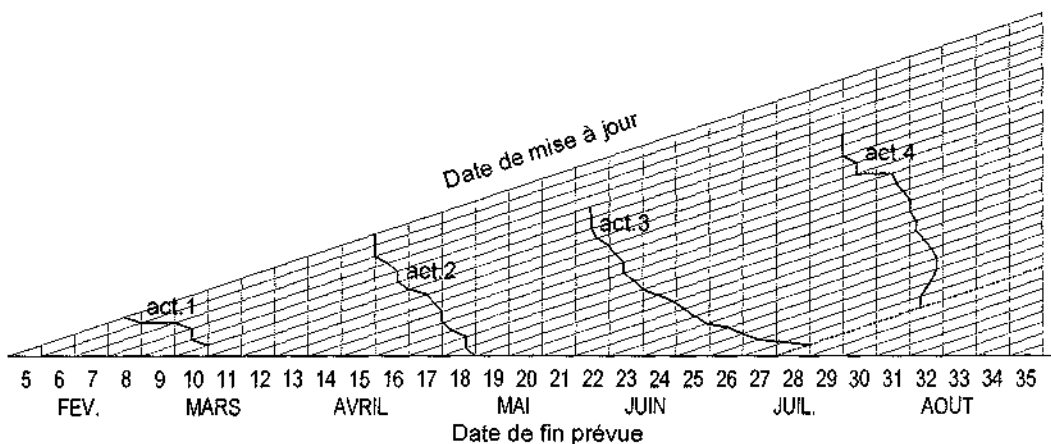


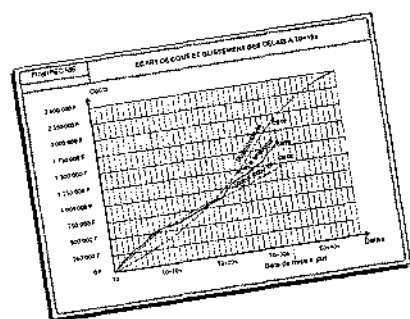
Figure 12 – Contrôle du glissement des prévisions de fin d'activité

Dans l'exemple présenté en figure 12, la situation mise à jour à la fin de la semaine 27, est la suivante :

- les activités 1 et 2 sont terminées ;
- l'activité 3 débutée semaine 9, rencontre des problèmes importants qui ne sont toujours par résolus ;
- l'activité 4 se déroule bien. Les difficultés passagères rencontrées durant les semaines 21, 22 et 23 sont maîtrisées. Il semble possible de rattraper une bonne partie du retard.

Chapitre 18

Maîtriser les coûts



Parmi les facteurs déterminants dans la réussite d'un projet, la maîtrise des coûts est sans aucun doute le plus critique. Souvent pénalisantes et parfois même désastreuses, les conséquences d'un dépassement ou une mauvaise répartition des crédits peuvent être multiples :

- fonctions non assurées,
- dégradation des performances,
- abaissement du niveau de qualité,
- pertes financières,
- arrêt définitif des travaux avant l'achèvement,
- retard général du programme,
- non réalisation d'autres projets,
- perte de confiance des commanditaires,
- dégradation de l'image de marque,

1 Facteurs de risques.

La part importante de création et d'innovation qui caractérise le développement d'un projet est souvent à l'origine de facteurs de risques particuliers. Parmi ceux-ci, on trouve :

- **une évolution mal maîtrisée des spécifications initiales**, qui induit une augmentation de la charge et du coût d'acquisition des matériels et fournitures ;
- **la sous-estimation du niveau de difficulté**, qui nécessite de faire appel à des moyens, méthodes et compétences coûteuses, non budgétées ;
- **un mauvais découpage du projet**, qui crée des ambiguïtés dans les responsabilités et risque d'entraîner une mauvaise gestion des crédits alloués à chaque sous-niveau ;
- **une sous-estimation de la charge**, qui, pour respecter les délais, oblige à renforcer les équipes, augmentant ainsi les coûts en main d'oeuvre ;
- **une mauvaise valorisation des dépenses prévisionnelles**, qui affecte en particulier les coûts des services, de la sous-traitance, de l'achat de matériaux et composants, et de l'acquisition de matériel et équipements spécifiques ;
- **un gaspillage dans l'utilisation des ressources**, qui résulte d'une mauvaise organisation et augmente les coûts en main d'oeuvre, en location de matériel et en fournitures diverses ;
- **l'évolution des conditions économiques**, qui a une incidence directe sur les coûts des matériels et des services ;
- **des aléas**, (pannes, maladies, incidents, mauvaises conditions climatiques, ...), qui peuvent entraîner des dépenses imprévues, telles que réparations, remplacement de matériels défectueux, inoccupation des ressources affectées, recours à du personnel temporaire, mise en place de systèmes de sécurité ou de dispositifs redondants, ...

2 Evolution des coûts prévisionnels

Pour un projet donné, maîtriser les coûts signifie que les objectifs sont réalisés dans les limites du budget autorisé. Pour aboutir à ce résultat et afin de limiter les risques de dépassement des crédits, le chef de projet doit, dès le début des travaux, exercer un contrôle permanent des dépenses, évaluer les écarts de coût, et engager si nécessaire des actions correctives.

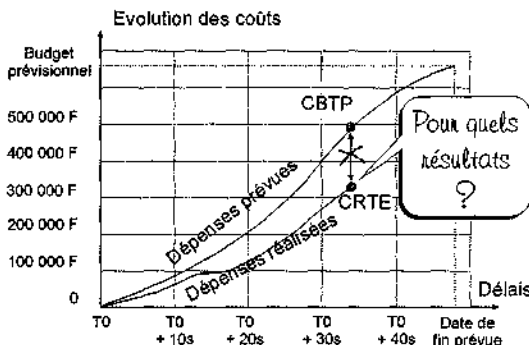


Figure 1 - Comparaison des dépenses réalisées (CRTE) avec les dépenses prévues (CBTP)

Comparer les dépenses prévues avec celles effectivement réalisées, ne peut avoir de signification qu'à partir du moment où les résultats attendus sont produits à la date souhaitée. Du fait des retards éventuels, cette condition n'est que très rarement respectée. Les dépenses prévisionnelles, également appelées *Coût budgété du travail prévu*¹ (CBTP) ne constituent pas de ce fait une référence significative pour mesurer les écarts de coût. Les planifier puis les tracer a toutefois son utilité. Ceci permet en effet de définir, avant le lancement, un

échancier pour la mise à disposition des ressources financières nécessaires (provisions, mise en place de crédits, échancier de paiement).

3 Valeur acquise ou Coût Budgété du Travail Effectué

A défaut de pouvoir comparer les dépenses réalisées ou *Coût Réalisé du Travail Effectué*² (CRTE) avec les dépenses prévues (CBTP), on introduit un indicateur de coût directement fonction de la progression concrète du travail. L'avancement d'un projet peut être mesuré à l'aide de paramètres physiques (mètres cube, nombre de pages, ...) ou plus généralement en % de la charge de travail totale. Le poids relatif des activités peut également s'exprimer par sa *valeur budgétaire*. En effet, une part importante des dépenses est constituée de coûts en main d'œuvre et en prestations intellectuelles. Ceux-ci sont proportionnels à la charge et on peut considérer qu'aux charges fixes près, le coût prévisionnel des activités est représentatif de leur avancement physique.

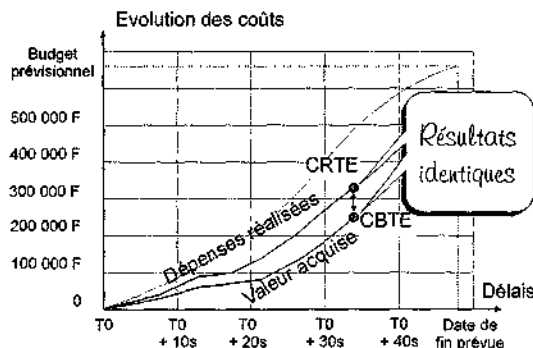


Figure 2 - Comparaison des dépenses réalisées (CRTE) avec la valeur acquise (CBTE)

Le but est de calculer la valeur de ce qui a été effectivement réalisé. Pour ce faire, on considère comme acquises les parts de budget prévisionnel associées aux activités terminées ou en cours, puis on en effectue le cumul. En faisant le point à échéances régulières, on trace l'évolution de la valeur acquise également appelée *Coût Budgété du Travail Réalisé*³ (CBTR). Comme le montre la figure 2, on peut alors évaluer l'écart de coût qui, contrairement à ce qu'on aurait pu croire au vu de la figure 1, fait apparaître un déficit.

¹CBTP (AFNOR) équivalent de BCWS Budgeted Cost of Work Scheduled (DOD instruction 7000-2)

²CRTE (AFNOR) équivalent de ACWP Actual Cost of Work Performed (DOD instruction 7000-2)

³CBTE (AFNOR) équivalent de BCWP Budgeted Cost of Work Performed (DOD instruction 7000-2)

4 Mise en application de la méthode

Afin d'illustrer la méthode décrite au paragraphe précédent, reprenons l'exemple du projet Stand. A la date de mise à jour, le responsable du projet reçoit de chaque responsable, des informations concernant l'avancement des activités dont ils ont la charge. Comme le montre le tableau 1, il calcule alors la valeur acquise sur le projet par chacune des activités :

$$\text{Valeur acquise} = \text{Coût total budgété de l'activité} \times \text{Avancement de l'activité}$$

Il détermine ensuite le coût budgété du travail réalisé (CBTR) en faisant la somme des valeurs acquises. La comparaison avec les *coûts encourus*⁴ permet de déterminer l'écart de coût.

Activité	Coût budgété	Etat de l'activité	Avancement de l'activité	Valeur acquise	Coûts encourus	Ecart de coût
<i>Etude préalable</i>						
Etude générale	900€	Terminée	100%	900€	840€	+ 60€
<i>Documentation</i>						
Posters formation	1370€	En cours	80%	1096€	1060€	+ 36€
Posters produits	1600€	En cours	60%	960€	990€	- 30€
<i>Supports images</i>						
Film vidéo	1830€	En cours	40%	732€	760€	- 28€
Diaporama	690€	Terminée	100%	690€	690€	0€
Mise au point	450€	En attente	0%	0€	0€	
<i>Animation musicale</i>						
Bande son	1370€	En cours	90%	1233€	1260€	- 27€
Pilote informatique	1140€	Terminée	100%	1140€	1205€	- 65€
Post synchronisation	680€	En attente	0%	0€	0€	
<i>Installation</i>						
Installation infrastructures	690€	En attente	0%	0€	150€	- 150€
Installation animation	460€	En attente	0%	0€	0€	
Réglages / mise en route	230€	En attente	0%	0€	0€	
BUDGET TOTAL	11410€					
COÛT BUDGETÉ DU TRAVAIL EFFECTUÉ (CBTE)				6751€		
COÛT RÉALISÉ DU TRAVAIL EFFECTUÉ (CRTE)					6955€	
ECART DE COÛT				= 6751€ - 6955€		- 204€

COÛT BUDGETÉ DU TRAVAIL PRÉVU (CBTP)	<i>donné pour mémoire</i>	7320€
---	---------------------------	--------------

Tableau 1 – Projet STAND détermination de l'écart de coût.

Une simple comparaison entre les coûts qui avaient été planifiés (CBTP) et la somme de tous les coûts encourus (CRTE) aurait pu faire croire à des économies. Mais cette appréciation est faussée par un retard d'avancement. En revanche, la différence entre les coûts encourus et la valeur acquise (CBTE) fait apparaître un écart de coût déficitaire de 204€. Cette situation n'est toutefois pas aussi critique qu'il n'y paraît. En effet, l'activité « installation infrastructures » qui n'a pas débuté, voit déjà son budget débité de 150€. Ceci peut correspondre à des achats anticipés de matériel et ne peut être considéré comme un déficit.

⁴ Entrent dans les coûts encourus les coût en main d'œuvre imputés sur le projet, les sorties de stock, ainsi que les commandes payées ou en court de traitement.

5 Contrôle intégré des coûts et des délais

Les trois facteurs déterminants que sont les coûts, les délais et les performances techniques ne sont pas indépendants. Ainsi, une action ayant pour objectif de réduire les délais peut induire une augmentation des dépenses. De même, une modification des spécifications risque-t-elle d'entraîner une augmentation des délais et des coûts.

L'observation des trois courbes : budget prévisionnel, coûts encourus et valeur acquise peut fournir des indications précieuses sur la situation et son évolution.

5.1 Détermination des glissements en délais

En termes de prévision, 100% d'avancement du projet correspond à la réalisation complète du budget. Ainsi, à chacune des activités qui ont été planifiées, on peut faire correspondre un certain coût prévisionnel composé de coûts proportionnels à la charge (coûts en main d'oeuvre, coût d'utilisation de ressources matérielles, ...) et de coûts fixes (achats de matériel, amortissements de moyens spécifiques, assurances, ...).

Dans un projet, la part de coûts proportionnels (prestations d'études) est en principe très largement supérieure aux coûts fixes (achat de composants). On peut de ce fait et seulement à cette condition, considérer que le coût prévisionnel est une unité pertinente pour exprimer l'avancement physique.

Ainsi, comme on peut le voir sur la figure 3, on peut, en effectuant la comparaison entre la date de mise à jour et la date où le budget prévisionnel prévoyait d'aboutir au même résultat, déterminer le glissement en délais (avance ou retard).

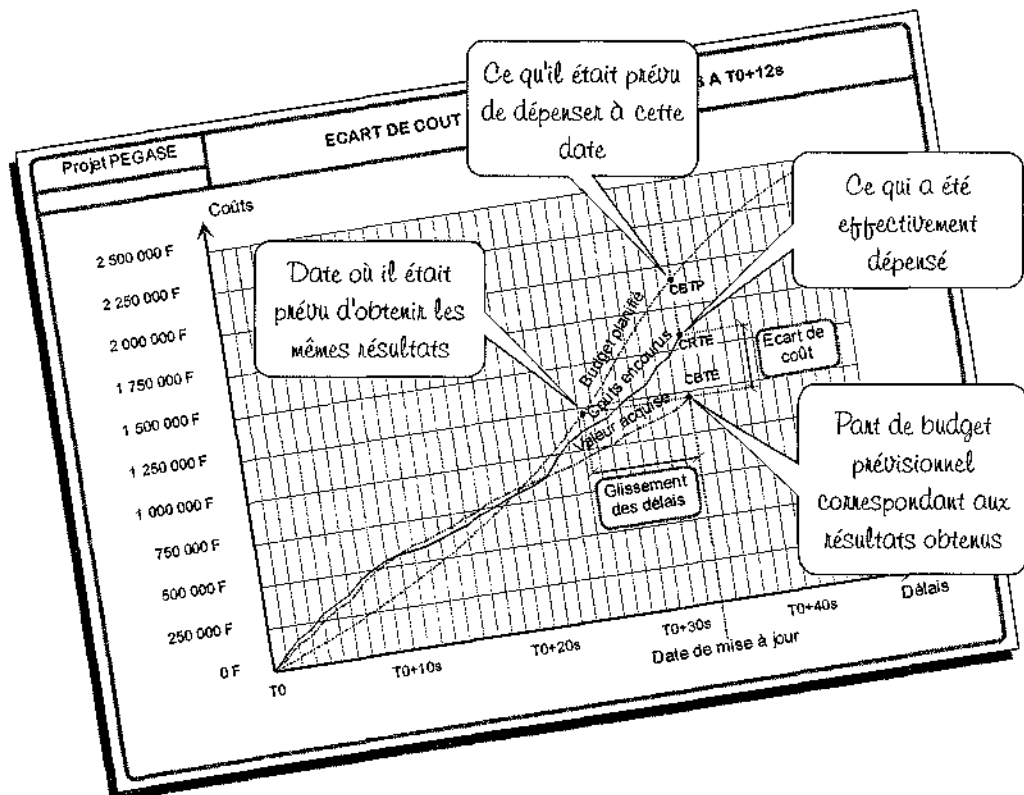


Figure 3 – Les points caractéristiques des courbes de coût

5.2 Interprétation des courbes de coût

Les figures ci dessous décrivent trois situations types que révèlent la position relative des valeurs caractéristiques des coûts prévus et réalisés . En se basant sur l'évolution constatée, on peut en déduire la date d'achèvement probable ainsi que le coût final qui sera atteint, ceci dans la mesure où aucune action corrective ne modifie les conditions de réalisation.

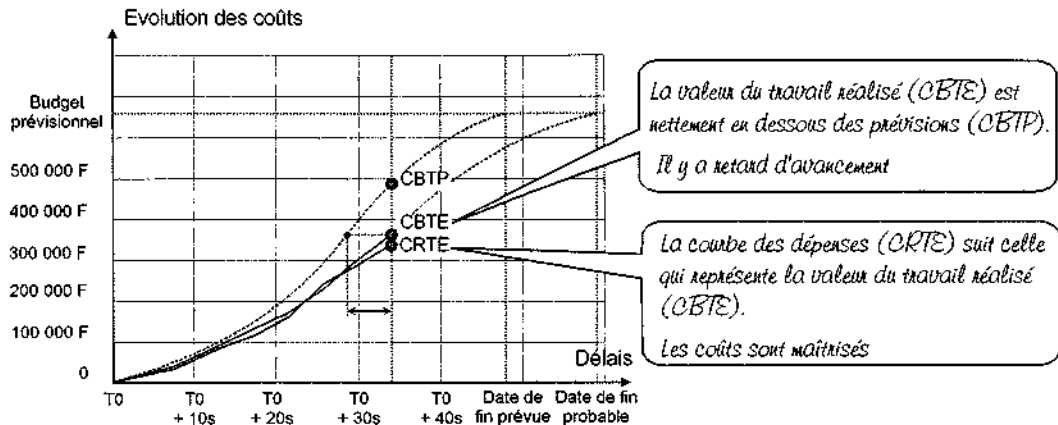


Figure 4 – Les coûts sont maîtrisés avec du retard

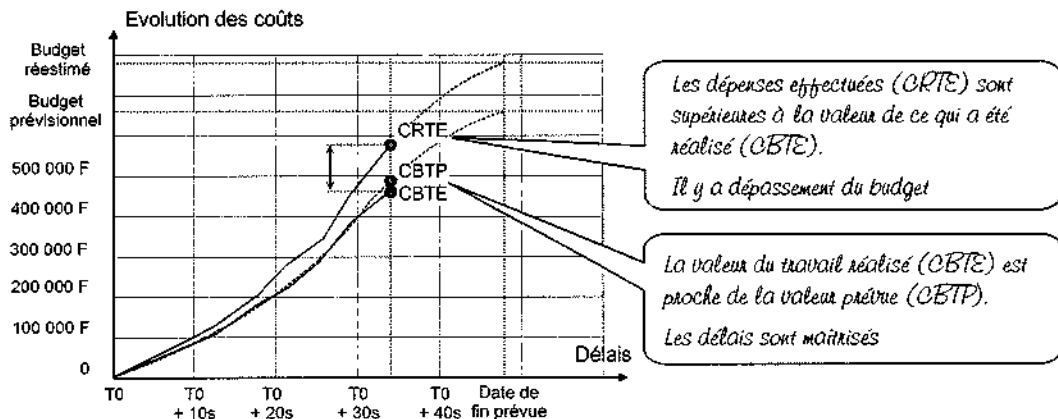


Figure 5 – les délais sont maîtrisés avec un dépassement du budget prévisionnel

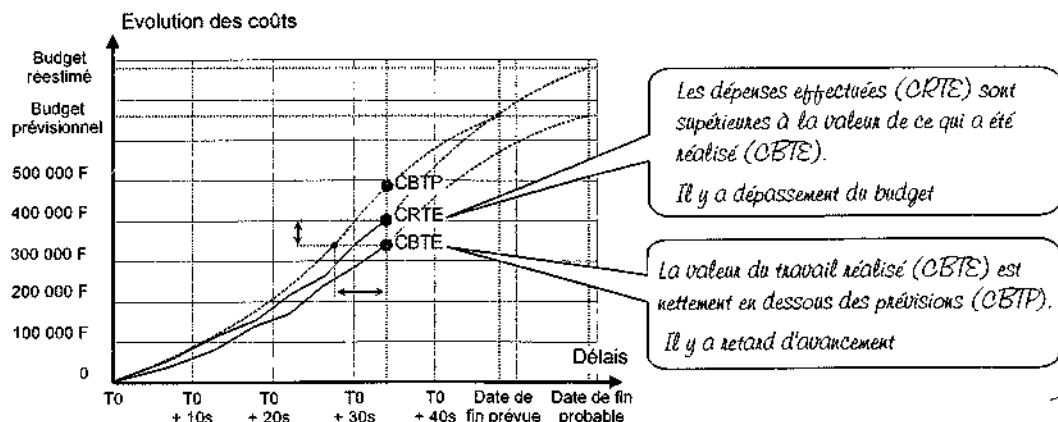


Figure 6 – Ni les coûts ni les délais ne sont maîtrisés

Chapitre 19

Engager des actions correctives

Les deux chapitres précédents ont montré comment détecter d'éventuelles dérives par rapport aux objectifs initiaux. Il faut maintenant se donner les moyens d'analyser les dysfonctionnements puis d'engager les actions correctives les mieux adaptées à la situation.

En matière de management de projet, la bonne décision passe avant tout par la recherche du meilleur compromis. Le niveau relatif de criticité des facteurs coûts, délais et performances est avant tout fonction de la nature des enjeux. Ainsi, selon le degré d'urgence, l'état des finances et le niveau des résultats attendus, on peut être amené à développer des stratégies :

- à **coût minimum**, en acceptant éventuellement une dégradation des performances et/ou une augmentation des délais ;
- à **délai minimum**, en mettant en oeuvre tous les moyens nécessaires pour respecter les dates contractuelles ;
- à **performances maîtrisées**, en privilégiant les critères de qualité et de conformité aux spécifications.

On peut également rechercher un moyen terme en combinant chacune d'elles.

1 Analyse des dysfonctionnements

Les interactions entre les trois facteurs coût, délais et performances sont instables et complexes. On ne saurait de ce fait se contenter de solutions toutes faites et seule une bonne connaissance de la situation peut permettre de déterminer la réponse qui semble la mieux appropriée à un problème donné.

Les anomalies susceptibles de perturber le déroulement d'un projet peuvent être la conséquence d'aléas techniques ou de contraintes externes non maîtrisables (climatiques, économiques, ...). Elles peuvent aussi être induites par des facteurs humains, organisationnels ou relationnels. Elles peuvent même révéler des stratégies cachées, résultant par exemple de divergences entre les intérêts personnels de certains acteurs et les objectifs communs.

Pour réaliser un pilotage efficace, le responsable de projet ne peut donc pas se contenter d'être un bon technicien et un habile gestionnaire. Il doit également faire preuve de capacités d'écoute et d'analyse. Pour appréhender les aspects plus subjectifs des situations de crise, il ne doit pas se limiter à l'observation froide des données chiffrées, transcrites sous forme de tableaux et des graphiques.

Les graphiques, et les indicateurs constituent des aides précieux dans la détection et l'anticipation des dysfonctionnements. Ils constituent même le moyen le plus rapide et le plus efficace d'évaluer une situation. Ils prêtent toutefois à interprétation et il convient de se montrer prudent quant à leur signification, leur représentativité et leur validité.

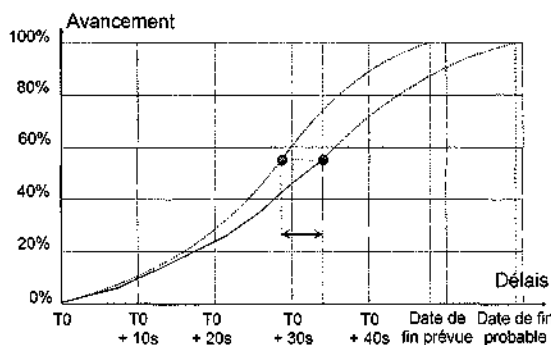


Figure 1 - Etat d'avancement moyen

Ainsi, si l'on considère la maîtrise des délais, l'information que l'on peut obtenir en comparant l'avancement physique constaté avec les prévisions ne constitue qu'une présomption d'avance ou de retard.

En effet cet indicateur exprime une valeur moyenne calculée sur l'ensemble des activités. Or en ce qui concerne la date de fin du projet, seules comptent celles qui se trouvent sur le chemin critique.

La définition d'un plan d'action passe avant tout par une analyse individualisée de chaque situation.

- ne souffre-t-on pas d'une mauvaise organisation ?
- doit-on faire face à des problèmes technique mal maîtrisés ?
- les responsables disposent-ils des compétences et des moyens nécessaires ?
- l'activité est-elle soumise à des aléas dûs à des facteurs externes ?
- l'équipe rencontre-t-elle des problèmes relationnels internes ?
- le fonctionnement n'est-il pas perturbé par des stratégies cachées ?

Autant de questions qui peuvent révéler des dysfonctionnements auxquels il faut tenter de remédier par des actions correctives adaptées.

Parmi celles qui sont proposées ici, certaines, basées sur l'optimisation des moyens et du temps disponibles peuvent avoir des effets positifs sur les délais et les performances sans pour autant influencer sur le coût final. Elles sont à utiliser en priorité. D'autres s'appuient sur une augmentation du potentiel, ce qui suppose un effort financier supplémentaire. Elles sont donc à réserver pour des situations plus critiques.

2 Redéploiement des ressources

Parmi les actions possibles, la plus simple et sans doute la moins onéreuse est celle qui consiste à redéployer les ressources allouées au projet pour tenter d'en tirer le meilleur parti. Ainsi :

- le partage de certaines compétences très spécifiques ;
- le remplacement d'un responsable jugé incompetent ;
- la restructuration d'une équipe confrontée à des problèmes relationnels ;
- la réaffectation d'un équipement rendu momentanément disponible ;
- le rééquilibrage des effectifs et des moyens en fonction de l'état d'avancement des activités et de leur criticité ;

font partie de l'arsenal d'actions qui peuvent permettre d'améliorer une situation momentanément difficile. Ceci suppose bien entendu une vigilance accrue. Non seulement à l'égard des activités posant problème, mais aussi vis-à-vis de celles qui, dans une certaine aisance, sont susceptibles de fournir le renfort nécessaire.

3 Utilisation des marges

L'utilisation des marges en tant qu'action corrective est obligatoirement associée à un rééquilibrage du potentiel en personnels et en équipements. Dans la limite du temps dont dispose chaque activité non critique, on peut en effet :

- différer le début d'une activité, pour donner la priorité à une autre plus urgente ;
- interrompre une activité en cours, pour réaffecter la totalité des ressources ;
- augmenter le délai de réalisation d'une activité en rééquilibrant le potentiel ainsi dégagé.

Le chapitre 11 « planifier le projet » distingue trois types de marges en les différenciant par les effets que peut avoir leur utilisation sur la planification du projet. On peut donc en disposer à différents moments et selon la criticité de la situation.

3.1 Utilisation des marges certaines

La marge certaine est un délai incompressible qui peut être utilisé par une activité et par elle seule. En cas de replanification ou de rééquilibrage du potentiel en ressources, ce type de marge peut être mis à profit sans même attendre que l'activité associée ait débuté. Dans tous les cas, on ne risque pas de compromettre la réalisation de la suite du projet.

3.2 Utilisation des marges libres

Une marge libre est un délai qui peut être utilisé par une activité sans risquer de décaler la date de début des activités suivantes. Ce type de marge se distingue de la précédente par le fait qu'elle est toujours susceptible d'être consommée par les activités qui précèdent. On ne peut être sûr d'en disposer qu'à partir du moment où l'activité associée a débuté.

3.3 Utilisation des marges totales

La marge totale est un délai dont on peut disposer sans risque de retarder la date de fin au plus tôt du projet. Son utilisation a toutefois pour effet de décaler la date de début des activités suivantes et par conséquent de réduire les marges libres de celles qui en possèdent. En consommant trop tôt la marge totale, on réduit la latitude d'exécution de toutes les activités suivantes. Pour cette raison on réserve de préférence leur utilisation à la résolution des situations critiques.

3.4 Consommation de la réserve de management

La réserve de management est une marge que la direction de projet se ménage sur la durée totale du projet pour absorber les retards dus à des événements exceptionnels et imprévisibles. Son utilisation est réservée à des cas critiques.

3.5 Maîtrise du chemin critique

Le chemin critique est une succession d'activités ne disposant d'aucune marge. Toute augmentation de la durée de l'une d'elles a pour effet de décaler la date de fin au plus tôt du projet. On doit donc leur porter une attention particulière, notamment en rééquilibrant à leur profit le potentiel disponible. Pour autant, le chef de projet ne doit pas trop focaliser son attention sur le chemin critique. Il risque de ne pas voir les problèmes rencontrés par certaines autres activités qui, en prenant du retard, peuvent à leur tour devenir critiques.

4 Renforcement de la capacité d'action

L'équipe de projet peut dans certains cas se trouver dans l'obligation de renforcer sa capacité d'action. Ceci est le cas notamment :

- quand elle se trouve confrontée à un problème imprévu qui dépasse sa compétence ;

– quand la charge de travail est trop importante pour assurer la réalisation de certaines activités dans les délais prévus.

Pour augmenter son potentiel en personnel et en matériel, elle doit avoir recours à des apports en ressources qui peuvent être fournis sous des formes diverses, soit par l'entreprise ou de l'organisme auquel elle appartient :

- apport des compétences d'autres services ;
- renforcement des équipes ;
- autorisation de recours aux heures supplémentaires ;
- affectation de moyens matériels supplémentaires ;

soit par l'extérieur :

- consultation d'experts ;
- assistance technique ;
- personnel intérimaire ;
- sous-traitance de certains sous ensembles ;
- location d'équipements spécifiques.

Il est évident que de telles solutions entraînent une augmentation des coûts directs. On les réserve donc en priorité pour les cas où le respect des délais ou des performances apparaît comme un facteur prioritaire. Dans tous les cas, le recours à un apport de moyens supplémentaires ne doit être envisagé qu'après avoir étudié les autres possibilités énoncées précédemment.

5 Renégociation des objectifs

Les objectifs fixés au lancement du projet constituent la référence pour le suivi des coûts (budget prévisionnel), des délais (planning de référence) et des performances (cahier des charges fonctionnel, spécifications techniques). Ils ont le plus souvent un caractère contractuel et ne peuvent pas de ce fait être remis en cause par le chef de projet.

Seule une instance décisionnelle telle que le maître d'ouvrage (pour les projets sur contrat) ou le groupe de pilotage (pour les projets internes) est habilitée à accepter une renégociation des objectifs. Cette décision à caractère exceptionnel doit permettre de rattraper des dérives jugées irréversibles. Celles-ci peuvent être motivées par des causes diverses telles que :

- la sous-estimation des difficultés ;
- l'arrivée d'un événement imprévu ;
- une modification du contexte de réalisation (évolution du besoin, modification des conditions économiques, ...).

La modification des objectifs entraîne une révision des documents de référence sous forme d'avenants. Ceci peut porter sur des points tels que :

- la révision à la baisse de certaines performances ;
- l'abandon de certaines fonctionnalités jugées non indispensables ;
- une augmentation des crédits alloués ;
- l'octroi de délais supplémentaires.

Annexe

Les progiciels de gestion de projet

L'expansion rapide de la micro-informatique a favorisé le développement des progiciels d'aide à la gestion de projet. Les avancées les plus significatives dans ce domaine résident surtout dans la souplesse d'utilisation et l'amélioration des possibilités graphiques qui ont permis d'enrichir les diagrammes d'une symbolique abondante (liens, marges, état d'avancement, matérialisation du chemin critique) riche en signification.

1 L'apport d'un progiciel

L'utilisation d'un progiciel est recommandée pour qui veut effectuer une préparation et suivi rigoureux. En effet, un tel outil permet d'évaluer périodiquement la situation et si nécessaire, de remettre en cause les prévisions. Mais ceci suppose la modification fréquente de représentations graphiques parfois complexes. De ce fait, la charge induite par les mises à jour successives risque de devenir très vite rédhibitoire sans le secours d'outils adaptés.

Les progiciels de gestion de projet peuvent être utilisés avec profit dans toutes les phases d'un développement.

- **durant la préparation**, ils permettent d'effectuer des simulations et ainsi, sur la base de plusieurs scénarios, de rechercher le meilleur compromis entre les délais de réalisation, les coûts et les contraintes d'utilisation des ressources ;

- **en phase de suivi**, outre les facilités offertes pour la mise à jour des plannings, ils peuvent fournir des synthèses sur l'avancement des travaux et l'état des dépenses. Ils peuvent également aider à détecter et à résoudre les situations bloquantes qui peuvent se présenter pour l'utilisation des ressources.

2 Les outils proposés

Les outils proposés s'articulent autour des deux grands pôles principaux de la gestion de projet que sont :

- la planification des activités ;
- la gestion des ressources.

Un logiciel de gestion de projet a pour avantage d'intégrer ces deux domaines complémentaires (voir chapitre 12). Ainsi, toute modification de la planification peut être évaluée au niveau de la charge d'utilisation des moyens. Inversement, il est facile d'évaluer les conséquences de l'indisponibilité d'une ressource sur la planification.

2.1 Les outils de planification

Les produits actuellement sur le marché supportent au moins deux méthodes de planification :

- **une méthode en réseau** du type « potentiels » ;
- **le diagramme de GANTT** enrichi de nombreux symboles (voir chapitre 11).

Ces deux représentations sont maintenues en cohérence, de ce fait toute modification opérée sur l'une est répercutée sur l'autre.

2.2 Les outils de gestion des ressources

Parmi les outils associés à la gestion de ressources on peut citer :

- **le dictionnaire des ressources**, qui permet entre autres de définir les moyens disponibles en personnel et en matériel, leur capacité de production, et leur coût d'utilisation ;
- **les calendriers** individuels et collectifs, qui permettent de définir les périodes de disponibilité et d'indisponibilité ;
- **les histogrammes de charge**, qui permettent de visualiser le taux d'utilisation de chacun des moyens.

2.3 Les fonctions complémentaires

A ces outils de base s'ajoutent des outils complémentaires tels que :

- la résolution automatique des conflits de ressources ;
- le contrôle de l'avancement physique ;
- le suivi des coûts.

Index

- actigramme 39
- actions correctives 171
- afficheur 133
- AMDEC 53
- analyse fonctionnelle 55
- arborescence technique du produit 76
- avancement physique 154

- budget de projet 92
- budget initial 93

- charge de travail 157
- chef de projet 70
- chemin critique 105
- concept de produit 9
- conception assistée par ordinateur 139
- contraintes 99
- Coût budgété du travail prévu 166
- Coût Budgété du Travail Réalisé 166
- Coût Réalisé du Travail Effectué 166
- cycle de vie d'un produit 48

- datagramme 43
- déploiement de la fonction qualité 15
- display manager 140

- équipe de projet 67
- estimation des coûts 85

- faisabilité 48
- fonction technique 123

- GANTT 104
- Grafcet 150
- grille de J.T. O'Meara 13

- IDEFØ 37
- intégration 78; 122

- jalón d'avancement 156

- langage évolué 152
- ligne budgétaire 94

- lot de travaux 75
- maîtrise des coûts 165
- maîtrise des délais 153
- management de projet 61
- marge libre 107
- marge totale 107
- marges 105
- marges certaines 108
- mesure de l'avancement physique 158
- méthode des potentiels 102
- microcontrôleurs 120
- microprocesseur 120
- mode de défaillance 55
- modules techniques 115

- normes 10

- optimisation des coûts 87
- organigramme technique de projet 75
- organigramme technique logiciel 148

- PERT 100
- programmation en assembleur 151
- programmation modulaire 151

- reporting 156
- risque 58; 153; 165
- risques de glissements 163

- saisie de schéma 140
- scénario 45
- schéma fonctionnel 123
- schéma synoptique 125
- schéma technique 125
- simulateur 141
- solution générique 123
- structure *ad hoc* 65
- suivi d'un projet 162
- système micro-informatique 129

- technologies-clefs 9
- test du concept 11

Bibliographie

• Ouvrages :

- AFITEP, *Le management de projet. Principes et pratiques*, AFNOR Gestion, 2^{ème} édition 1998.
- AFITEP, *Estimation des coûts d'un projet industriel*, AFNOR, 1995.
- AFITEP-AFNOR; *Dictionnaire de management de projet*, ouvrage collectif, 4^{ème} édition, 2000.
- AFNOR (Association française de normalisation), Tour Europe, Cedex 7, 92080 Paris La Défense. *Management de projet. Recueil des normes françaises* 1994.
- L'AMDEC, un atout pour les PMI – Recueil de conférences. *Textes des exposés présentés lors de la journée du 14 avril 1992 à Senlis*. Publication du CETIM, 1992.
- BRINER, W., GEDDES M., HASTINGS C., *Le manager de projet : un leader*, AFNOR, 1993.
- BROSSARD P., CHANCHEVRIER C., LECLAIR P. (Sous la direction de), *Ingénierie concourante. De la technique au social*. Ouvrage collectif, Paris, Economica, 1997.
- CALVEZ J.-P., *Spécification et conception des systèmes. Une méthodologie*; Paris, Masson, 1990.
- CAVAILLES J., *Méthodes de management de programme*, Toulouse, Teknea, 1991.
- CHAIGNEAU Y., PERIGORD M., *Du management de projet à la qualité totale*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1990.
- CHATELET J.-M., *Méthodes productique et qualité*, Paris, Ellipses, 1996.
- CHAUVEL A.-M., *Résoudre un problème. Méthodes et outils pour une meilleure qualité*, Paris, Dunod, 1992.
- CHVIDCHENKO I., CHEVALLIER J., *Conduite et gestion de projets*, Toulouse, CEPADUES Editions, 1993.
- COURTOT H., *La gestion des risques dans les projets*, Paris, Economica, 1998.
- DAVIDSON FRAME J., *Le nouveau management de projet*, AFNOR, 1994.
- DELAFOLLIE G., *Analyse de la valeur*, Paris, Hachette, 1991.
- DUCHAMP R., *La conception de produits nouveaux*, Paris, Hermès, 1998.
- ECOSIP – Sous la direction de Vincent GIARD et de Christophe MIDLER, *Pilotages de projet et entreprises – Diversité et convergences*, Paris, Economica, 1993.
- GARIN H., *AMDEC/AMDE/AEEL. L'essentiel de la méthode*, AFNOR (A savoir), 1994.
- GIARD V., *Gestion de projet*, Paris, Economica, 1991.
- GRAMACCIA G., *Les actes de langage dans les organisations*, Paris, L'Harmattan, 2001.
- HARAN G., *Méthode PERT*, Paris, Eyrolles, 1995.
- HERNIAUX G., *Organiser la conduite de projet*, Paris, INSEP Editions, 1992.
- JOLY M., LE BISSONNAIS J., MULLER J.-L. G., *Maîtrisez le coût de vos projets*, AFNOR, 1993.
- JOLY M., MULLER J.-L. G., *De la gestion de projet au management par projet. Maîtriser les risques d'une organisation transversale*, AFNOR, 2002.
- LISSARAGUE J., *Qu'est-ce que le PERT ?* Paris, Dunod, 1981.
- MAITRE P., MIQUEL D., *De l'idée au produit*, Paris, Eyrolles, 1992.

MARCINIAK R, PAGERIE M. (Sous la direction de), *Méthodes et outils de la gestion de projet*, Collection Management de projet, Editions Weka, 123.

MONTEIL B, PERIGORD M., RAVELEAU G., *Les outils des cercles et de l'amélioration de la qualité*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1985.

PETITDEMANGE Claude, *Le management par projet*, Paris, EFE, 1997

PROJECT MANAGEMENT IINSTITUTE, *Management de projet. Un référentiel de connaissances*, AFNOR, 1998

POGGIOLI P., *Pratique de la méthode P.E.R.T.*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1976

RAYNAL S., *Le management par projet*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1996.

SIMONET J. & R., *Le management d'une équipe*, Paris, Les Editions d'organisation, 1987.

TASSINARI R., *Pratique de l'analyse fonctionnelle*, Paris, Dunod, 1992.

TISSIER D., *Guide pratique pour la gestion des unités et des projets*, Paris, INSEP Editions, 1987.

VALLET G., *Techniques de planification de projets*, Paris, Dunod, 1991.

YOKI A., *QFD – Prendre en compte les besoins du client dans la conception du produit*, AFNOR 1993

VIGIER M.G., *La pratique du QFD*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1992.

VILLEMAIN C., *La planification opérationnelle. Objectifs, méthodes et métiers de la planification de projet*, AFNOR, 1991.

• Articles

COUILLARD J., NAVARRE, C., Quels sont les facteurs de succès des projets ? Faut-il plus d'organisation ? Plus d'outils ? Plus de communication ? Plus de planification ? in : *Management & Prospective*, Vol. 9, n° 2, 1993, pp. 167-190.

JOLIVET F., *Manager l'entreprise par projets. Les métarègles du management par projet*, 2003.

LEROY D., Le management par projets : entre mythes et réalité, in : *Revue Française de Gestion*, janvier-février 1996, pp. 109-120.

MIDLER C., *Le responsable de projet, portrait d'un rôle d'influence*, in : *Gestion 2000 - Management & Prospective*, Vol. 9, n° 2, 1993, pp. 123-148.

NAKHLA M., SOLER L.-G., *Pilotage de projet et contrats internes*, in : *Revue Française de Gestion*, septembre-octobre 1996, pp. 17-29.

Il en est de même pendant la réalisation, où tout retard, toute modification intervenant dans la planification devra faire l'objet d'une étude globale, permettant ainsi d'évaluer les incidences sur les autres projets en cours.

Les situations d'exclusion mutuelle entre des projets concurrents pour l'utilisation d'une même ressource sont bien entendu inévitables. C'est pourquoi, à défaut de trouver une solution négociée et afin d'être en mesure de déterminer ce qui doit être réalisé en urgence et ce qui peut être mis en attente, il sera alors nécessaire comme on le voit sur la figure 6, de recourir à l'arbitrage d'une autorité (hiérarchique ou fonctionnelle) habilitée à définir les priorités stratégiques.

Pour l'exemple choisi, la société avait développé le « *Chrono dégel* », une chambre de désurgélation rapide qui permet d'optimiser la production de plat cuisinés.

Un premier point d'analyse peut être constitué par l'apparence du produit à concevoir.

Les pâtons congelés sont placés sur des chariots qui doivent pouvoir être utilisés aussi bien dans le Chrono Pouss' que dans un four électrique industriel : on peut en déduire que le Chrono Pouss' va avoir l'aspect d'un four électrique industriel.

Il doit conserver les pâtons surgelés en attendant de déclencher leur fermentation : il va aussi ressembler à une armoire frigorifique.

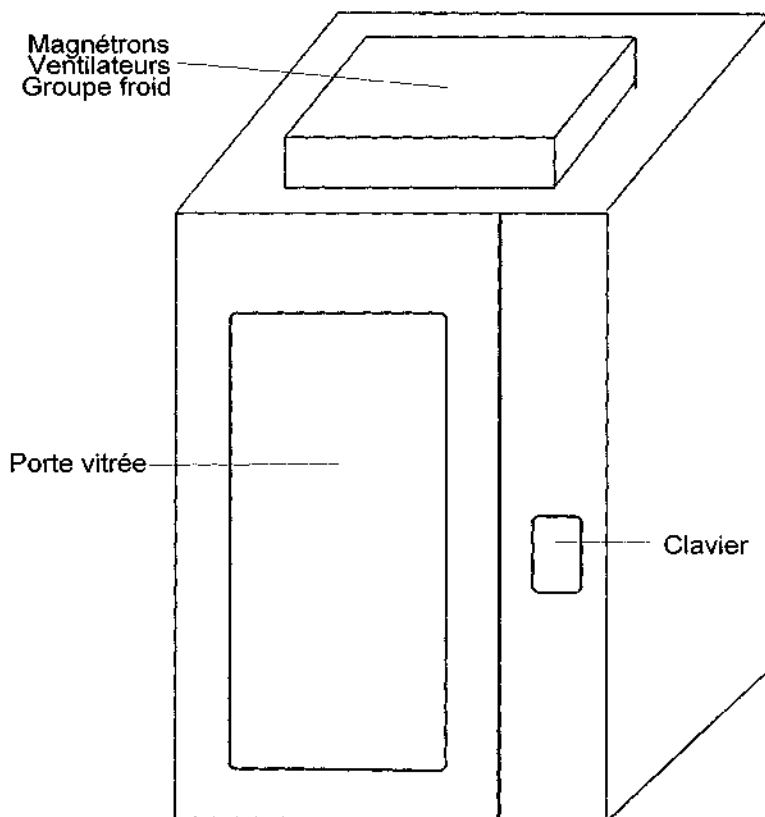
Un deuxième point concerne les cotes d'encombrement.

Dans les boulangeries modernes, la surface au sol est réduite. Par contre la hauteur sous plafond est standard. L'encombrement au sol doit être minimum : on placera de préférence les générateurs micro-ondes, les magnétrons, au dessus de l'armoire.

Un troisième point concerne le générateur micro-ondes.

Le point commun aux deux produits, « *chrono dégel* » et « *chrono pouss'* » est l'utilisation d'un applicateur micro-ondes constitué d'un ensemble d'antennes mobiles (système breveté) : les antennes doivent se déplacer au dessus du produit à décongeler.

Ces quelques considérations permettent de dessiner un premier croquis du « *chrono pouss'* » (figure 1). Ce croquis va servir de base à la décomposition technique du projet et à la réalisation de l'organigramme technique.



3 Décomposition en niveaux élémentaires

Après avoir décomposé le projet en grandes lignes, il faut rechercher dans chaque sous ensemble les niveaux élémentaires. Un niveau élémentaire correspond à un élément dont la réalisation peut être maîtrisée dans le temps (un début et une fin) par un ou plusieurs individus.

Finalement, la décomposition du système technique suivant un critère physique aboutit à une description de produits élémentaires qui pourraient « pratiquement être achetés » dans le commerce ou sous-traités. Cette décomposition est rarement triviale car de nombreux projets sont porteurs d'innovation et par conséquent un certain nombre de produits élémentaires sont entièrement à concevoir.

Pour chaque élément de l'organigramme technique du produit, il faut s'interroger sur son état éventuellement existant, c'est à dire déjà développé en tout ou en partie sur un autre projet. On peut en déduire l'importance des efforts de développement à déployer pour concevoir cet élément. Pour mieux apprécier l'effort de développement à produire, on peut classer les éléments du produit en catégories¹.

– La catégorie 1

Cette catégorie concerne les éléments produits totalement nouveaux et donc à développer entièrement. Toutes les connaissances sont à acquérir et tous les dossiers de conception et de fabrication sont à formaliser. Exemple : l'armoire, les logiciels de commande.

– La catégorie 2

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés mais pour des exigences différentes et moins contraignantes. Des connaissances complémentaires sont à acquérir ; les dossiers sont à adapter au projet concerné. Exemple : les cartes d'entrées et de sorties.

– La catégorie 3

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés pour des exigences similaires et ne nécessitant qu'un complément de vérification. Les solutions génériques entrent dans cette catégorie de produit. Exemple : la gestion du clavier.

– La catégorie 4

Cette catégorie concerne les éléments produits déjà développés par ailleurs et pouvant être insérés tel quel dans le projet. Les produits « fonctions » peuvent être classés dans cette catégorie. Exemple : les antennes.

– La catégorie 5

Cette catégorie concerne les éléments produits « existants » et insérés tels quels dans le projet. Cette catégorie concerne notamment les produits achetés clés en mains. Exemples : les magnétons, les ventilateurs.

Pour les projets de taille moyenne tel que celui choisi pour exemple, il est important de réduire au minimum les éléments de la catégorie 1, à savoir les éléments totalement nouveaux. Dans le cas où cette catégorie reste incontournable, il faut être très vigilant sur l'évaluation du temps à passer pour développer les éléments nouveaux. Comme on l'a déjà mentionné par ailleurs le temps de développement correspond à la partie la plus importante du budget d'un projet de taille moyenne.

¹I.Chvidchenko, J.Chevallier, Conduite & gestion de projet, Cépadués-éditions, Toulouse, 1993

Sur ce système on trouve :

- les magnétrons, à raison de un par antenne ; chaque magnétron est associé à un guide d'ondes (antenne).
- le groupe froid, qui est un élément du commerce (catégorie 5) ;
- les évaporateurs, constitués de résistances chauffantes, de ventilateurs et de buses d'injection d'eau ;
- les ventilateurs, qui assurent le refroidissement des magnétrons et un brassage de l'air de l'enceinte.

On peut remarquer que certains éléments tels que les magnétrons, le groupe froid, constituent des éléments achetés dans le commerce ; ils entrent dans la catégorie 5. Chaque magnétron est associé à un applicateur de micro-ondes. Cet applicateur est réalisé en profilé spécialement étudié pour des applications industrielles réalisées par la société maître-d'oeuvre de la chambre de fermentation. L'ensemble magnétron applicateur est considéré comme un élément de la catégorie 3. Cet exemple montre qu'il n'est pas toujours aisé de décomposer un projet en éléments puisqu'il est possible d'aller plus ou moins loin dans cette décomposition. Par contre si un ensemble peut constituer un élément, il est souhaitable d'arrêter la décomposition à ce niveau dans la description globale du projet.

4.3 Le système électronique

Les systèmes micro-informatiques à base de microcontrôleurs se prêtent bien au découpage de la gestion des tâches comme cela est expliqué au chapitre 9. Le microcontrôleur joue le rôle du fédérateur entre des tâches éclatées telles que la gestion d'un clavier, la gestion d'un afficheur LCD, la gestion d'entrées (capteurs) et la gestion de sorties (actionneurs). Chaque tâche annexe peut être étudiée séparément comme on vient de le voir dans les paragraphes précédents. On a représenté sur la figure 6 le découpage matériel d'un ensemble à base de microcontrôleur.

En 1971, Ted Hoff, ingénieur travaillant pour la société Intel, inventait le premier **microprocesseur**. Un microprocesseur est un circuit intégré composé de dizaines de milliers de transistors et capable d'effectuer plusieurs millions d'opérations par seconde. La fonction de ce composant ne dépend pratiquement pas du composant lui-même mais du programme qui le pilote. Avec cette invention, il a amené une grande flexibilité dans la conception des systèmes micro-informatiques. Depuis cette date les circuits programmables n'ont pas cessé d'évoluer. Une évolution particulièrement intéressante du microprocesseur est le microcontrôleur. Un microcontrôleur est un super circuit intégré qui incorpore à la fois un microprocesseur, des circuits périphériques programmables et la mémoire programme permettant de faire fonctionner le tout.

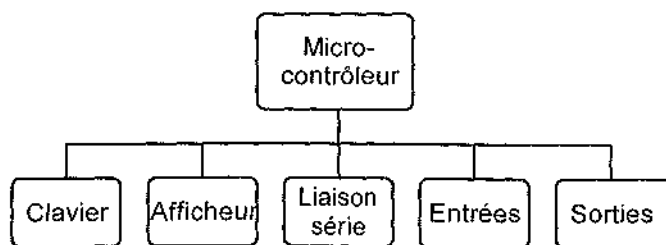


Figure 6 – Organigramme technique matériel d'une carte microcontrôleur

On peut remarquer aussi que les circuits électroniques sont assemblés sur des circuits imprimés appelés cartes électroniques. Il est tentant de découper le projet électronique

de la quantité de travail, soit en fonction du degré d'innovation des éléments constituant le lot de travaux.

6 La phase d'intégration

L'opération d'intégration (ou assemblage) des différents éléments constitue une phase importante dans la gestion technique du projet (voir chapitre 9). C'est au cours de cette phase qu'apparaissent les éventuels oublis. Certains problèmes ne sont mis en évidence que lorsque le produit est totalement assemblé. On peut se rendre compte par exemple que, sur une machine automatique, des sécurités supplémentaires doivent être ajoutées au système. Il serait dommage, dans un tel cas, que les cartes électroniques n'aient pas d'entrées disponibles pour gérer ce nouveau cas de figure. Dans la conception des éléments, il est important, à chaque fois que cela est possible, de conserver le maximum de flexibilité et d'adaptabilité. Ces cas de figure sont en général faciles à mettre en oeuvre sur les systèmes électroniques programmables. Il ne faut pas évidemment tomber dans l'excès inverse en laissant des zones d'ombre qui seront résolues plus tard.

On donne sur la figure 9 une vue éclatée du prototype de la chambre de fermentation en fin de réalisation (documentation de la société 3 AMI).

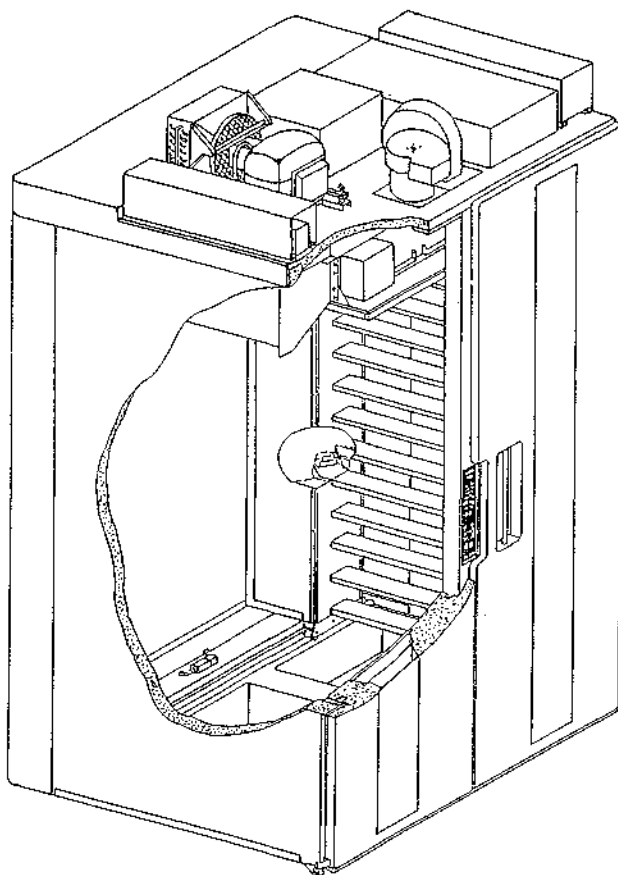


Figure 9 – Vue éclatée du « Chrono pouss' »

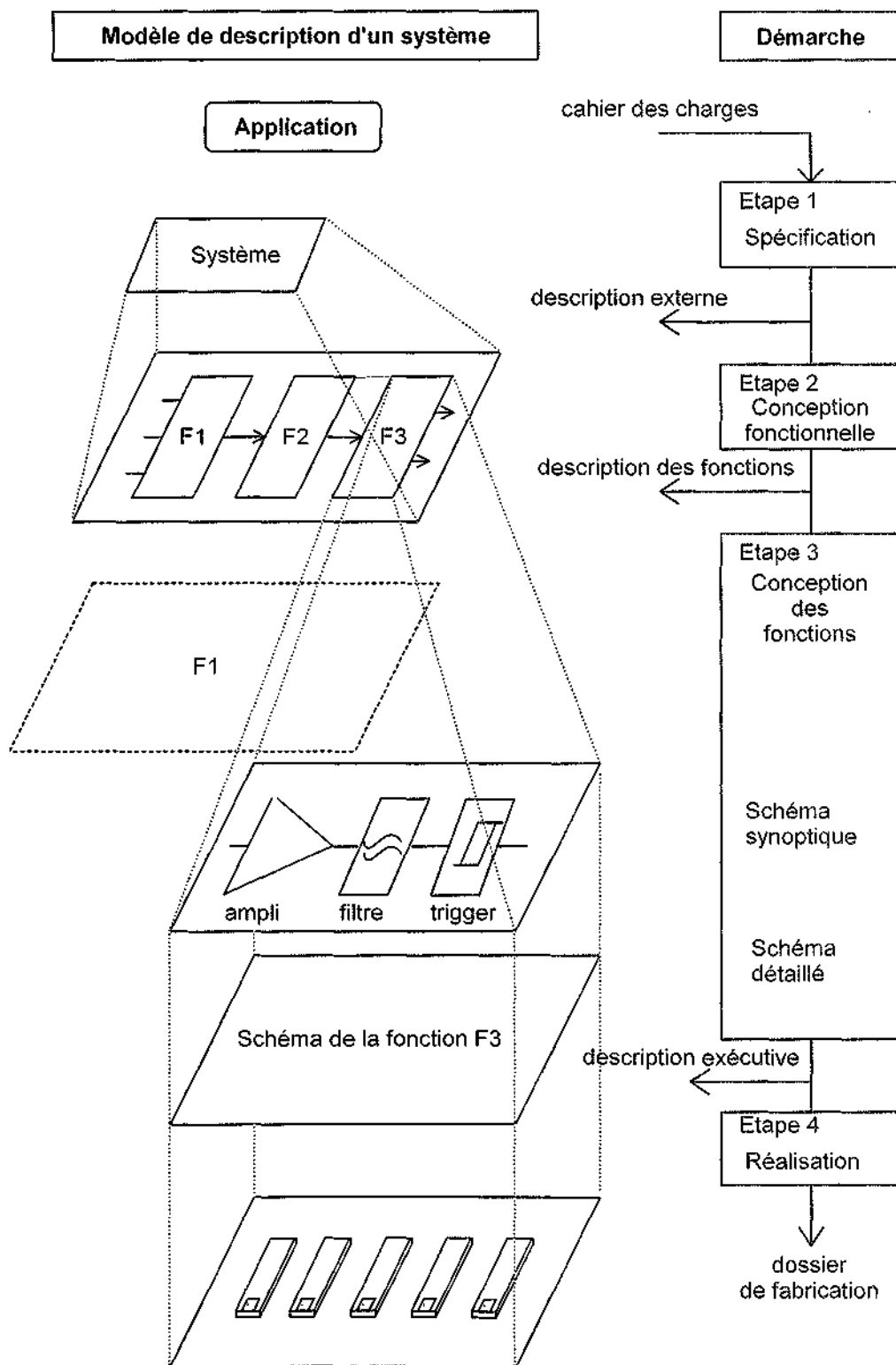


Figure 1 – Vue éclatée d'un schéma hiérarchisé

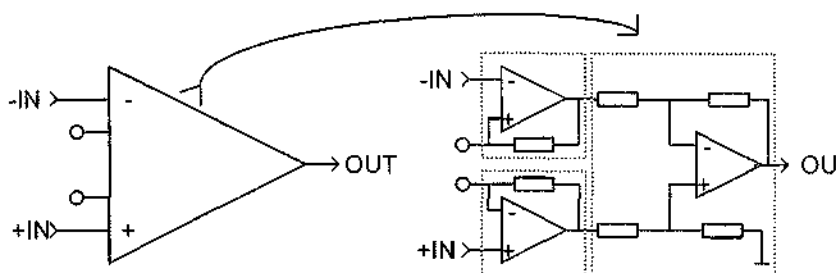


Figure 3 – Symbole d'un amplificateur d'instrumentation

On voit à travers cette description qu'un ensemble électronique ou qu'un simple composant est très rapidement à lui seul un petit projet. Pour concevoir une carte électronique, il est indispensable d'en analyser sa structure sous une forme fonctionnelle en essayant de séparer au mieux les différents niveaux de décomposition. En outre, les éléments ou les ensembles d'éléments doivent être conçus, dans la mesure du possible, sous la forme de fonction ou de bloc générique, c'est à dire sous une forme permettant de les réutiliser facilement dans d'autres projets.

1.1 Décomposition en solution générique

On peut montrer sur un exemple simple, une alimentation stabilisée, l'intérêt de retenir une solution générique.

Hormis les montages électroniques qui fonctionnent sur pile ou sur batterie, la majorité des montages électroniques utilisent une alimentation basse tension. La source d'énergie est généralement fournie par le secteur. Il existe essentiellement deux types de montage : les alimentations à fonctionnement linéaire et les alimentations à découpage.

Prenons comme exemple l'étude d'une alimentation linéaire à tension de sortie unique. Pour isoler l'utilisateur du secteur et abaisser la tension, on utilise en entrée un transformateur. La tension fournie au secondaire est redressée par des diodes, puis elle est filtrée par un condensateur électrochimique de forte capacité. Le plus simple est ensuite de placer un régulateur intégré qui permet d'obtenir la tension souhaitée. Le schéma fonctionnel représenté sur la figure 4 fait intervenir une suite de quatre fonctions : transformation, redressement, filtrage et régulation.

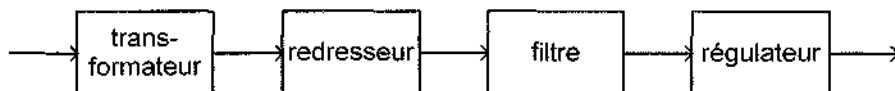


Figure 4 – Schéma fonctionnel d'une alimentation stabilisée

Mis sous cette forme, le schéma fonctionnel d'une alimentation 5V, 100mA ou d'une alimentation 12V, 2A est identique. Le schéma détaillé reste le même, seul le dimensionnement des composants varie en fonction de la puissance à dissiper et de la tension à obtenir. Il est très facile dans ces conditions de programmer le calcul des éléments en fonction de la tension et de l'intensité désirées.

Le dessin du circuit imprimé peut être établi à l'avance. Il suffit ensuite de l'adapter à la taille des composants. Il est donc très rapide, avec cette méthode, de créer rapidement des alimentations stabilisées à la demande. Les outils modernes de programmation et de C.A.O., s'ils sont bien maîtrisés, permettent d'obtenir une solution dans des délais très courts.

Au regard de cette description, on peut se rendre compte qu'une solution générique est proche d'une solution clé en main. Certes, il est possible de trouver sur le marché des

bobines, on obtient un déplacement de 4 pas par tour. Dans ce mode de fonctionnement, les bobines sont constamment excitées et le couple de maintien est maximum. En panachant les deux modes de fonctionnement précédents, on peut faire fonctionner le moteur en mode demi-pas ; on obtient dans ce cas huit pas par tour. Le moteur à 200 pas par tour est transformé en moteur à 400 pas par tour.

Pour résumer, la commande d'un moteur pas à pas consiste soit à alimenter ou non un ensemble de deux bobines, soit à commuter ou non le sens du courant à travers ces deux bobines. Le schéma de principe est donné sur la figure 6.

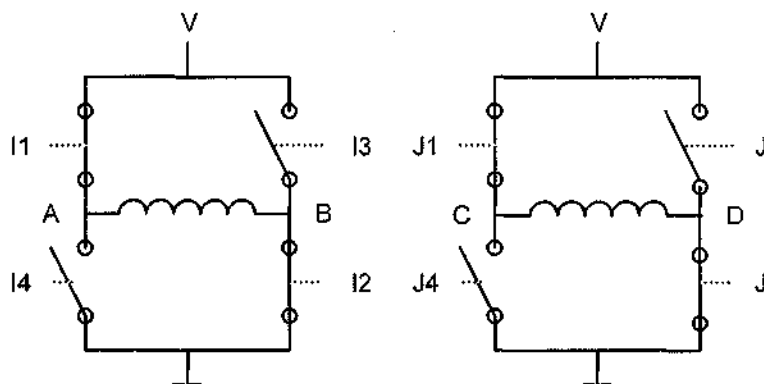


Figure 6 – Commutation du courant dans les bobines d'un moteur pas à pas

Les commutations doivent être réalisées dans un ordre préétabli. Ces commutations peuvent être assurées soit par le logiciel du système micro-informatique, soit par des circuits intégrés spécialisés.

Si les commutations sont réalisées directement par le système micro-informatique, le programme correspondant est fortement dépendant des ressources du microprocesseur implanté dans le système. Le programme et le schéma du circuit de commande sont difficilement utilisables dans une autre application.

Par contre, la solution réalisée à partir de circuits intégrés spécifiques est préférable car elle est indépendante du système micro-informatique. Elle permet de développer une carte de commande sous la forme d'une fonction indépendante du projet dans lequel elle est insérée.

Le schéma fonctionnel de la carte réalisant la fonction de commande d'un moteur pas à pas est donné sur la figure 7.

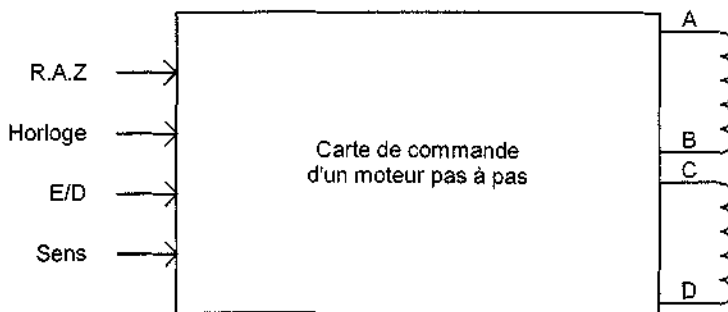


Figure 7 – La fonction commande d'un moteur pas à pas

Les signaux à envoyer sur la carte de commande sont :

- remise à 0 de la carte (RAZ) ;

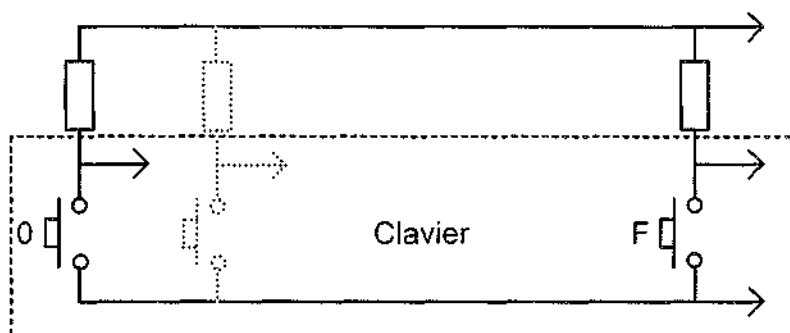


Figure 8 – Clavier non matricé

La technique de câblage la plus communément utilisée consiste à agencer l'ensemble des boutons-poussoirs sous la forme d'une matrice 4 par 4. Cet agencement est représenté sur la figure 9. Dans ce mode de fonctionnement, l'appui sur un bouton-poussoir vient mettre en contact le fil d'une ligne avec le fil d'une colonne. Ce type de clavier ne nécessite plus que 8 fils de liaison. La gestion informatique d'un tel clavier est moins immédiate que dans le cas précédent.

En procédant avec méthode, on peut dégager une procédure générale de traitement du décodage de la touche enfoncée. Pour détecter qu'une touche est enfoncée, il faut envoyer une information 0 sur les lignes et rechercher sur quelle colonne on retrouve cette information. Au repos, les colonnes sont tirées vers la tension d'alimentation à travers des résistances ; elles sont toutes à l'état 1.

Pour détecter quelle est la touche appuyée, il existe plusieurs méthodes de détection.

Une méthode consiste à envoyer sur les lignes une information 0 et à lire les colonnes. Examinons les résultats donnés par cette méthode sur le décodage des touches du clavier représenté sur la figure 9. Si, par exemple, la touche 2 est enfoncée, on va lire l'information 0 sur la colonne 3. Puis on envoie l'information 0 sur les colonnes et on vient lire les lignes. Dans ce cas, on va lire un état 0 sur la ligne 1. Cette procédure permet de détecter que la touche enfoncée est à la croisée de la ligne 1 et de la colonne 3 ; on a détecté l'appui de la touche notée 2. Cette méthode dite de retournement des lignes et des colonnes est astucieuse et présente l'avantage de générer peu de codes.

	lignes		colonnes
	4 3 2 1		4 3 2 1
écriture des lignes	0 0 0 0	lecture des colonnes	1 0 1 1
lecture des lignes	0 0 0 1	lecture des lignes	0 0 0 0

Elle présente toutefois l'inconvénient d'être restrictive à un système micro-informatique possédant des lignes d'entrées et de sorties bidirectionnelles. Elle est contraire à l'esprit de gestion de projet car elle n'est pas suffisamment universelle pour être utilisée couramment.

Une deuxième méthode consiste à envoyer successivement un état 0 sur les lignes et à lire l'information sur les colonnes. Par exemple, si on a envoyé un état 0 sur la ligne 3 et si on lit un état 0 sur la colonne 2, on a détecté l'appui sur la touche 9. Pour gérer ce clavier, on a besoin de 4 fils de sortie et de 4 fils d'entrée. Dans le cas précédent, il fallait 2 fois 4 fils utilisables aussi bien en entrées qu'en sorties. Les ressources matérielles du système micro-informatique, pour traiter cette deuxième méthode, sont moins restrictives que dans le cas précédent.

On peut remarquer qu'avec cette méthode il est très facile de modifier l'affectation des touches. Par exemple, l'information « lignes = 1011 » associée à l'information « colonne = 0111 » permet de détecter la mise en contact de la ligne 3 et de la colonne 4. Cette information correspond à la ligne 12 des tables 1 et 2, il suffit de pointer sur le même numéro de ligne de la table 3 (tableau 1) pour avoir l'information de la touche décodée. L'information à placer dans la table 3 (tableau 1), c'est à dire la valeur de la touche à décoder, dépend de la sérigraphie portée sur la touche. La table 3 (tableau 1) est facile à modifier en fonction des repères portés sur les touches des claviers.

On peut montrer tout l'intérêt de la méthode en reprenant le cas de la chambre de fermentation pour pâte à pain. Sur ce projet l'utilisateur avait besoin de 24 touches sur la face avant de son appareil.

Pour résoudre ce problème, il suffit d'ajouter deux lignes de commandes et de conserver les quatre colonnes. La seule modification à effectuer au programme consiste à éditer de nouvelles tables 1, 2 et 3 (tableau 2). Le balayage de la table étant effectué en déplaçant un pointeur du début à la fin de la table, le programme est indépendant de la longueur de la table.

	Table1		Table 2		Table 3
	Sorties		Entrées		
n°	Lignes		Colonnes		Touches
1	111110		1110		F
2	111110		1101		3
--	--		--		--
23	011111		1011		M
24	011111		0111		N

Tableau 2 - Table de décodage d'un clavier 24 touches

Cette solution, immédiate, n'était cependant pas compatible avec le reste du projet car il ne restait pas de fil de commande disponible sur le système micro-informatique pour passer de 4 lignes à 6 lignes.

Pour résoudre ce petit problème, il suffit d'insérer entre les 4 fils de sortie et le clavier un circuit intégré effectuant un décodage de l'information obtenue sur trois fils vers huit sorties différentes. Ce circuit est un décodeur 3 vers 8. On utilise seulement 6 sorties du décodeur pour attaquer le clavier. Le schéma de ce montage est donné sur la figure 10.

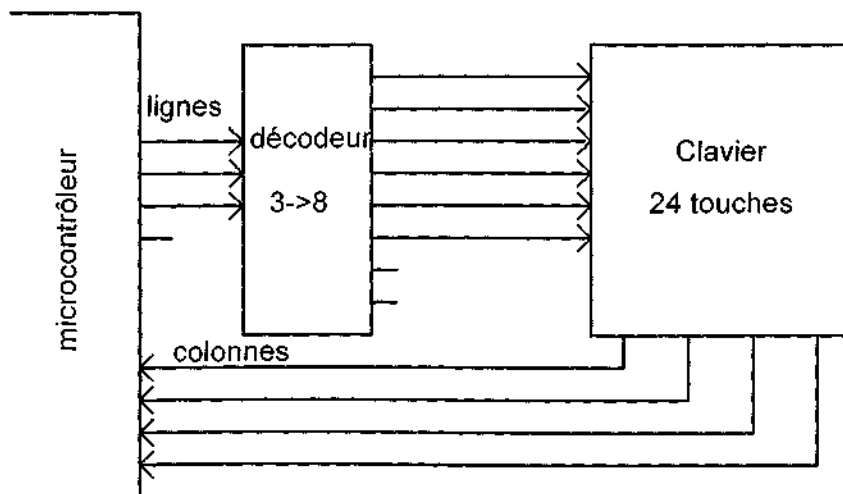


Figure 10 - Gestion d'un clavier à 24 touches

La chambre de périfusion programmable a pour fonctions principales la programmation des temps de périfusion de cultures cellulaires et la régulation de leur température à 37°C. Les cultures cellulaires sont placées dans quatre boîtes de Pétri et sont périfusées en continu grâce à un système d'aspiration. Chaque culture peut recevoir un milieu nutritif ou un milieu de stimulation. L'automatisme permettant de contrôler la périfusion des cultures cellulaires consiste à piloter dans le temps un ensemble de huit micro-électrovannes.

Une variante de ce système est le « débiteur de solution ». Sur cet appareil les cultures cellulaires sont placées dans une seule boîte de Pétri et elles peuvent être soumises à la stimulation de plusieurs milieux.

Le compteur de poissons a pour fonction principale de détecter le passage de poissons à travers un capteur tubulaire placé dans une échelle à poisson. Il enregistre l'heure et le sens de passage des poissons ainsi que leurs tailles.

La fonction principale des produits qui viennent d'être cités est totalement différente pour chaque automatisme. On peut cependant dégager un point commun au dialogue de la programmation de ces appareils. Pour cela il suffit d'analyser quelques lignes de dialogue concernant chacun de ces appareils.

La chambre de périfusion, le débiteur de solution constituent une gamme de produit consistant essentiellement à piloter dans le temps un ensemble d'électrovannes et à effectuer des régulations de température. Il est facile d'imaginer que, dans ce cas, le type de dialogue concernant cette gamme de produit est tout à fait identique.

Prenons comme exemple le cas de la chambre de périfusion. Cet appareil permet de périfuser en continu des cultures cellulaires placés dans quatre boîtes de Pétri. Chaque culture peut être soumise à un milieu nutritif appelé « Blanc » ou à milieu de stimulation appelé « Test ». La programmation de ce système consiste à entrer des durées de périfusion, Blanc ou Test, pour chacune des quatre boîtes. Les informations sont affichées sur un afficheur à cristaux liquides de deux lignes de vingt caractères non accentués. A la mise sous tension de l'appareil, on affiche une suite de message de présentation. On affiche ensuite des messages indiquant à l'opérateur les opérations qu'il a à effectuer (Figure 11). Par exemple, lorsque les électrovannes « TEST » sont ouvertes, l'opérateur peut placer les cathéters correspondants. Une fois que les cathéters « TEST » sont placés, il suffit de valider l'opération en appuyant sur la touche « étoile » et de continuer les opérations indiquées sur l'afficheur.

Placer les catheters Test, puis valider *
Placer les catheters Blanc, puis valider *

Figure 11 – Messages d'action.

Ensuite l'opérateur doit entrer les données de programmation. Par exemple il doit indiquer la valeur de la température, la durée de l'expérience sur la voie 1, etc. Il doit pouvoir modifier la valeur des caractères qui sont donnés en gras sur l'exemple de la figure 12.

Temperature : 37°C
Voie 1: BLANC 1:10TEST 1:04

Figure 12 – Messages d'interrogations

Le texte à afficher correspondant au dialogue avec l'utilisateur est placé en mémoire. Pour repérer le début du fichier, la fin d'une page ou un retour à la ligne on utilise les caractères normalisés du code ASCII. Un premier pointeur permet de pointer sur le texte à afficher.

Pour repérer l'emplacement des données insérées dans le texte, on utilise le caractère de substitution *SUB*. Un deuxième pointeur permet de pointer sur la zone de données. Chaque code *SUB* inséré dans le texte est ensuite remplacé par une donnée.

Pour afficher du texte et des données, il faut :

- positionner un premier pointeur sur le texte,
- positionner un deuxième pointeur sur les données,
- appeler le sous programme d'affichage.

Le sous-programme d'affichage est indépendant du type d'afficheur (dans les limites du choix initial) et du nombre de données. Le module de programme a été écrit pour la chambre de périfusion et il a été amélioré sur les exemples suivants.

On donne sur le fichier qui suit un exemple de texte à écrire dans le programme pour afficher le dialogue de la figure 14. Sur cet exemple les codes FCC ou FCB sont spécifiques du langage informatique propre à un microprocesseur donné (assembleur Motorola). Chaque ligne est commentée pour permettre au lecteur de suivre les informations données dans cet exemple. Les codes SOH, DTX, ETX, EOT, CR sont des codes normalisés du code ASCII. Les codes SUB permettent de repérer l'emplacement des données. Le module de programme de gestion de l'affichage des questions et des réponses vient gérer l'ensemble de ces repères. En procédant de cette façon, la modification des questions et de l'emplacement des réponses consiste à éditer des fichiers similaires à celui donné ci-dessous.

TEXTE_1:

FCB	SOH	début du fichier
FCB	DTX	début d'une page
FCC	'Gestion de l'heure'	texte
FCB	CR	retour à la ligne
FCC	'Entrer l'heure :'	texte
FCB	SUB,SUB,'H',SUB,SUB	données
FCC	'mn'	texte
FCB	SUB,SUB,'s'	données et texte
FCB	ETX	fin de page
*page suivante		commentaire
FCB	DTX	début de page
FCC	'Jour :'	texte
FCB	SUB	donnée
FCC	'Date :'	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCB	CR	retour à la ligne
FCC	'Mois :'	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCC	Annee :	texte
FCB	SUB,SUB	données
FCB	ETX	fin de page
FCB	EOT	fin de fichier

En utilisant cette méthode d'affichage, le temps à passer pour écrire l'interface utilisateur d'un automate quelconque est maintenant très réduit et facilement quantifiable. Le temps de développement dépend presque essentiellement de l'écriture des questions qui

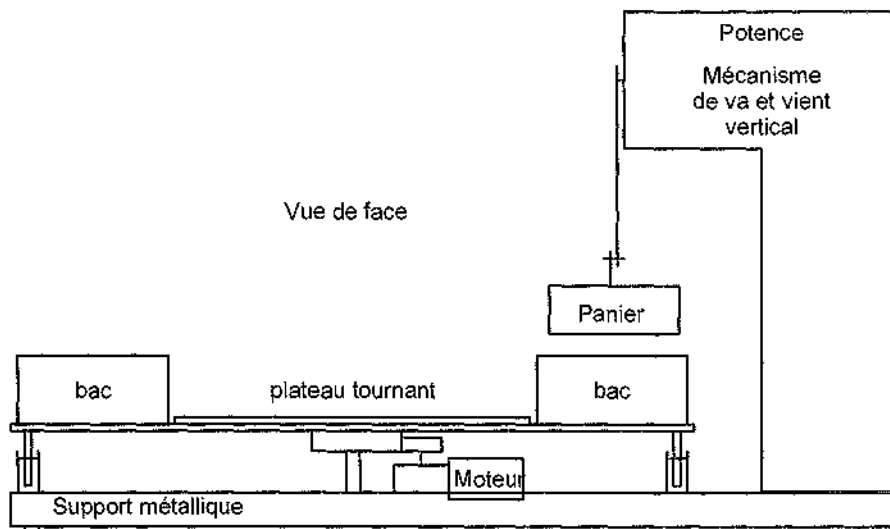


Figure 15 – Schéma de l'automate de coloration

Pour ce type d'appareil il faut présenter à tour de rôle 20 flacons, contenant des sédiments, devant un support. Il faut ensuite boucher le flacon, injecter de l'acide chlorhydrique et enregistrer la montée en pression du dégagement gazeux.

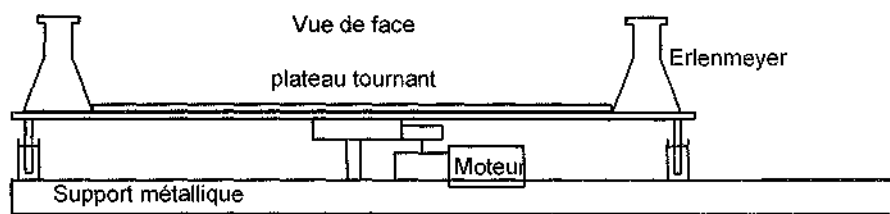


Figure 16 – Plateau tournant du calcimètre automatique

La partie concernant le plateau tournant est représentée sur la figure 16. On peut voir qu'elle est en tout point similaire à celle de l'automate de coloration. Il suffit d'adapter l'échelle du plateau à celle du nouveau produit. Le nouveau plateau doit pouvoir recevoir vingt flacons de quatre centimètres de diamètre. La puissance du moteur est adaptée à la nouvelle charge.

La potence amovible est conçue pour recevoir un électro-aimant qui assure la fermeture du flacon et pour recevoir un système d'injection de l'acide chlorhydrique.

Ce dernier exemple montre une fois de plus tout l'intérêt d'adopter des solutions génériques aussi bien dans la conception de systèmes électroniques ou micro-informatiques que de systèmes mécaniques.

Au fil des projets, le concepteur pourra se constituer une puissante base de données qui lui permettra d'accroître sa productivité au niveau de la conception. Pour être efficace, l'adoption de solutions génériques doit s'appuyer très largement sur les moyens informatiques modernes tels que la conception assistée par ordinateur.

En conception verticale (figure 1) il faut commencer par saisir le schéma, le valider par des simulations avant de passer à la réalisation du circuit imprimé. En cas d'erreur en cours de route, il est nécessaire de repasser par toutes les étapes. Avec ce type de structure, il est très difficile de travailler à plusieurs sur un même projet.

En conception horizontale (figure 2) ou « concurrent engineering », il est possible de modifier partiellement le schéma à l'issu d'une simulation et de « rétroannoter » le schéma si les résultats de la nouvelle simulation conviennent. De la même façon, il est possible de commencer à travailler sur la conception du circuit imprimé sans que le schéma soit complètement validé. Avec ces nouvelles méthodes, il est assez commode de travailler à plusieurs sur un même projet.

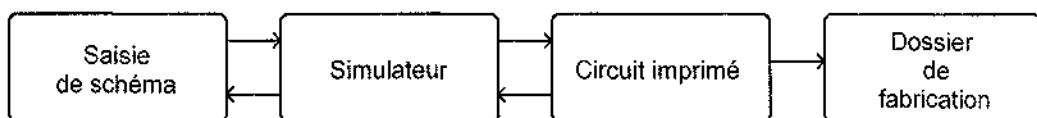


Figure 2 – Conception horizontale

1.1 Le « display manager »

La complexité d'un ensemble électronique est telle que pratiquement tous les logiciels de conception électronique intègrent un logiciel de gestion de projet. Ces logiciels permettent de structurer la conception de l'ensemble électronique sous une forme arborescente similaire à un organigramme technique. Le « display manager » permet de gérer correctement les fichiers de l'ensemble des intervenants sur un même projet. Il maintient à jour les liaisons entre les fichiers d'un projet unique.

1.2 La saisie de schéma

De la même manière que les machines à écrire ont disparu des secrétariats au profit d'ordinateurs équipés de traitement de texte, les tables à dessin ont disparu des bureaux d'études de conception électronique au profit d'ordinateurs équipés de saisie de schéma. Il n'est plus envisageable de dessiner un schéma autrement qu'à l'aide d'un outil informatique. Le schéma est construit à partir de composants modélisés de la bibliothèque. Le concepteur peut assembler ces composants selon ses besoins et spécifier la valeur des composants paramétrables (valeur des résistances, des condensateurs, etc.). Le logiciel permet de vérifier la syntaxe associée aux différents symboles du schéma et d'effectuer quelques vérifications sur les connexions électriques.

La saisie de schéma permet aussi d'encapsuler un schéma dans un bloc fonctionnel, de le vérifier et de l'archiver pour l'utiliser ultérieurement comme un composant. Tous les schémas peuvent facilement être modifiés et remis à jour. La saisie de schéma est donc l'outil de base de la CAO électronique.

Un bon logiciel de saisie de schéma va permettre au fil des projets de constituer une bibliothèque de schémas qu'il sera possible d'adapter rapidement à d'autres projets. On retrouve ici les éléments de la catégorie 2 et 3 de l'organigramme technique décrits au chapitre 13. Il est possible, par exemple, de constituer une bibliothèque de schémas d'alimentations linéaires ou à découpages couvrant un grand nombre d'applications. Si la bibliothèque est suffisamment fournie, il suffit d'adapter les tensions de sortie et la puissance de l'alimentation. Le schéma reste le même, il n'y a que la valeur de quelques composants à modifier pour adapter l'alimentation au projet en cours d'étude.

1.6 Les dossiers de fabrication

Le logiciel de fabrication est le dernier maillon de l'outil de CAO. En CAO électronique, il permet d'obtenir :

- les dessins des circuits imprimés et des découpes à effectuer ;
- les films de fabrication des circuits imprimés (sérigraphie de l'implantation des composants, vernis épargne, couches de cuivre, etc.) ;
- les fichiers de perçage (qui permettent de réaliser des perçages automatiques) ;
- les listes des composants avec les informations nécessaires à la fabrication telles que les valeurs, les références, la quantité par valeur, etc..

2 La conception assistée en mécanique

On retrouve en conception assistée par ordinateur en mécanique une méthodologie comparable à celle utilisée en conception assistée en électronique. L'outil de saisie de l'information est le module de dessin (2D) ou de conception (3D). Il est ensuite possible d'effectuer divers calculs de résistance des matériaux, d'encombrement, de cinématique.... Les simulateurs permettent de visualiser par exemple la déformation de pièces soumises à des contraintes. Le dernier maillon de la chaîne (module FAO) permet de piloter directement les machines outils à commandes numériques.

2.1 Dessin assisté par ordinateur

L'outil de dessin assisté par ordinateur est devenu l'outil de base de la mécanique. Il permet de modifier rapidement un dessin existant et de faire appel à des pièces standard disponibles en bibliothèque. Sur de nombreux projets, l'activité d'un bureau d'études comporte en moyenne 70% de recopie de dessin et 20% de modifications. Seuls 10% de l'étude représentent un travail de création. On comprend bien, dans ces conditions, l'intérêt de disposer d'un outil qui permet d'effectuer une recopie rapide de dessins existants.

Les logiciels de dessin en deux dimensions (2D) remplacent avantageusement la planche à dessin pour réaliser des plans, des dessins industriels, des illustrations techniques des projets architecturaux, des logos, etc.. Dans le cas d'un dessin technique, ils permettent :

- de dessiner des entités géométriques de couleur ou de nature de traits prédéfinies ;
- d'utiliser une grille pour faciliter les tracés d'équerre ;
- de sélectionner des objets, de les déplacer, de les dupliquer ou de modifier leurs orientations ;
- d'habiller le plan (dimensions, textes, hachures...) ;
- de faciliter les modifications et les remises à jour.

Les logiciels de conception en trois dimensions (3D) donnent une image du produit étudié dans l'espace. Il est, par exemple, possible de visualiser une pièce sous différents angles et d'avoir une meilleure image du produit à concevoir.

En CAO électronique, les logiciels 3D permettent de visualiser les cartes de circuits imprimés avec leurs composants et d'obtenir toutes les côtes d'encombrement. Pour obtenir ce résultat, chaque composant de la bibliothèque est associé à un fichier de définition contenant ses côtes d'encombrement sur la carte (2D) et ses dimensions volumiques (3D). Ces logiciels sont une aide précieuse pour intégrer une carte électronique dans un boîtier exigu.

3 La documentation technique

La documentation technique constitue un maillon essentiel dans la conception et la vie d'un projet technique. La conduite d'un projet requiert la participation de nombreux acteurs, la réalisation de nombreux travaux interconnectés ou non. En cours de projet, elle permet aux intervenants de faire le point sur l'avancement du projet. Il est très important d'éditer la documentation technique au fur et à mesure de l'avancement du projet technique. Grâce à la documentation, on peut véhiculer les données et les informations qui portent :

- sur la description technique du système ;
- sur la description des éléments ;
- sur la vie du projet lui-même et sur les différents événements qui le rythment.

La production de la documentation, sa structuration, son rangement, sa validation, sa conservation, sa disponibilité et sa diffusion conduisent à établir et définir des règles applicables à l'ensemble des acteurs impliqués dans le projet.

3.1 Quelques notions de base

En pratique documentaire, il est d'usage de différencier les moyens d'informations, les supports et les documents. Ils sont définis de la façon suivante :

- les supports qui permettent de véhiculer l'information, tels que un papier, un calque, un film, une disquette,
- les moyens qui sont constitués par l'ensemble des outils et des supports,
- les documents qui sont une synthèse des données et des supports.

En cours de projet, les documents sont destinés à des usages variés. Il est utile de préciser la nature du document édité. Ainsi on appelle :

- **documents pour approbation**, les documents soumis à un destinataire et devant recueillir son approbation ,
- **documents pour acceptation**, les documents devant être soumis au destinataire avant utilisation,
- **documents pour information**, les documents pouvant faire l'objet d'avis ou de commentaires de la part du destinataire ,
- **documents de référence**, les documents utilisés comme source et acceptés en tant que tels par les parties.

3.2 Règles et principes utiles

Une bonne gestion de la documentation repose sur quelques règles et principes concernant l'identification, les formats, la logique de production, la diffusion et la disponibilité.

Tous les documents émis au titre d'un projet doivent se conformer à un format et à une présentation unifiée. Le format A4 est le format généralement retenu. La présentation est souvent spécifique à chaque société. Les outils de gestion de documentation informatisés permettent d'obtenir facilement une présentation unifiée avec par exemple un logo de la société. La méthode consiste à utiliser des fichiers modèles qui servent de support unique à l'édition de tous les documents.

Une deuxième méthode consiste à incorporer les fichiers sources non plus en tant qu'objet mais en tant que lien vers l'objet. Seul le chemin d'accès vers l'objet est mémorisé dans le document de destination. Cette façon de procéder permet d'obtenir une mise à jour automatique du document dès qu'un objet est modifié. Cette méthode, puissante, est à manier avec précaution car, si un objet est détruit par inadvertance, il disparaît en même temps du document. Un autre inconvénient apparaît lorsqu'il est nécessaire de déplacer un fichier source ou un fichier destination car on modifie les chemins d'accès à ces fichiers. Seul un « display manager » adapté permet de gérer correctement ce problème.

Les systèmes informatiques montés en réseaux présentent un intérêt déterminant en gestion de projet en permettant une diffusion permanente et en temps réel de l'information auprès des intervenants. Par exemple :

- le chef de projet peut envoyer toutes les informations d'évolution du projet, simultanément à tous les intervenants, par l'intermédiaire du courrier électronique ;
- le rédacteur de la documentation technique peut obtenir tous les documents nécessaires à partir de la source et, donc, avec un risque d'erreur réduit.

Un système informatique, tout au moins pour les systèmes les plus simples, ne sait effectuer qu'une tâche à la fois. Les tâches sont effectuées les unes après les autres dans un ordre déterminé par le programmeur. L'organigramme d'un programme informatique est lié à cette notion de temps. La description s'effectue verticalement de haut en bas, le point de départ correspondant à la partie la plus haute.

Pour réaliser cette description temporelle, même sous une forme très générale, il faut déjà avoir effectué une bonne analyse des tâches que doit réaliser le programme. Ce n'est qu'à partir de cette description que le programmeur peut envisager une description plus détaillée des niveaux inférieurs. Cette approche est pénalisante en temps car la description hiérarchique ne peut être effectuée qu'un niveau après l'autre. Dans ces conditions, il est délicat d'organiser le travail de plusieurs personnes sur un même programme. On a représenté sur la figure 2 un organigramme décrit de façon séquentielle.

Une autre approche consiste à rechercher quelles seront les tâches à effectuer sans tenir compte de leur organisation dans le temps. Cette décomposition d'un programme informatique peut s'inspirer de la décomposition en organigramme technique. L'ensemble fédérateur est le programme principal. Chaque sous-programme doit être conçu comme un module autonome qui reçoit ou non des paramètres d'entrée et qui retourne ou non des paramètres de sortie. Par exemple le programme de gestion d'un clavier retourne la valeur de la touche enfoncée, il ne reçoit pas de paramètre d'entrée. Le programme de gestion d'un affichage reçoit des paramètres d'entrée, les valeurs à afficher, mais il ne retourne pas de valeur. Par contre, un sous-programme de conversion de données d'un code en un autre reçoit par exemple une valeur en binaire et retourne cette valeur en décimal.

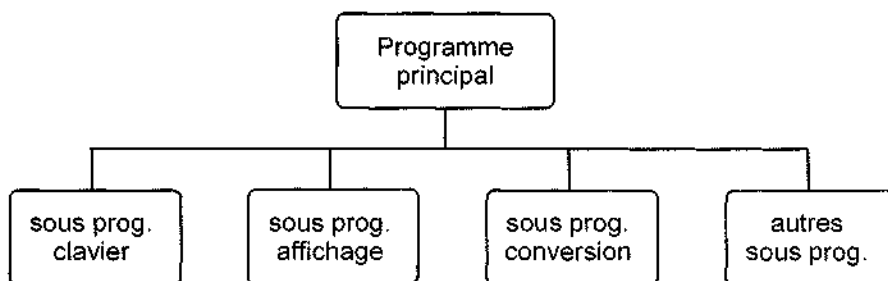


Figure 2 – Organigramme technique logiciel d'un système à base de microcontrôleur

Les tâches secondaires qui apparaissent en parallèle sur l'organigramme technique sont constituées par des sous-programmes ou des modules. La conception des modules indépendants peut être confiée à des personnes différentes.

1 Organigrammes

On vient de voir que l'organigramme technique permet de décomposer la partie informatique d'un projet en sous-programmes ou modules de programme qui peuvent être écrits et testés par des personnes différentes. La description du programme sous la forme d'un organigramme reste indispensable pour agencer le déroulement du programme dans le temps. Cette description ne peut être menée que par le porteur du projet de la partie informatique. Cette description fonctionnelle doit être indépendante de la technologie et donc du support exécutif.

La description du programme sous la forme d'un organigramme général permet au concepteur du programme de présenter les fonctions du programme au client. Il peut

microcontrôleur. Une méthode efficace est de décrire le fonctionnement du processus sous la forme d'un Grafcet. Cette méthode se prête bien à la description du fonctionnement des automates. La plupart des automates industriels peuvent être programmés directement à partir de cette représentation.

Le Grafcet est une représentation normalisée du cahier des charges d'un automatisme logique. La méthode consiste à décrire le fonctionnement du processus sous la forme d'une suite de tâches, les *états*, et à indiquer quelles sont les actions, notées *transitions*, qui permettent de passer d'un état au suivant.

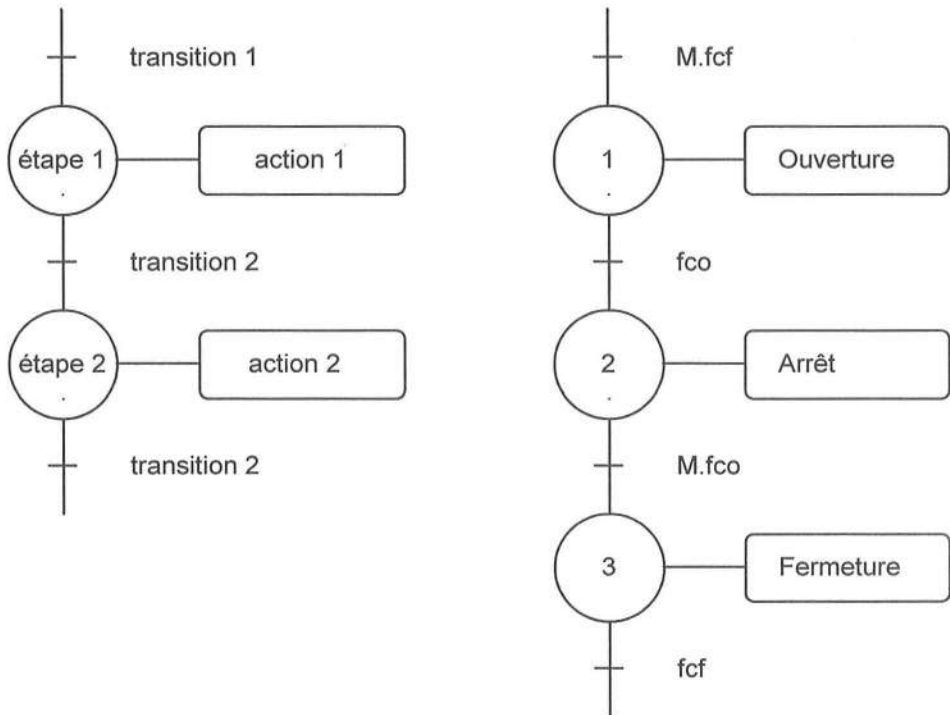


Figure 4 – Exemples de Grafcet

Pour passer du Grafcet au programme, il faut associer à chaque état un appel à un sous-programme qui exécute la tâche prévue. Les transitions correspondent à des changements d'états de variables. Il faut donc tester ces variables et agir en conséquence. Les microcontrôleurs qui possèdent des instructions de test de bit se prêtent bien à ce type de programmation. Chaque variable binaire, très souvent un contact ouvert ou fermé, est associée à un fil du microprocesseur et ce fil est associé à un bit.

2 Décomposition du programme

Lorsque le programme a été décrit sous une forme suffisamment détaillée, il faut passer à l'écriture du programme. Pour garder une bonne lisibilité aux programmes, on doit les décomposer en sous-programmes ou fonctions. Ces fonctions peuvent être incluses dans le programme ou écrites et testées séparément.

2.1 Sous-programmes

Pour améliorer la lisibilité d'un programme, surtout s'il est écrit en assembleur, il faut représenter les actions sous la forme d'un sous-programme.

commentés, permettront de développer les programmes ultérieurs avec un maximum d'efficacité.

4 Programmation en langage évolué

Les programmes développés, destinés à être implantés sur des cartes à base de microprocesseur, peuvent être écrits en langage évolué. Par exemple le langage C est très utilisé en informatique industrielle. Les instructions sont normalisées. Le langage C permet de développer des programmes qui sont théoriquement indépendants de la cible sur laquelle ils sont implantés. Le compilateur, spécifique d'un microprocesseur, se charge d'effectuer la transcription en langage machine qui peut être implanté en mémoire.

Ce langage est extrêmement utile pour le programmeur dès qu'il est nécessaire d'effectuer des calculs car on peut faire appel aux fonctions mathématiques classiques et travailler sur des nombres en format fixe ou flottant.

Son principal inconvénient pour les petits systèmes est qu'il génère beaucoup plus de code qu'un programme équivalent écrit directement en assembleur.

L'intérêt de la portabilité, pour un système à base de microcontrôleur qui utilise surtout des ressources matérielles, reste limité. C'est le cas notamment pour les fonctions qui utilisent les fils d'entrée ou de sortie, les compteurs internes, les interfaces séries. Mais même dans ce cas il peut être intéressant de développer le corps du programme en langage C et d'adapter l'écriture des fonctions au type de microprocesseur utilisé.

Si par exemple un programme utilise une fonction « délai » recevant une variable « durée », le corps du programme est indépendant de la cible :

```
#DEFINE dure 10;
```

```
void delai();
```

```
main void()
```

```
{
```

```
int duree;
```

```
...
```

```
delai(duree);
```

```
...
```

```
}
```

```
void delai(int x)
```

```
(dépend du matériel)
```

par contre l'écriture de la fonction dépend du matériel

des délais de réalisation. Pour ce faire, l'analyse des écarts entre les prévisions et la progression concrète des travaux doit permettre de détecter au plus tôt les dysfonctionnements, et de lancer rapidement des actions correctives.

2 La notion d'avancement physique

Le temps passé ne peut pas être pris comme indicateur pour quantifier les résultats obtenus. L'efficacité d'un opérateur ou d'une équipe, la productivité d'une machine, peuvent non seulement être très différentes entre deux ressources ou groupes de ressources similaires, mais également varier notablement dans le temps. De plus, le propre d'un projet est d'être soumis à de nombreux aléas susceptibles d'entraîner d'importantes pertes de temps. Pour mesurer de façon probante le travail effectué, mieux vaut par conséquent évaluer ou faire évaluer « sur le terrain » les résultats obtenus. Mais pris dans l'absolu, le constat que l'on peut effectuer sur la progression concrète d'un travail ne présente en réalité qu'un intérêt limité.

Prenons l'exemple de l'édition d'un rapport : peu importe en effet de savoir qu'une opératrice a réalisé la composition de 30 pages de texte et de schémas, si on ne connaît pas le volume total du document à produire. Peu importe même ces données vis-à-vis des objectifs généraux de satisfaction du besoin que sont la publication des informations à un congrès qui doit avoir lieu dans huit semaines, si on ignore le temps qui a été nécessaire pour réaliser le travail.

Pour obtenir l'assurance que quelque chose de concret est fait ou est susceptible de remplir sa fonction et s'inscrit dans une logique de succès, on préfère à la mesure absolue des résultats, exprimée en unités physiques (mètres cubes, nombre de pages, ...), une vision relative de la progression, indépendante du volume d'activité effectivement réalisé. On introduit donc la notion d'**avancement physique**, que le Vocabulaire de la gestion de projet définit comme *le rapport entre le travail effectivement réalisé à une date donnée, et le travail total² à effectuer, pour l'ouvrage complet ou une partie de l'ouvrage ou des études³*.

Si on sait par exemple que le document dont on vient de parler comporte 200 pages, on peut alors dire qu'à la date où est effectuée l'observation, l'état d'avancement physique du travail de composition sera de :

$$\text{avancement physique} = \text{travail réalisé} / \text{travail total prévu} = 30 / 200 = 15\%$$

De plus, si on sait que le temps passé sur ce travail a été de 45 heures, on peut alors prévoir que la charge totale nécessaire sera de :

$$\text{charge totale} = (45h / 15) \times 100 = 300h$$

soit au jour de l'observation, une charge restante de :

$$300h - 45h = 255h$$

En faisant l'hypothèse d'une même disponibilité de l'opératrice sur ce travail (6h/j et 5j/s) et même en espérant que tout se passe bien (les machines sont disponibles, il n'y a pas de pannes à l'horizon, tous les schémas sont de bonne qualité et ne nécessitent pas de traitement spécial), on peut penser que le client de ce travail aura toutes les raisons d'être pessimiste car le délai de réalisation sera alors de :

$$255h / 30h/s = 8 \text{ semaines } 2 \text{ jours et } 3 \text{ heures}$$

Pour tenir l'objectif d'un travail terminé dans huit semaines (tirage compris) il est donc urgent de prendre les décisions de corrections nécessaires (augmenter la

²Par « travail réalisé » et « travail total », on entend ici bien entendu le résultat obtenu et non la quantité d'activité qui a été nécessaire à sa production.

³Op. cit. p. 29.

de l'art. Pour apprécier le pourcentage de travail réalisé, il faut même dans certains cas se contenter d'impressions liées à une simple espérance de succès.

3.3 Avancement physique des activités complexes

Un autre cas où la mesure de l'avancement physique peut s'avérer difficile, est celui des activités complexes, composées de tâches multiples et dont le chef de projet ne peut avoir qu'une vision globale. Deux méthodes peuvent être alors mises en oeuvre.

La première, dite par **reporting** est surtout adaptée aux activités très complexes, décomposables en sous-activités non chronologiques ou fortement parallélisées. Dans ce cas, chacun des responsables de sous-domaine fournit au niveau supérieur, suivant une périodicité adaptée, des informations sur l'état d'avancement. Des synthèses successives permettent d'obtenir des données assez fiables.

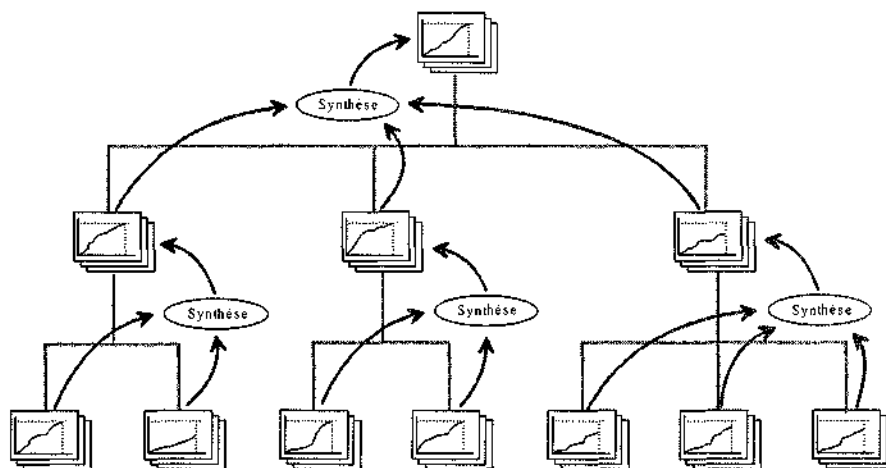


Figure 3 – suivi de l'avancement physique par reporting.

La seconde, dénommée **méthodes des jalons d'avancement**, est mieux adaptée aux activités faiblement parallélisées, qui se déroulent suivant une chronologie rigoureuse (par exemple : étude, prototypage, essai, réalisation, contrôle d'un sous-ensemble). Plus simple de mise en oeuvre, elle consiste à sélectionner dans le déroulement logique des opérations des événements marquants auxquels il est possible d'associer un certain degré d'avancement (exprimé en %). Pour permettre la mesure, ces jalons doivent sanctionner l'obtention de résultats tangibles. Ils sont de ce fait le plus souvent associés à des fins de phases.

– *Exemple : tournage d'un film vidéo.* Dans cet exemple, on retient quatre jalons marquant l'achèvement des activités principales du film : tournage en extérieur, en intérieur, montage et illustration musicale. Les pourcentages résultent d'estimations d'hommes de l'art, encore qu'il soit possible, dans ce type de projet, de quantifier avec assez de précision le nombre de scènes à tourner, le nombre de séquences montées et illustrées musicalement (voir figure 4).

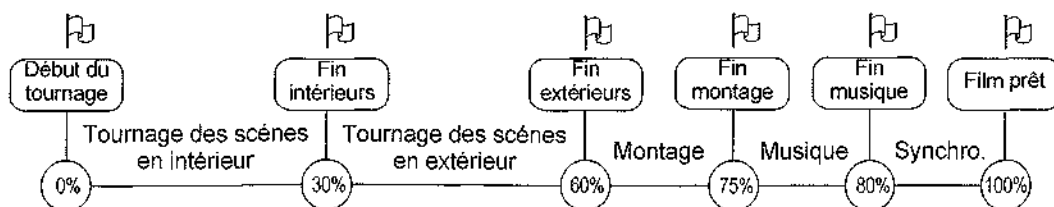


Figure 4 – Jalonnement d'un tournage de film vidéo

4.2 Mesure de l'avancement physique

La charge estimée, expression des objectifs à atteindre, constitue une référence qui ne peut être modifiée qu'exceptionnellement. Elle peut de ce fait servir de base pour déterminer l'avancement global d'un projet.

Avancement de la réalisation d'une maison			
Activité	Poids relatif	Etat	Avancement acquis
Fondations	7%	Terminé	7%
Murs	26%	Terminé	26%
Toiture	9%	Terminé	9%
Aménagements	19%	En cours	0%
Equipements	21%	Attente	0%
Finitions int. ext.	18%	Attente	0%
TOTAL	100%		42%

Tableau 2 – Détermination de l'avancement

Comme le montre l'exemple donné dans le tableau 2, il suffit de considérer comme acquis du point de vue des résultats le poids associé à chacune des activités terminées, puis d'en faire la somme pour déterminer en première approximation la progression globale d'un ensemble d'activités hétérogènes.

Cette méthode est satisfaisante dans son principe. Mais elle ne tient pas compte de l'avancement des activités en cours. On peut remédier à cet inconvénient en utilisant, pour affiner le calcul, les

informations transmises périodiquement par les responsables des sous-niveaux. Pour illustrer ce procédé, reprenons l'exemple développé au paragraphe précédent.

A la date de mise à jour, le responsable du projet Stand reçoit de chaque responsable, des informations concernant l'avancement des activités dont ils ont la charge. Il calcule alors l'avancement acquis sur le projet par chaque activité :

$$\text{Avancement acquis} = \text{Poids relatif de l'activité} \times \text{Avancement de l'activité}$$

Il détermine ensuite l'avancement total (tableau 3)

Projet Stand : Avancement du projet				
Activité	Poids relatif de l'activité	Etat de l'activité	Avancement de l'activité	Avancement acquis
Etude générale	8%	Terminée	100%	8,0%
Documentation				
Posters formation	12%	En cours	80%	9,6%
Posters produits	14%	En cours	60%	8,4%
Supports images				
Film vidéo	16%	En cours	40%	6,4%
Diaporama	6%	Terminée	100%	6,0%
Mise au point	4%	En attente	0%	0,0%
Animation musicale				
Bande son	12%	En cours	90%	10,8%
Pilote informatique	10%	Terminée	100%	10,0%
Post synchronisation	6%	En attente	0%	0,0%
Installation				
Installation infrastructures	6%	En attente	0%	0,0%
Installation animation	4%	En attente	0%	0,0%
Réglages / mise en route	2%	En attente	0%	0,0%
TOTAL	100%			59,2%

Tableau 3 – Projet STAND détermination de l'état d'avancement

5.2 Elaboration et évaluation les prévisions d'avancement

Le rythme d'avancement physique d'un projet dépend de la répartition de la charge et du taux d'affectation des ressources sur les différentes activités. A partir du planning prévisionnel, on peut en cumulant la charge associée à chacune des tâches, tracer la courbe prévisionnelle d'avancement global. Celle-ci peut être prise comme référence en cours de développement pour mesurer les écarts entre les prévisions et ce qui a été effectivement réalisé.

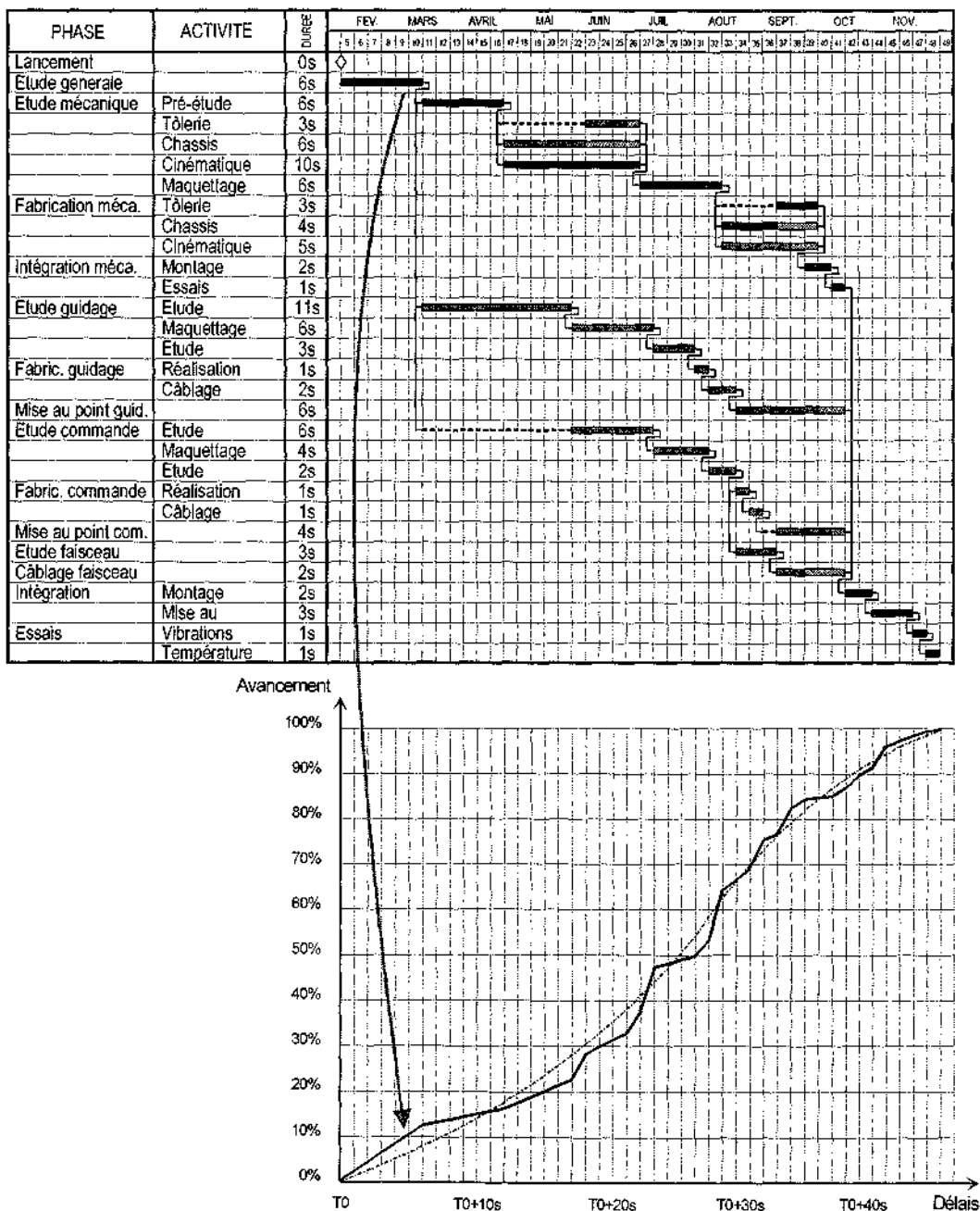


Fig. 7 – Construction de la courbe d'avancement prévu à partir du planning prévisionnel

6.1 Effectuer le suivi

En termes de maîtrise des délais, effectuer le suivi d'un projet consiste à évaluer le décalage (avance ou glissement) qui existe entre le temps prévu pour aboutir à un certain état d'avancement et celui qui a été effectivement nécessaire pour obtenir ce même résultat. La charge qui a été réellement consommée pour exécuter le travail, soumise aux variations de productivité, ne peut pas être prise comme élément représentatif de la progression physique. Pour pouvoir établir des comparaisons avec les prévisions d'avancement, on utilise donc comme base de calcul la charge qui a été estimée avant le lancement du projet. Celle-ci, bien que supposée fausse, présente l'avantage de rester dans un système cohérent.

Pour élaborer les indicateurs permettant de contrôler l'évolution de la situation, le chef de projet sollicite donc suivant une périodicité adaptée (tous les jours pour un projet de quelques semaines, toutes les semaines pour un projet de plusieurs mois) chacun des responsables d'activité pour obtenir une estimation sur l'avancement du travail dont ils ont la charge. A partir de ces données, il lui est alors possible de calculer par la méthode décrite au paragraphe 4.2. le pourcentage d'avancement prévisionnel global acquis à la date de mise à jour. La valeur ainsi obtenue permet de tracer point par point la courbe d'avancement du projet.

Comme le montre la figure ci-dessous, la différence entre la date où est réalisée la mise à jour et la date où les résultats équivalents auraient dû être obtenus matérialise le glissement en délais. Notons que cet indicateur matérialise une avance moyenne ou un retard moyen déterminé sur l'ensemble des activités terminées ou en cours. Ceci ne signifie pas pour autant que la date de fin au plus tôt se trouvera avancée ou reculée. Dans ce cas seules comptent les activités qui se trouvent sur le chemin critique.

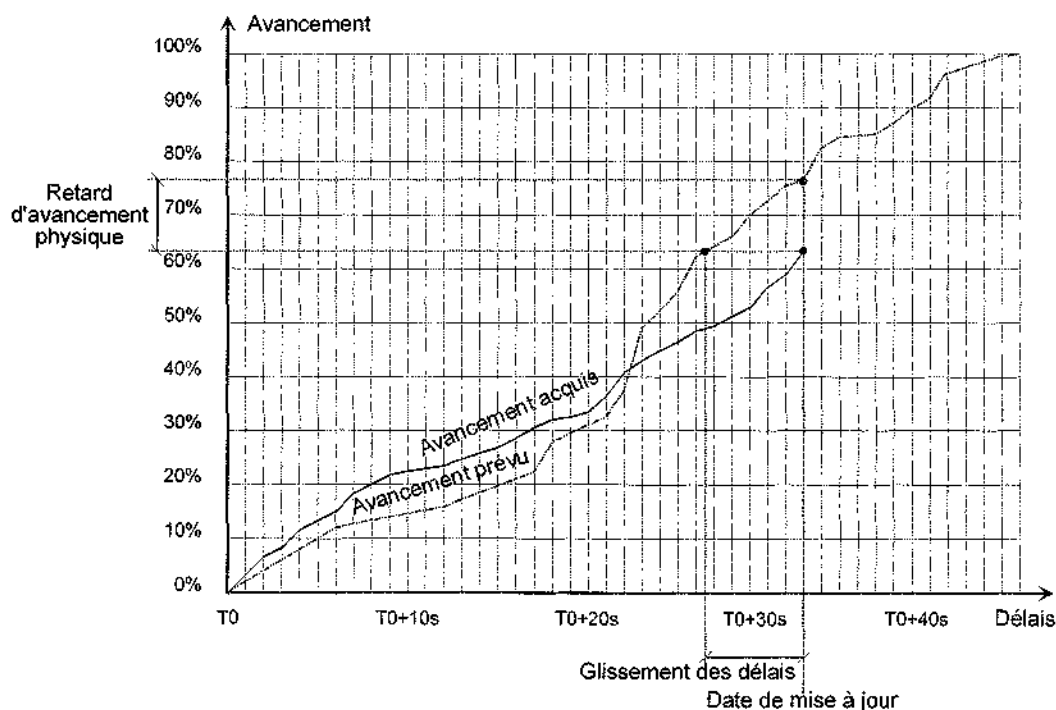


Fig. 9 – Détermination du glissement des délais

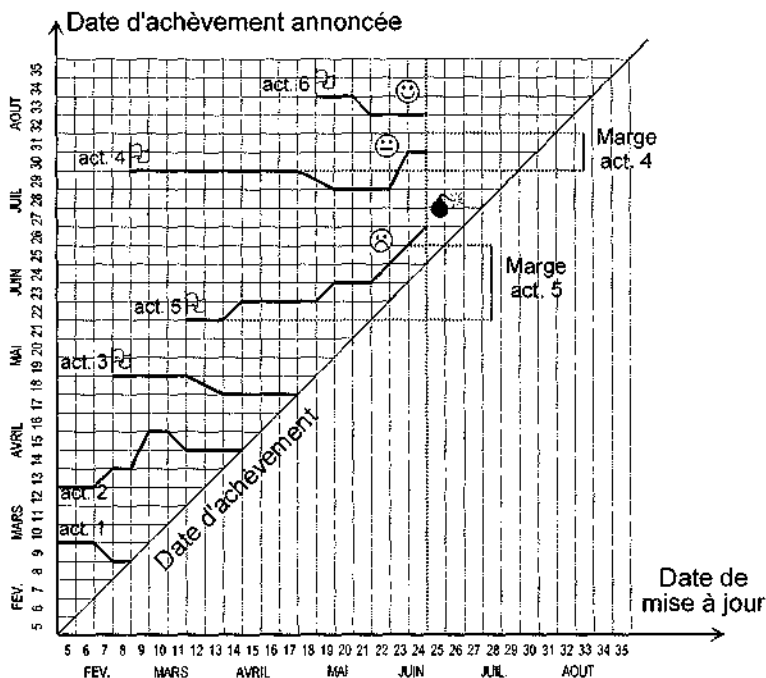


Fig 11 – Mise en évidence du glissement des prévisions de fin d'activité

Le graphique de la figure 11 est difficilement utilisable sous cette forme. C'est pourquoi, dans la pratique, on préfère la représentation suivante :

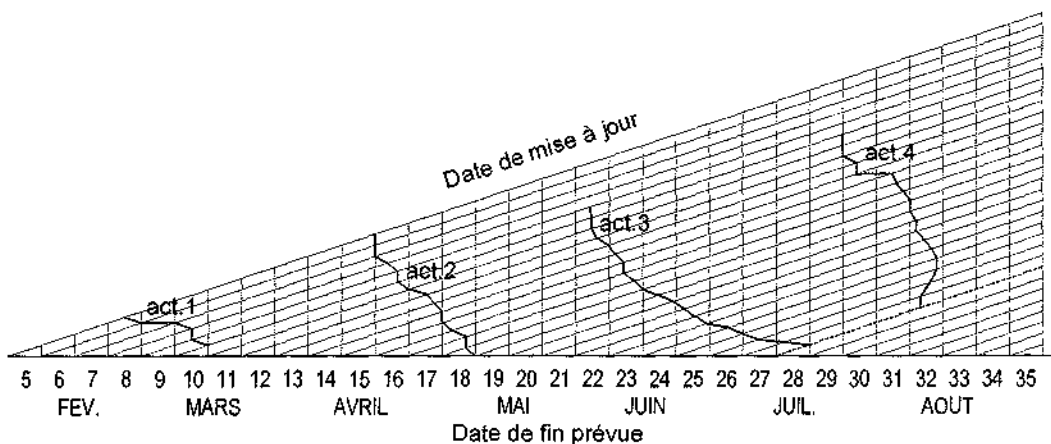


Figure 12 – Contrôle du glissement des prévisions de fin d'activité

Dans l'exemple présenté en figure 12, la situation mise à jour à la fin de la semaine 27, est la suivante :

- les activités 1 et 2 sont terminées ;
- l'activité 3 débutée semaine 9, rencontre des problèmes importants qui ne sont toujours par résolus ;
- l'activité 4 se déroule bien. Les difficultés passagères rencontrées durant les semaines 21, 22 et 23 sont maîtrisées. Il semble possible de rattraper une bonne partie du retard.

2 Evolution des coûts prévisionnels

Pour un projet donné, maîtriser les coûts signifie que les objectifs sont réalisés dans les limites du budget autorisé. Pour aboutir à ce résultat et afin de limiter les risques de dépassement des crédits, le chef de projet doit, dès le début des travaux, exercer un contrôle permanent des dépenses, évaluer les écarts de coût, et engager si nécessaire des actions correctives.

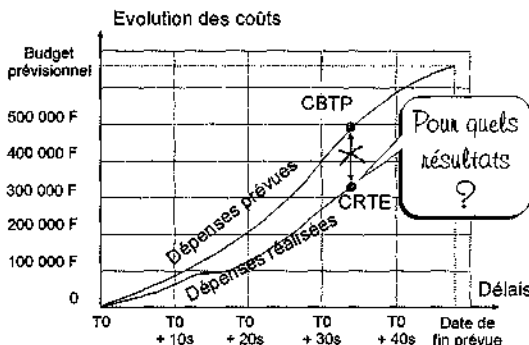


Figure 1 - Comparaison des dépenses réalisées (CRTE) avec les dépenses prévues (CBTP)

Comparer les dépenses prévues avec celles effectivement réalisées, ne peut avoir de signification qu'à partir du moment où les résultats attendus sont produits à la date souhaitée. Du fait des retards éventuels, cette condition n'est que très rarement respectée. Les dépenses prévisionnelles, également appelées *Coût budgété du travail prévu*¹ (CBTP) ne constituent pas de ce fait une référence significative pour mesurer les écarts de coût. Les planifier puis les tracer a toutefois son utilité. Ceci permet en effet de définir, avant le lancement, un

échancier pour la mise à disposition des ressources financières nécessaires (provisions, mise en place de crédits, échancier de paiement).

3 Valeur acquise ou Coût Budgété du Travail Effectué

A défaut de pouvoir comparer les dépenses réalisées ou *Coût Réalisé du Travail Effectué*² (CRTE) avec les dépenses prévues (CBTP), on introduit un indicateur de coût directement fonction de la progression concrète du travail. L'avancement d'un projet peut être mesuré à l'aide de paramètres physiques (mètres cube, nombre de pages, ...) ou plus généralement en % de la charge de travail totale. Le poids relatif des activités peut également s'exprimer par sa *valeur budgétaire*. En effet, une part importante des dépenses est constituée de coûts en main d'œuvre et en prestations intellectuelles. Ceux-ci sont proportionnels à la charge et on peut considérer qu'aux charges fixes près, le coût prévisionnel des activités est représentatif de leur avancement physique.

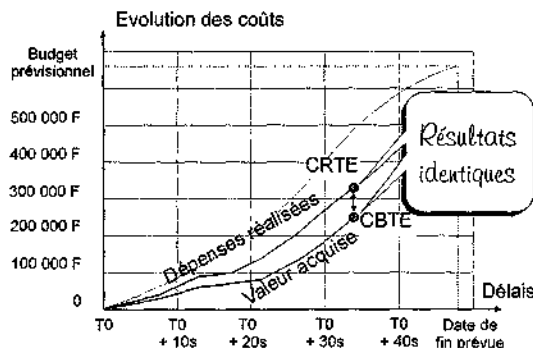


Figure 2 - Comparaison des dépenses réalisées (CRTE) avec la valeur acquise (CBTE)

Le but est de calculer la valeur de ce qui a été effectivement réalisé. Pour ce faire, on considère comme acquises les parts de budget prévisionnel associées aux activités terminées ou en cours, puis on en effectue le cumul. En faisant le point à échéances régulières, on trace l'évolution de la valeur acquise également appelée *Coût Budgété du Travail Réalisé*³ (CBTR). Comme le montre la figure 2, on peut alors évaluer l'écart de coût qui, contrairement à ce qu'on aurait pu croire au vu de la figure 1, fait apparaître un déficit.

¹CBTP (AFNOR) équivalent de BCWS Budgeted Cost of Work Scheduled (DOD instruction 7000-2)

²CRTE (AFNOR) équivalent de ACWP Actual Cost of Work Performed (DOD instruction 7000-2)

³CBTE (AFNOR) équivalent de BCWP Budgeted Cost of Work Performed (DOD instruction 7000-2)

5 Contrôle intégré des coûts et des délais

Les trois facteurs déterminants que sont les coûts, les délais et les performances techniques ne sont pas indépendants. Ainsi, une action ayant pour objectif de réduire les délais peut induire une augmentation des dépenses. De même, une modification des spécifications risque-t-elle d'entraîner une augmentation des délais et des coûts.

L'observation des trois courbes : budget prévisionnel, coûts encourus et valeur acquise peut fournir des indications précieuses sur la situation et son évolution.

5.1 Détermination des glissements en délais

En termes de prévision, 100% d'avancement du projet correspond à la réalisation complète du budget. Ainsi, à chacune des activités qui ont été planifiées, on peut faire correspondre un certain coût prévisionnel composé de coûts proportionnels à la charge (coûts en main d'oeuvre, coût d'utilisation de ressources matérielles, ...) et de coûts fixes (achats de matériel, amortissements de moyens spécifiques, assurances, ...).

Dans un projet, la part de coûts proportionnels (prestations d'études) est en principe très largement supérieure aux coûts fixes (achat de composants). On peut de ce fait et seulement à cette condition, considérer que le coût prévisionnel est une unité pertinente pour exprimer l'avancement physique.

Ainsi, comme on peut le voir sur la figure 3, on peut, en effectuant la comparaison entre la date de mise à jour et la date où le budget prévisionnel prévoyait d'aboutir au même résultat, déterminer le glissement en délais (avance ou retard).

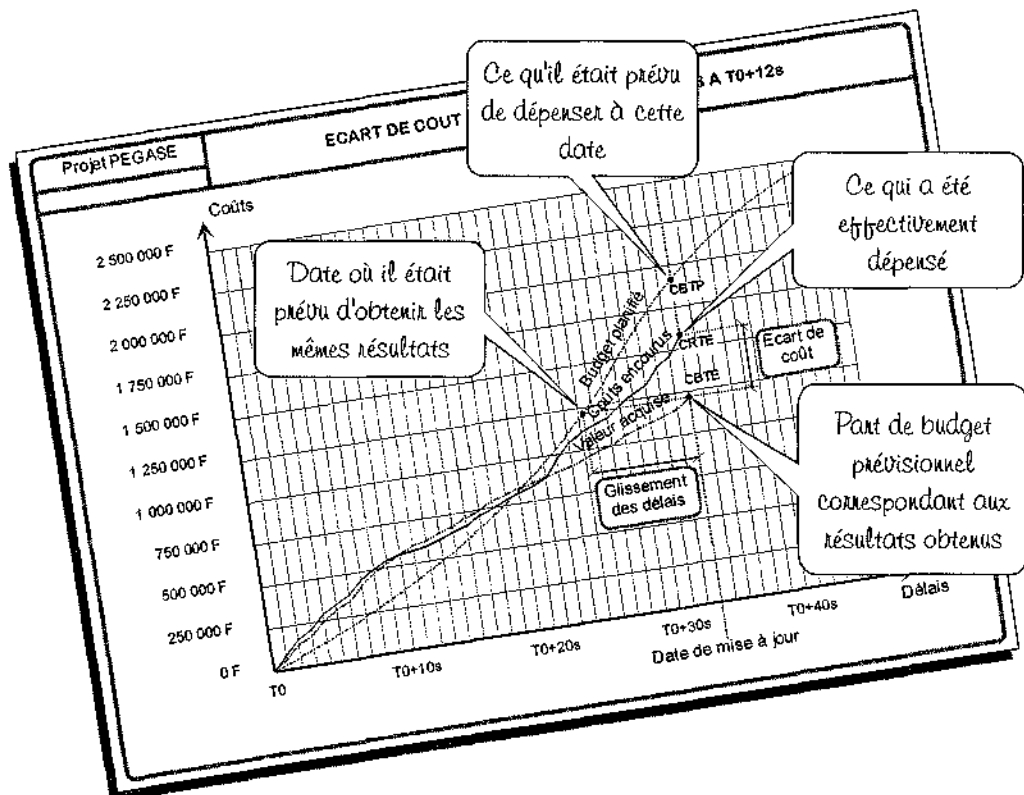


Figure 3 – Les points caractéristiques des courbes de coût

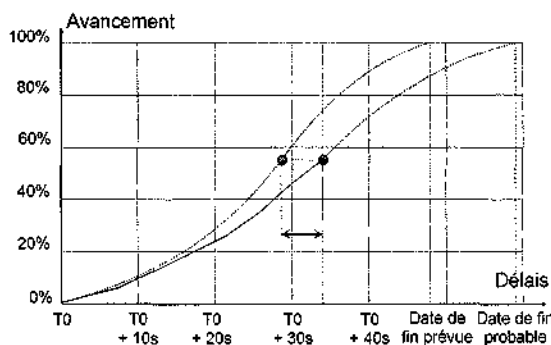


Figure 1 - Etat d'avancement moyen

Ainsi, si l'on considère la maîtrise des délais, l'information que l'on peut obtenir en comparant l'avancement physique constaté avec les prévisions ne constitue qu'une présomption d'avance ou de retard.

En effet cet indicateur exprime une valeur moyenne calculée sur l'ensemble des activités. Or en ce qui concerne la date de fin du projet, seules comptent celles qui se trouvent sur le chemin critique.

La définition d'un plan d'action passe avant tout par une analyse individualisée de chaque situation.

- ne souffre-t-on pas d'une mauvaise organisation ?
- doit-on faire face à des problèmes technique mal maîtrisés ?
- les responsables disposent-ils des compétences et des moyens nécessaires ?
- l'activité est-elle soumise à des aléas dûs à des facteurs externes ?
- l'équipe rencontre-t-elle des problèmes relationnels internes ?
- le fonctionnement n'est-il pas perturbé par des stratégies cachées ?

Autant de questions qui peuvent révéler des dysfonctionnements auxquels il faut tenter de remédier par des actions correctives adaptées.

Parmi celles qui sont proposées ici, certaines, basées sur l'optimisation des moyens et du temps disponibles peuvent avoir des effets positifs sur les délais et les performances sans pour autant influencer sur le coût final. Elles sont à utiliser en priorité. D'autres s'appuient sur une augmentation du potentiel, ce qui suppose un effort financier supplémentaire. Elles sont donc à réserver pour des situations plus critiques.

2 Redéploiement des ressources

Parmi les actions possibles, la plus simple et sans doute la moins onéreuse est celle qui consiste à redéployer les ressources allouées au projet pour tenter d'en tirer le meilleur parti. Ainsi :

- le partage de certaines compétences très spécifiques ;
- le remplacement d'un responsable jugé incompetent ;
- la restructuration d'une équipe confrontée à des problèmes relationnels ;
- la réaffectation d'un équipement rendu momentanément disponible ;
- le rééquilibrage des effectifs et des moyens en fonction de l'état d'avancement des activités et de leur criticité ;

font partie de l'arsenal d'actions qui peuvent permettre d'améliorer une situation momentanément difficile. Ceci suppose bien entendu une vigilance accrue. Non seulement à l'égard des activités posant problème, mais aussi vis-à-vis de celles qui, dans une certaine aisance, sont susceptibles de fournir le renfort nécessaire.

3 Utilisation des marges

L'utilisation des marges en tant qu'action corrective est obligatoirement associée à un rééquilibrage du potentiel en personnels et en équipements. Dans la limite du temps dont dispose chaque activité non critique, on peut en effet :

– quand la charge de travail est trop importante pour assurer la réalisation de certaines activités dans les délais prévus.

Pour augmenter son potentiel en personnel et en matériel, elle doit avoir recours à des apports en ressources qui peuvent être fournis sous des formes diverses, soit par l'entreprise ou de l'organisme auquel elle appartient :

- apport des compétences d'autres services ;
- renforcement des équipes ;
- autorisation de recours aux heures supplémentaires ;
- affectation de moyens matériels supplémentaires ;

soit par l'extérieur :

- consultation d'experts ;
- assistance technique ;
- personnel intérimaire ;
- sous-traitance de certains sous ensembles ;
- location d'équipements spécifiques.

Il est évident que de telles solutions entraînent une augmentation des coûts directs. On les réserve donc en priorité pour les cas où le respect des délais ou des performances apparaît comme un facteur prioritaire. Dans tous les cas, le recours à un apport de moyens supplémentaires ne doit être envisagé qu'après avoir étudié les autres possibilités énoncées précédemment.

5 Renégociation des objectifs

Les objectifs fixés au lancement du projet constituent la référence pour le suivi des coûts (budget prévisionnel), des délais (planning de référence) et des performances (cahier des charges fonctionnel, spécifications techniques). Ils ont le plus souvent un caractère contractuel et ne peuvent pas de ce fait être remis en cause par le chef de projet.

Seule une instance décisionnelle telle que le maître d'ouvrage (pour les projets sur contrat) ou le groupe de pilotage (pour les projets internes) est habilitée à accepter une renégociation des objectifs. Cette décision à caractère exceptionnel doit permettre de rattraper des dérives jugées irréversibles. Celles-ci peuvent être motivées par des causes diverses telles que :

- la sous-estimation des difficultés ;
- l'arrivée d'un événement imprévu ;
- une modification du contexte de réalisation (évolution du besoin, modification des conditions économiques, ...).

La modification des objectifs entraîne une révision des documents de référence sous forme d'avenants. Ceci peut porter sur des points tels que :

- la révision à la baisse de certaines performances ;
- l'abandon de certaines fonctionnalités jugées non indispensables ;
- une augmentation des crédits alloués ;
- l'octroi de délais supplémentaires.

2.1 Les outils de planification

Les produits actuellement sur le marché supportent au moins deux méthodes de planification :

- **une méthode en réseau** du type « potentiels » ;
- **le diagramme de GANTT** enrichi de nombreux symboles (voir chapitre 11).

Ces deux représentations sont maintenues en cohérence, de ce fait toute modification opérée sur l'une est répercutée sur l'autre.

2.2 Les outils de gestion des ressources

Parmi les outils associés à la gestion de ressources on peut citer :

- **le dictionnaire des ressources**, qui permet entre autres de définir les moyens disponibles en personnel et en matériel, leur capacité de production, et leur coût d'utilisation ;
- **les calendriers** individuels et collectifs, qui permettent de définir les périodes de disponibilité et d'indisponibilité ;
- **les histogrammes de charge**, qui permettent de visualiser le taux d'utilisation de chacun des moyens.

2.3 Les fonctions complémentaires

A ces outils de base s'ajoutent des outils complémentaires tels que :

- la résolution automatique des conflits de ressources ;
- le contrôle de l'avancement physique ;
- le suivi des coûts.

MARCINIAK R, PAGERIE M. (Sous la direction de), *Méthodes et outils de la gestion de projet*, Collection Management de projet, Editions Weka, 123.

MONTEIL B, PERIGORD M., RAVELEAU G., *Les outils des cercles et de l'amélioration de la qualité*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1985.

PETITDEMANGE Claude, *Le management par projet*, Paris, EFE, 1997

PROJECT MANAGEMENT IINSTITUTE, *Management de projet. Un référentiel de connaissances*, AFNOR, 1998

POGGIOLI P., *Pratique de la méthode P.E.R.T.*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1976

RAYNAL S., *Le management par projet*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1996.

SIMONET J. & R., *Le management d'une équipe*, Paris, Les Editions d'organisation, 1987.

TASSINARI R., *Pratique de l'analyse fonctionnelle*, Paris, Dunod, 1992.

TISSIER D., *Guide pratique pour la gestion des unités et des projets*, Paris, INSEP Editions, 1987.

VALLET G., *Techniques de planification de projets*, Paris, Dunod, 1991.

YOKI A., *QFD – Prendre en compte les besoins du client dans la conception du produit*, AFNOR 1993

VIGIER M.G., *La pratique du QFD*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1992.

VILLEMAIN C., *La planification opérationnelle. Objectifs, méthodes et métiers de la planification de projet*, AFNOR, 1991.

• Articles

COUILLARD J., NAVARRE, C., Quels sont les facteurs de succès des projets ? Faut-il plus d'organisation ? Plus d'outils ? Plus de communication ? Plus de planification ? in : Management & Prospective, Vol. 9, n° 2, 1993, pp. 167-190.

JOLIVET F., *Manager l'entreprise par projets. Les métarègles du management par projet*, 2003.

LEROY D., Le management par projets : entre mythes et réalité, in : Revue Française de Gestion, janvier-février 1996, pp. 109-120.

MIDLER C., *Le responsable de projet, portrait d'un rôle d'influence*, in : Gestion 2000 - Management & Prospective, Vol. 9, n° 2, 1993, pp. 123-148.

NAKHLA M., SOLER L.-G., *Pilotage de projet et contrats internes*, in : Revue Française de Gestion, septembre-octobre 1996, pp. 17-29.

Chapitre 13

Identifier les modules techniques

L'identification des modules techniques est une étape importante de la gestion d'un projet. Elle permet de définir les compétences techniques requises, de répartir les tâches entre les intervenants et d'analyser si les ressources humaines sont suffisantes pour réaliser le projet dans le temps imparti.

L'identification des modules techniques doit être plus ou moins détaillée suivant l'importance du projet. On peut comparer l'importance du découpage technique à une adresse postale. Pour rendre visite à Monsieur Duroc qui habite dans une grande métropole, il faut préciser le nom de la ville, le nom de l'arrondissement, le nom de la rue, le numéro de la résidence, le nom de l'immeuble, etc.. Pour rendre visite à Monsieur Dubois qui habite à Ars en Ré le nom de la rue suffit. De la même façon, le découpage des modules techniques sera plus ou moins poussé suivant la complexité du projet. On commence par découper le projet en *lots de travaux* facile à identifier. Un lot pourra être constitué par un ensemble mécanique, un autre par un ensemble électronique, un suivant par un ensemble informatique, etc..

La décomposition s'effectue à partir d'un tronc commun, le projet, sous la forme d'un organigramme technique arborescent (voir chapitre 9).

Cet organigramme va permettre :

- d'organiser et de répartir les domaines de responsabilité et de compétence des différents acteurs ;
- d'analyser l'existant et l'inconnu ;
- de gérer les sous-traitances.

La description et la décomposition technique d'un produit nécessite des connaissances sur ses divers aspects techniques et sur les différents éléments qui le constituent. Pour découper le projet, il est indispensable que le chef de projet et ses collaborateurs aient des compétences suffisantes pour effectuer correctement ce découpage. Il est délicat d'obtenir un bon découpage après une simple analyse du projet. Il est nécessaire de procéder par étapes. Pour décrire ces étapes, on s'appuiera sur l'étude d'un projet industriel : le « *Chrono Pouss'* ».

Le Chrono Pouss' est une chambre de fermentation contrôlée qui permet d'optimiser la production en boulangerie. Le Chrono Pouss' permet d'accélérer le processus de fermentation des produits boulangers (pains, viennoiseries) en utilisant des antennes micro-ondes.

1 Avant projet

Avant de se lancer dans le découpage du projet, il est utile d'en effectuer une analyse sommaire. Une bonne méthode est de s'appuyer sur l'étude d'un produit comparable.

A partir de ce croquis, on peut décomposer le projet en trois grandes parties :

- l'ensemble mécanique constitué de l'armoire frigorifique, du chariot, des antennes et du mécanisme de déplacement des antennes ;
- l'ensemble électrotechnique constitué des magnétrons et de leurs alimentations, du système de ventilation, du groupe froid ;
- l'ensemble électronique de commande.

Cette première décomposition montre la nécessité de constituer une équipe à compétences multiples en mécanique, en électrotechnique et en électronique.

A partir de ces informations, on peut commencer à construire un organigramme technique de premier niveau donné sur la figure 2.

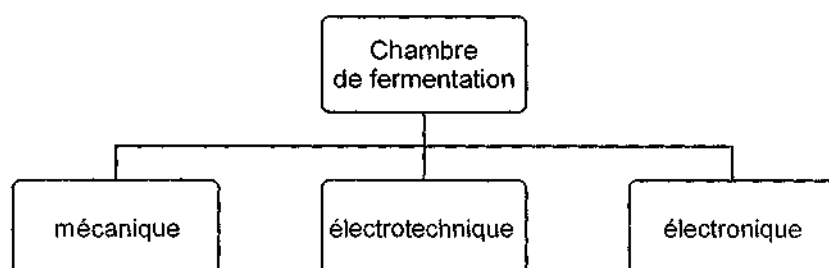


Figure 2 – Organigramme technique de niveau 1 du Chrono Pouss'

2 Décomposition de deuxième niveau

La décomposition de deuxième niveau permet d'analyser les lots de travaux à réaliser dans chacune des parties précédentes. Pour un projet de moyenne importance, ce niveau de décomposition donne une bonne idée du travail à réaliser. Rappelons les principales caractéristiques d'un lot de travaux (voir chapitre 9) :

- il est rattaché à un constituant bien identifié de l'ouvrage,
- il est confié à un responsable unique chargé de sa gestion,
- il regroupe un ensemble homogène de tâches.

On a représenté sur la figure 3 la décomposition de niveau 2 de la chambre de fermentation et les différents lots de travaux.

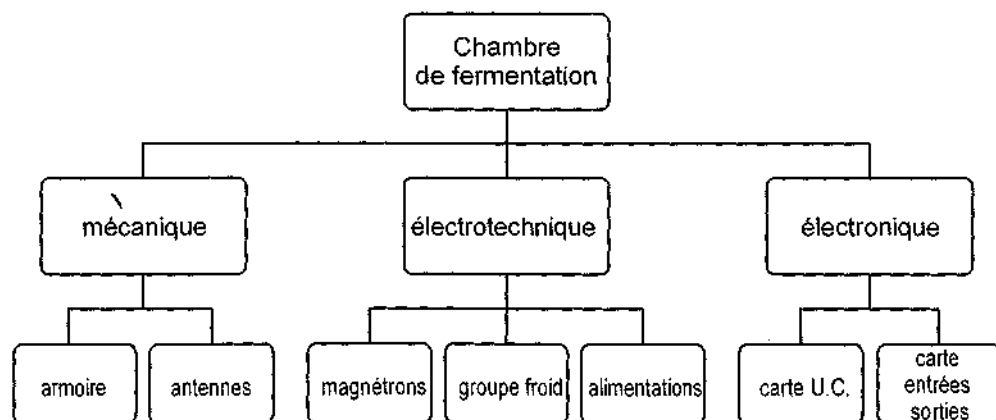


Figure 3 – Organigramme technique de niveau 2 du Chrono Pouss'

4 Exemples de découpage en éléments

On examine dans les paragraphes suivants la décomposition en éléments des principaux système de la chambre de fermentation.

4.1 Le système mécanique

Le système mécanique de la chambre de fermentation est constitué principalement d'une armoire isotherme et d'un ensemble d'antennes mobiles.

La fonction principale de l'armoire isotherme est d'assurer une bonne isolation thermique et d'assurer un blindage parfait contre les rayonnements micro-ondes. Elle a pour fonction complémentaire de servir de support mécanique à l'ensemble des accessoires. Les éléments qui constituent l'armoire isotherme sont représentés figure 4.

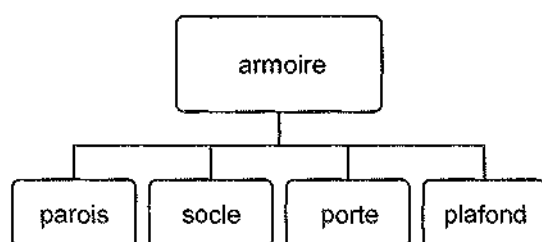


Figure 4 – Décomposition en éléments de l'armoire isotherme

Les parois sont réalisées à partir de panneaux frigorifiques dont la surface est métallique. Ces panneaux assurent l'isolation thermique et la protection électromagnétique.

Le socle est réalisé en tôle pliée. Il assure le guidage des chariots.

La porte est un élément complexe qui assure une bonne isolation thermique, une protection contre les micro-ondes (pièges à ondes sur le pourtour) et une vision de l'intérieur (paroi vitrée).

Le plafond est un élément complexe qui assure lui aussi des fonctions d'étanchéité thermique et micro-ondes. Il supporte :

- le mécanisme d'entraînement des antennes du côté intérieur ;
- le groupe froid, les ventilateurs et les alimentations de puissance du côté extérieur.

4.2 Le système électrotechnique

Le système électrotechnique comprend tous les systèmes électriques de puissance dont les principaux éléments sont représentés sur la figure 5.

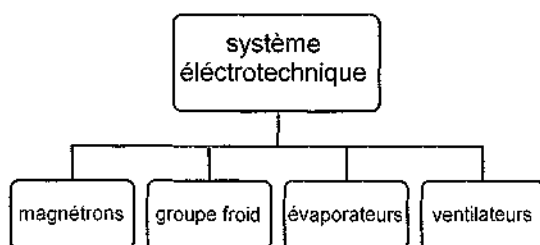


Figure 5 – Décomposition en éléments du système électrotechnique

en suivant cette logique. Chaque carte peut être ensuite découpée en fonctions plus élémentaires.

C'est cette décomposition qui a été retenue pour le système électronique de la chambre de fermentation. Ce découpage est représenté sur la figure 7.

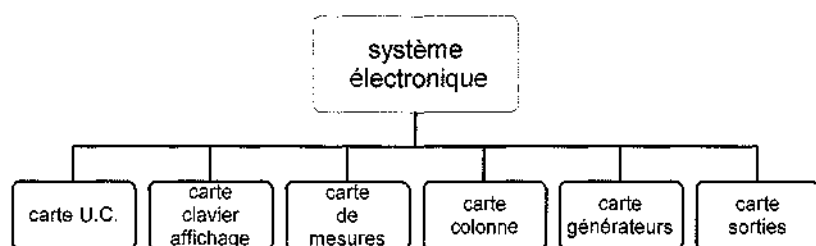


Figure 7 – Décomposition en éléments du système électronique

La carte unité centrale, pilotée par un microcontrôleur, est reliée aux autres cartes du système. Le programme implanté sur cette carte permet d'établir le dialogue entre les différentes cartes périphériques. Du point de vue de la conception, ces cartes peuvent être étudiées et réalisées séparément.

5 Attribution des responsabilités

Un des objectifs de l'organigramme technique est de définir des lots de travaux de façon claire et gérable. Chaque lot possède un domaine technique bien délimité qui permet de définir les compétences de son responsable. Ses compétences doivent être générales car on a vu que les lots sont très souvent interconnectés. Elles doivent être aussi suffisamment pointues dans le domaine pour qu'il puisse suivre les travaux de son équipe. Ses responsabilités peuvent être attribuées à partir de l'organigramme de niveau 1.

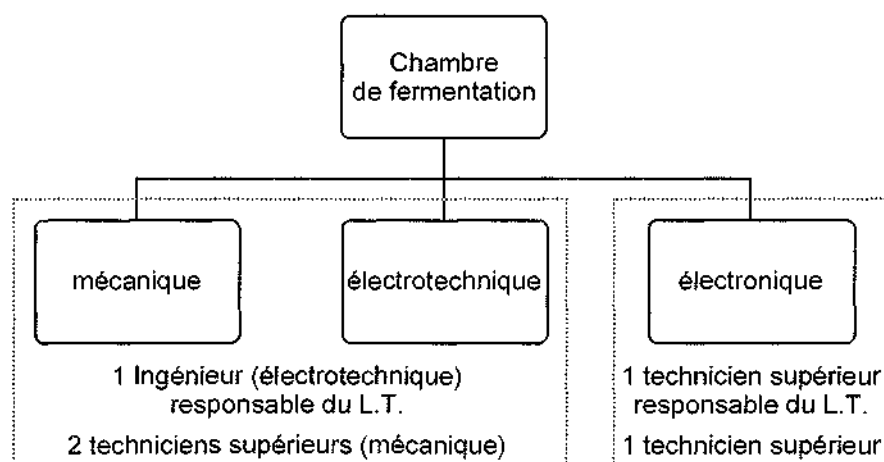


Figure 8 – Organigramme des responsabilités

La décomposition en niveaux inférieurs permet au chef de projet et à son équipe de définir les ressources humaines à mettre en oeuvre pour la réalisation du projet. On a représenté sur la figure 8 les équipes qui ont réalisé la chambre de fermentation citée en exemple. La décomposition en éléments techniques permet aussi de définir les compétences que doivent posséder les intervenants. Selon les objectifs de délais, on peut renforcer les équipes sur la réalisation des lots les plus importants, soit en fonction

Chapitre 14

Concevoir les modules techniques

L'identification des modules techniques a pour objectif de répartir les différentes tâches de conception et de réalisation. L'organisation du travail de la personne ou de l'équipe chargée de cette réalisation doit s'appuyer sur des méthodes spécifiques d'optimisation de la conception comme, par exemple, la recherche et l'application de solutions génériques et de fonctions techniques.

Une **solution générique** est une solution adaptée à la réalisation d'un élément technique particulier, mais conçue avec le souci d'être suffisamment flexible pour être facilement adaptable à la conception de nouveaux éléments. Les exemples choisis (alimentation stabilisée, gestion d'un clavier, gestion d'un afficheur et utilisation d'un plateau tournant) montrent l'importance de retenir des solutions génériques qui viendront enrichir la base de données des concepteurs.

Une **fonction technique** est un module conçu pour être autonome et réutilisable dans n'importe quel projet. C'est le cas par exemple du mécanisme d'entraînement d'une cassette vidéo. Le découpage en fonction permet de confier la réalisation de la tâche à un ou plusieurs spécialistes. La fonction, une fois réalisée, peut être associée au reste du projet mais elle peut être aussi réutilisée dans d'autres projets de façon autonome, au même titre qu'une solution générique.

1 Décomposition d'un système électronique

La complexité des systèmes électroniques a amené, depuis fort longtemps, les électroniciens à se pencher sur le problème de la décomposition des projets électroniques. Une méthode de décomposition, très utilisée, consiste à décrire le système sous une forme hiérarchisée depuis le niveau le plus haut, l'application, jusqu'au niveau le plus bas, la réalisation. Cette méthode est proche de la Méthodologie de Conception de Système Electronique (MCSE) décrite par J.P. Calvez¹.

La démarche consiste, à partir de l'application, à définir un cahier des charges regroupant les spécifications techniques du produit. Puis, en partant du niveau le plus haut, on effectue une décomposition sous la forme de blocs fonctionnels. Chaque bloc de la description fonctionnelle décrit une fonction principale du système. Chaque fonction peut être à son tour, compte tenu de sa complexité, décomposée en schéma fonctionnel ou en schéma synoptique. La figure 1 représente cette démarche et les différents schémas associés. On distingue :

– Le **schéma fonctionnel**, qui a pour objectif de décrire le fonctionnement du système sous la forme de fonctions générales indépendantes de la technologie.

¹ J.P. Calvez, Spécification et conception des systèmes, Masson, Paris, 1991.

– **Le schéma synoptique**, qui représente un système à partir de symboles (plus ou moins normalisés) désignant des fonctions élémentaires telles qu'un amplificateur, un détecteur, un filtre, un circuit de mise en forme.

– **Le schéma technique**, qui décrit le fonctionnement du système dans ses moindres détails. Il est utilisé pour la construction et la maintenance du produit.

La méthode de conception d'un module technique consiste à décomposer le montage sous une forme hiérarchisée depuis le niveau 2, à savoir la représentation fonctionnelle, jusqu'au niveau n correspondant au niveau le plus élémentaire. La décomposition sous forme d'un « design hiérarchisé » est en tout point comparable à la décomposition d'un projet sous la forme d'un organigramme technique.

Le schéma fonctionnel et le schéma synoptique décrivent le fonctionnement technique du produit. Les schémas détaillés ne sont utilisés que par les experts.

On vient de voir que le schéma fonctionnel permettait de décrire les fonctions principales d'un système sans tenir compte de la technologie. Toutefois, compte tenu de la complexité des systèmes, le concepteur est contraint d'effectuer des décompositions intermédiaires. Par exemple on a représenté sur la figure 2 le schéma fonctionnel d'un système simple. Il s'agit d'un VU-mètre digital permettant d'afficher le niveau sonore d'un signal sur des diodes électroluminescentes horizontales (bargraph) et sur des afficheurs 7 segments. Sur ce schéma qualifié de fonctionnel, on commence à anticiper sur la technologie en précisant que l'on utilise un processeur de signal, une mémoire dont la capacité est définie et en précisant le type de l'affichage, afficheurs « bargraph » et afficheurs « 7 segments ».

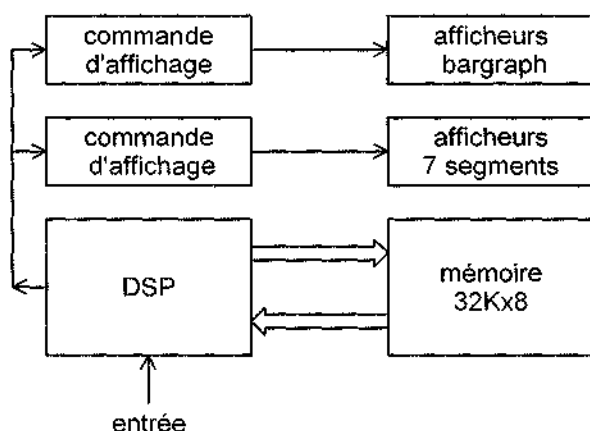


Figure 2 – Schéma fonctionnel d'un VU-mètre à DSP

Depuis l'avènement des circuits intégrés, les électroniciens ont pris l'habitude de représenter les circuits par la fonction qu'ils réalisent. C'est le cas par exemple pour les amplificateurs opérationnels (A.O.P.) et les circuits logiques. Ces circuits sont utilisés comme une boîte noire avec des entrées et des sorties. Ils réalisent en fait une fonction analogique ou une fonction logique. Mais les circuits intégrés devenant de plus en plus complexes, il a fallu augmenter la hiérarchie des schémas décrivant leur fonctionnement.

Par exemple, un amplificateur d'instrumentation, qui est conçu à partir d'amplificateurs opérationnels, sera schématisé par un symbole particulier. Ce symbole peut être éclaté en plusieurs amplificateurs opérationnels. Puis on peut détailler le schéma, à base de transistors, de chaque amplificateur opérationnel. On a représenté sur la figure 3 le symbole d'un amplificateur d'instrumentation et son schéma synoptique.

alimentations stabilisées permettant de faire face à un grand nombre de situations. Pour la conception d'un prototype de montage électronique, ce choix permet de gagner du temps. Mais très souvent des contraintes d'encombrement ou de simplicité d'assemblage obligent à intégrer le module d'alimentation sur l'unique carte électronique du projet. Dans ce cas, il n'y a aucun doute que la solution générique, si elle a été bien conçue, apportera un gain de temps considérable.

1.2 Décomposition en fonctions

Pour continuer la démarche de décomposition d'un système électronique, on va illustrer sur un exemple la possibilité de découpage sous la forme d'une fonction. L'exemple retenu est celui de la conception d'une carte de commande de moteurs pas à pas.

*Les **moteurs pas à pas** sont des composants très utilisés dans les systèmes automatiques. Ils servent à commander, de façon discrète ou par pas, le déplacement suivant plusieurs axes des outils de machines automatiques. Le déplacement suivant chaque axe est assuré par un moteur indépendant. C'est le cas par exemple d'une perceuse à commande numérique. Le déplacement suivant les axes X et Y est fonction des coordonnées, à partir d'une origine, du trou à percer. Le déplacement est converti en nombre de pas et il est assuré par deux moteurs séparés. Le perçage est effectué suivant l'axe Z. La tête mobile, supportant la perceuse, se déplace entre une butée haute et une butée basse. Ce déplacement est lui aussi converti en nombre de pas et est assuré par un troisième moteur.*

Le schéma de principe d'un moteur pas à pas bipolaire est donné figure 5. Le stator est constitué de deux paires d'enroulement et le rotor est constitué d'un aimant permanent.

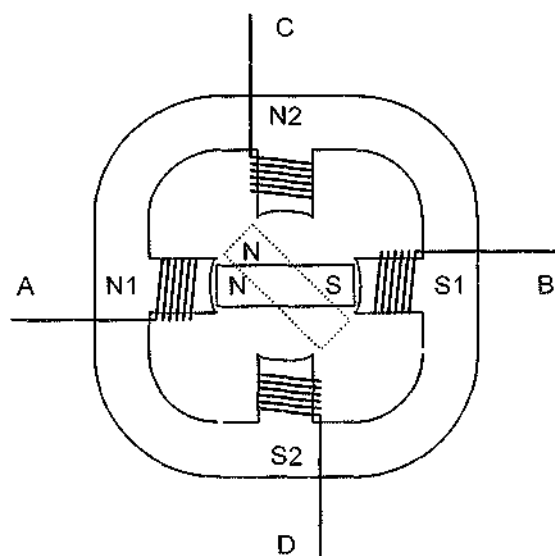


Figure 5 – Schéma de principe d'un moteur pas à pas

Si on alimente la paire de bobine AB, l'aimant va s'orienter dans le sens AB. Si on arrête l'alimentation de la paire de bobines AB et si on alimente la paire de bobines CD, l'aimant tourne d'un quart de tour. En changeant le sens d'alimentation des bobines, on peut faire tourner l'aimant d'un tour complet. Dans ce mode de fonctionnement, le rotor peut tourner de 90° par pas, soit 4 pas par tour. En multipliant le nombre d'aimants sur le rotor, on peut augmenter le nombre de pas par tour. On atteint ainsi couramment 200 pas par tour.

En excitant simultanément les paires de bobine AB et CD, le champ magnétique créé est à 45° de l'axe des bobines. En jouant sur le sens de passage du courant dans les

- mode de fonctionnement (pas entier ou demi pas) (E/D) ;
- sens du déplacement (Sens) ;
- avance d'un pas (Horloge).

La fonction ainsi réalisée est indépendante du système micro-informatique. La carte peut être aussi bien commandée par un micro-ordinateur que par un microcontrôleur. Pour actionner le moteur, il suffit de choisir le mode de fonctionnement (demi pas ou pas entier), le sens de rotation et d'envoyer un nombre de coups d'horloge égal au nombre de pas.

2 Décomposition d'un système micro-informatique

Sur un ordinateur, le clavier est utilisé pour saisir des commandes ou des données et l'écran est utilisé pour afficher le résultat d'opérations ou comme interface entre l'opérateur et la machine. Pour simplifier l'utilisation de ces deux composants, les informaticiens ont décrit leur fonctionnement à l'aide de fonctions standardisées. Tous les logiciels de programmation reconnaissent le clavier comme une entrée standard et l'écran comme une sortie standard.

Sur un système micro-informatique, spécifique à un projet, cette notion d'entrée et de sortie standard n'existe plus. La gestion du clavier de l'application est spécifique au projet ; il en est de même pour l'affichage des résultats.

A défaut de fonctions standardisées, il est fortement recommandé de rechercher des solutions génériques de gestion d'un clavier et d'un système d'affichage. Cet aspect est présenté dans la suite de ce chapitre.

2.1 Analyse de la gestion d'un clavier

Analysons le cas de l'étude de l'interface homme-machine de la chambre de fermentation citée en exemple au chapitre 13.

L'utilisateur, en l'occurrence un boulanger, doit pouvoir intervenir sur la programmation de la chambre de fermentation sans aucune connaissance en informatique. Il doit pouvoir agir sur la machine en appuyant sur des touches représentant la fonction à programmer, par exemple une touche décongélation, une touche cuisson, etc.

La résolution de ce problème se ramène à l'étude de la gestion d'un clavier. En premier lieu, il faut réaliser un bilan du nombre de touches désiré par le concepteur et ensuite utiliser la méthode la mieux adaptée à la résolution du problème. On examine plusieurs méthodes de décodage et on montre l'intérêt de retenir une solution générique.

Examinons comment est agencé un clavier. Vu par l'utilisateur, un clavier se présente sous la forme de touches équivalentes à un ensemble de boutons-poussoirs. Un bouton-poussoir permet d'établir un contact entre deux lignes électriques quand l'utilisateur appuie sur le bouton. Dans le cas d'un clavier à 16 touches, il y a donc l'équivalent de 16 boutons-poussoirs chargés d'établir des contacts entre 16 lignes d'entrées et 16 lignes de sorties. Cette technique est très rarement utilisée car elle nécessite un trop grand nombre de fils de câblage. Les fils d'entrées sont généralement reliés à la masse, mais il reste néanmoins 17 fils de connexions. La gestion d'un tel clavier par un système informatique est extrêmement simple. Il suffit de relier chaque fil de liaison à une entrée du système informatique et de tester si cette entrée est à 0 ou à 1. Sur cet exemple, dont le schéma est donné sur la figure 8, on voit que l'appui sur un bouton-poussoir envoie une information 0 lorsque la ligne commune est reliée à la masse ; les sorties au repos sont à l'état 1.

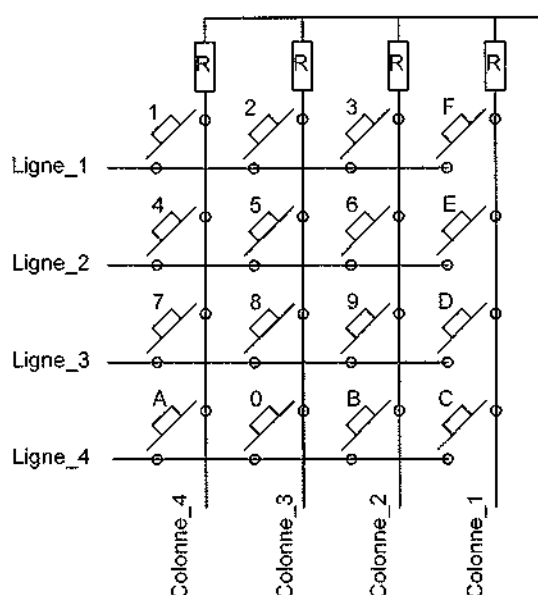


Figure 9 – Clavier matricé

L'algorithme simplifié du traitement de la gestion de ce clavier est le suivant :

faire $n=1$
 tant que $n \leq 4$
 envoyer un état 0 sur la ligne n
 lire les colonnes
 faire $n = n+1$

Pour traiter cet algorithme, il existe plusieurs méthodes. La plus universelle, et donc la meilleure en gestion de projet, est celle consistant à mettre les valeurs à envoyer dans une table. Il suffit d'envoyer successivement les valeurs enregistrées dans la table sur les lignes de commande et de comparer le résultat obtenu sur les colonnes aux valeurs enregistrées dans une deuxième table. La valeur de la touche décodée est placée dans une troisième table. Les valeurs à placer dans les 3 tables sont données sur le tableau 1.

	Table 1		Table 2		Table 3
	Sorties		Entrées		Affectation
n°	Lignes		Colonnes		Touches
1	1110		1110		F
2	1110		1101		3
3	1110		1011		2
4	1110		0111		1
5	1101		1110		E
6	1101		1101		6
7	1101		1011		5
8	1101		0111		4
9	1011		1110		D
10	1011		1101		9
11	1011		1011		7
12	1011		0111		8
13	0111		1110		C
14	0111		1101		B
15	0111		1011		0
16	0111		0111		A

Tableau 1 – Table de décodage clavier

Le programme de gestion de ce nouveau clavier reste intégralement le même. La seule modification à effectuer par rapport au cas précédent consiste à éditer une nouvelle table en binaire naturel. Les informations de la table 1 (tableau 3) sont toujours envoyées successivement sur les lignes de commande. Les informations reçues sur les colonnes sont comparées à celle de la table 2 (tableau 1) ; quand il y a égalité, la valeur de la touche décodée est lue dans la table 3 (tableau 3). Le programme reste en tout point similaire à celui du décodage du clavier 16 touches.

Table 1		Table 2		Table 3	
	Sorties		Entrées		
n°	Lignes		Colonnes		Touches
1	000		1110		F
2	000		1101		3
—	—		—		—
23	110		1011		M
24	110		0111		N

Tableau 3 – Table de décodage clavier

Sur cette description de la gestion d'un clavier, on a essayé de montrer l'intérêt de rechercher des solutions générales au détriment d'une solution trop restrictive. Avec cette méthode de travail, il est possible de quantifier le temps à passer pour adapter le décodage à n'importe quel cas de figure.

Lorsque l'on possède le programme de gestion d'un clavier tel qu'il est décrit précédemment, le travail à effectuer pour éditer la documentation de gestion d'un nouveau clavier et la compilation du nouveau programme peut être estimé à une seule journée de travail.

Ce travail consiste essentiellement :

- à modifier les tables de décodage ;
- à documenter le nouveau programme en associant les lignes et les colonnes à des entrées et des sorties physiques du système micro-informatique ;
- à éditer les nouveaux tableaux et fournir un plan de câblage du nouveau système.

2.2 La gestion d'un afficheur

On vient de traiter dans la section précédente le problème de l'interface homme machine réalisé par l'intermédiaire d'un clavier. Un point tout aussi important est le retour de l'information fournie sur un afficheur. Ce problème concerne tous les types d'appareils programmables. Sur la plupart des appareils programmables, il s'agit de gérer un ensemble de questions et de réponses. Les questions sont posées sous la forme d'interrogations proposées par le concepteur à l'utilisateur. Les réponses sont fournies par l'utilisateur. Pour que le système soit convivial, il est très important que l'utilisateur puisse modifier à sa guise la valeur des réponses, c'est à dire qu'il puisse revenir sur la question précédente s'il a un doute sur sa réponse. Chacun a pu rencontrer des systèmes programmables trop complexes à programmer pour un non initié. C'est le cas de nombreux magnétoscopes par exemple. On va analyser le principe du dialogue sur les produits présentés ci-dessous.

L'automate de coloration a pour fonction principale de tremper des coupes histologiques placées sur des lamelles en verre dans des bains de colorant ou de fixateur. Les colorants et les fixateurs sont placés dans douze bacs en verre disposés sur un plateau tournant. Ils sont repérés par leur position de un à douze.

Dans le cas de l'automate de coloration l'opérateur doit pouvoir indiquer quel est l'ordre de passage dans les différents bains. Pour chaque bain, il doit indiquer en outre la durée de trempage. La figure 13 présente quelques pages d'affichage de cet automate.

Sequence n° : 1
valider avec *
1 Bac n° : 1
Duree : 12 mn ↓

Figure 13 – Automate de coloration

Le compteur à poissons est utilisé essentiellement par des sociétés de pêche pour effectuer des comptages de saumons dans des lieux de passage obligé. Le relevé des informations est assuré dans la plupart des cas par des gardes pêches. Ils n'ont pas à intervenir sur la programmation de l'appareil. Ils peuvent seulement consulter les informations mémorisées en utilisant les flèches du clavier pour faire défiler les informations.

A l'installation du compteur, il est nécessaire de configurer les paramètres de l'appareil. Cette opération est réalisée par un technicien. Il a accès à tous les paramètres par des menus déroulants. Les informations sont affichées sur un afficheur de deux lignes avec quarante caractères par ligne.

Gestion de l'heure
Entrer l'heure : 16 H 42 mn 05s ↓
Jour : 4 Date : 09
Mois : 11 Année : 96 valider avec *
Jeudi 9 Novembre 96
Il est : 16 H 42 mn 06 s

Figure 14 – Messages du compteur à poissons

La présentation de ces trois exemples permet d'analyser le fonctionnement du dialogue entre l'utilisateur et l'automate.

Le premier type d'affichage concerne l'envoi de messages d'information indiquant à l'utilisateur quelle opération il doit effectuer. Quand il a effectué cette opération, il peut passer à l'étape suivante en validant son action par l'appui sur une touche indiquée en clair sur l'afficheur.

Le deuxième type de message concerne la modification des paramètres de programmation. Pour que la programmation soit conviviale, il faut pouvoir se déplacer simplement d'une page d'affichage (de deux lignes) à une autre. Cette opération est effectuée à l'aide des flèches haut ou bas. A l'intérieur d'une page, il est intéressant à tout moment de pouvoir corriger une valeur. On se déplace sur les données à modifier à l'aide des flèches droite et gauche. Pour modifier une valeur, il suffit d'écrire par dessus. Les données modifiables sont indiquées en gras sur les exemples cités ci-dessus. Sur le système d'affichage, les données modifiables sont repérées par un curseur mobile et clignotant.

La voie choisie pour traiter le problème de l'affichage a été, dès le premier projet, de développer un logiciel s'appliquant aux cas de figure les plus courants. On a développé un programme permettant de gérer des afficheurs de deux à quatre lignes avec seize à quarante caractères par ligne.

doivent apparaître sur l'afficheur. Ces questions sont à mettre au point avec le demandeur.

Par exemple, avec cette méthode, pour développer le dialogue d'un préleveur d'échantillons sur une station d'épuration il a fallu environ deux semaines de travail pour éditer une cinquantaine de questions.

3 Décomposition d'un système mécanique

Tous les projets basés sur la micro-informatique font appel aussi à des éléments de mécanique. C'est le cas pour les automates où la partie opérative est actionnée par des moteurs et qui mettent en jeu des éléments mobiles.

C'est aussi le cas pour n'importe quel montage électronique qui doit être fixé dans un boîtier servant de support aux cartes électroniques mais aussi à d'autres éléments tels que : un clavier, un afficheur, un connecteur, etc.. Cette mise en boîte peut poser des problèmes car elle n'est considérée ni comme de la mécanique, ni comme de l'électronique. Sur un appareil produit en petite série, on ne peut pas non plus faire appel à un designer. Pour des petites séries, il est possible d'utiliser des coffrets standard sur lesquels il ne reste qu'à effectuer des découpes. Il faut cependant ne pas négliger cette mise en boîte car elle apporte le fini indispensable à un projet.

Il est des cas où la mécanique peut être sous-traitée. On a vu que le mididanse comportait un support métallique permettant de positionner les émetteurs infrarouges². Ce support est constitué de deux éléments principaux, un tube et un socle en aluminium anodisé. Les délais de fabrication sont donnés par les sous-traitants. Ils concernent le détournage des socles et l'anodisation des pièces. Il est aisé d'intégrer ces délais dans un planning « PERT ».

On a vu dans les exemples d'électronique précédents l'utilité de dégager des solutions génériques. Dans le cas de système mécanique, il est possible d'obtenir le même type de démarche. On peut citer le cas des tables trois axes qui sont presque devenues un composant mécanique. Elles sont utilisées pour effectuer des opérations de perçage, de détournage ou de positionnement de pièces diverses. Les déplacements sur les trois axes sont généralement commandés par des moteurs pas à pas ou des moteurs à courants continus couplés à un codeur angulaire. Sur les trois exemples cités, les déplacements sur les axes X et Y sont identiques. Seule l'opération suivant l'axe Z est différente. Une équipe de projet possédant une bonne maîtrise du système de perçage automatique pourra aisément se lancer dans l'étude d'un automate de placement de composant CMS.

On a cité au paragraphe 2 l'étude d'un automate de coloration. Le mécanisme de cet automate est constitué d'un bâti horizontal en tube soudé et d'un bâti vertical. Le bâti horizontal reçoit un plateau tournant entraîné par un moteur à courant continu. Les bacs de trempage sont positionnés sur ce plateau. Le bâti vertical sert de support au mécanisme de montée et de descente du panier contenant les objets à colorer. Le schéma de cet automate est donné sur la figure 15. Un tel système de présentation de pièces à l'aide d'un plateau tournant peut être réutilisé sur d'autres appareils. C'est le cas, par exemple, du **calcimètre automatique**.

*Le **calcimètre automatique** est un appareil qui permet de mesurer le taux de carbonate dans des échantillons de sédiments. Ce taux est obtenu en mesurant la pression et la température du dégagement gazeux après réaction à l'acide chlorhydrique.*

²Voir chapitre 3, p. 24.

Chapitre 15

Concevoir à l'aide de l'outil CAO

La conception assistée par ordinateur (CAO) est devenu l'outil incontournable de la gestion de projets industriels. Les projets décrits dans cet ouvrage ont tous été réalisés en utilisant des outils de CAO électronique ou mécanique. Cette liste n'est pas limitative. Il existe des outils de CAO dans tous les domaines, y compris pour la rédaction de documents ; dans ce cas les outils portent le nom de traitement de texte ou de publication assistée par ordinateur (PAO).

1 La conception assistée en électronique

On a vu dans la décomposition d'un projet électronique qu'il était très utile de rechercher des éléments sous la forme de solutions génériques ou de fonctions. L'informatique et plus particulièrement la CAO vont permettre de développer efficacement ce type de solution et de les gérer. L'intérêt de l'outil informatique est sa flexibilité. Il est très facile de récupérer un document existant et de le faire évoluer vers un nouveau produit.

La conception d'une carte électronique doit être menée avec les techniques de gestion de projet. Dans ce mode de conception, on cherche à développer les éléments du projet en parallèle. Au fil des années, les outils de CAO se sont adaptés à ce concept. On est passé d'une structure de conception purement verticale à une structure de conception plus horizontale que les américains appellent le « *concurrent engineering* » (ingénierie simultanée).

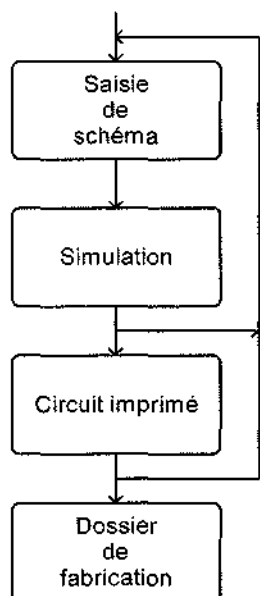


Figure 1 – Conception verticale.

1.3 Les outils de conception de système

En complément de la saisie de schéma, on trouve de véritables outils de conception qui permettent de créer des schémas à partir de la description fonctionnelle d'un module électronique. A partir de cette description, le compilateur va proposer une solution, sous la forme d'un schéma, pour résoudre le problème posé. Ces outils sont très efficaces pour la conception d'ensembles logiques à base de circuits intégrés programmables ou non. Un même langage de description tel que VHDL (Very High Description Language) peut être employé quels que soient les circuits programmables utilisés, des PALs (Programmable Array Logic) aux ASICs (Application Specific Integrated Circuit). Malheureusement ces outils restent encore assez chers.

1.4 Les simulateurs

Les simulateurs permettent de vérifier le bon fonctionnement du schéma saisi par le concepteur. Les prototypes de circuits électroniques sont de plus en plus délicats à mettre en oeuvre en raison de la complexité de plus en plus grande des circuits intégrés. Les circuits intégrés modernes ont beaucoup de broches et ont des dimensions très réduites. Cette complexité rend les simulateurs de plus en plus utiles car ils évitent de développer des prototypes de définition câblés. Grâce à leur puissance, ils permettent en outre de simuler le fonctionnement d'un montage en tenant compte de la dispersion sur les caractéristiques des composants.

Les circuits intégrés complexes ne peuvent être conçus et testés que grâce aux simulateurs. Il est hors de question de réaliser un montage électronique équivalent à un circuit intégré contenant des milliers de transistors. Il faut réaliser directement les prototypes sous la forme de circuit intégré. Le coût de réalisation de ces prototypes est tel qu'il vaut mieux les réussir du premier coup. Ces composants sont réservés aux projets très importants. Pour les projets plus modestes, l'utilisation de circuits intégrés spécifiques est tout à fait envisageable. Ces composants sont conçus avec des outils similaires à ceux utilisés pour réaliser les circuits complexes.

1.5 Les outils de conception de circuits imprimés

Les outils de conception de circuits imprimés permettent d'obtenir, à partir d'un schéma, le dessin du circuit imprimé et de l'implantation des composants. Ils apportent une assistance dans le placement des composants sur la carte et sur le routage des pistes. Le concepteur peut facilement optimiser l'implantation des composants en tenant compte des contraintes technologiques telles que les temps de propagation, les intensités de courant dans les pistes, etc..

En plus des aides apportées à l'opérateur, ils garantissent, à partir d'un schéma validé, d'obtenir un circuit imprimé dont les liaisons sont justes à 100%. C'était loin d'être le cas lorsque les circuits imprimés étaient dessinés à la main. Cette garantie justifie à elle seule l'utilisation de logiciels de conception de circuits imprimés.

Grâce à la grande souplesse d'utilisation des ces outils, il est possible de commencer à concevoir le circuit imprimé sans que le schéma soit finalisé. On peut donc adopter une véritable stratégie de gestion de projet. Une personne peut travailler sur la conception du montage et une autre sur la conception du circuit imprimé. Pour rendre le travail de conception du circuit imprimé efficace, il est tout de même nécessaire que le schéma utilisé soit proche du dessin final. Lorsque le schéma final est validé, il ne reste plus qu'à transmettre les modifications aux différents logiciels qui actualiseront, souvent en automatique, toutes les données sur le circuit imprimé définitif.

2.2 La conception assistée par ordinateur

Comme en conception électronique, les logiciels de conception assistée par ordinateur sont très utiles pour concevoir des systèmes sous une forme hiérarchisée. Ces logiciels sont utilisés pour effectuer une conception ascendante à partir de pièces et de symboles des bibliothèques. Inversement, ils permettent de manipuler des pièces assemblées comme un objet et d'en effectuer une décomposition descendante jusqu'à la définition précise des composants. Face à ce type de conception ascendante et descendante, de nombreux outils s'orientent vers une conception d'ingénierie simultanée beaucoup mieux adaptée au travail d'équipe.

Les outils de simulation interviennent dans l'analyse du comportement des pièces soumises à des contraintes mécaniques. De cette façon, il est possible de tester des pièces sans les avoir encore fabriquées.

Quelle que soit la performance des systèmes, la communication entre eux et l'accessibilité aux données techniques sont fondamentales. Les logiciels sont modulables en fonction des spécialités des utilisateurs (du concepteur au fabricant en passant par le mécanicien) regroupés dans un environnement projet.

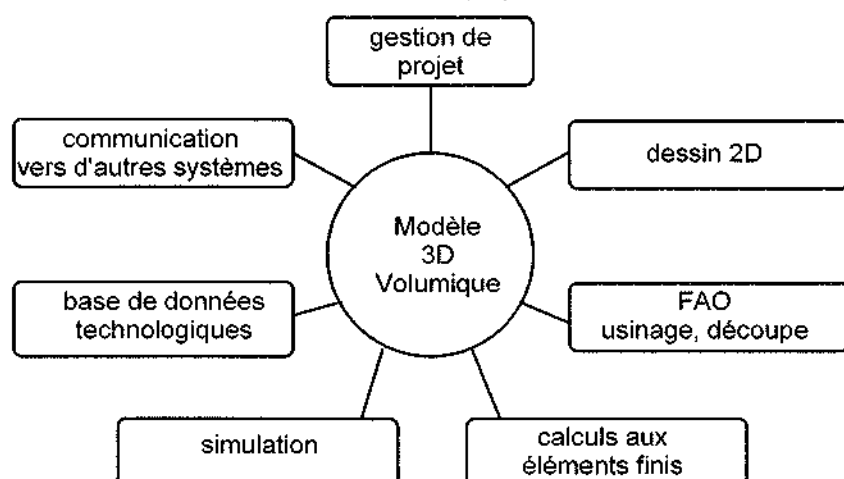


Figure 3 – Structure d'un système de CAO-CFAO

2.3 La fabrication assistée par ordinateur

Le dernier maillon de la chaîne est constitué des logiciels d'aide à la fabrication. A partir de la géométrie tridimensionnelle ou des dessins 2D, on obtient les éléments nécessaires à la programmation d'usinage, par exemple les points et contours définissant les positions et trajectoires d'outils. L'élaboration de la gamme d'usinage est alors facilitée si les données techniques relatives aux outils, aux machines ou aux matériaux des pièces sont disponibles. La simulation permet de vérifier et de corriger le programme d'usinage préparé. Il est ensuite transféré vers l'armoire de commande et traduit en langage machine. La pièce peut alors être réalisée, opération après opération, par l'exécution de ce programme. Suivant la complexité de la pièce et les possibilités des machines on parlera d'usinage 2 axes, 3 axes ou 5 axes.

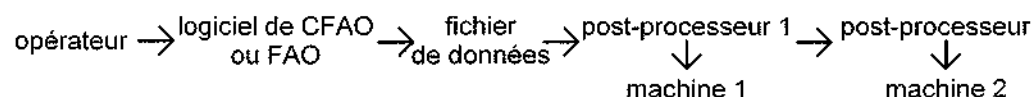


Figure 4 – Exemple de structure d'un système de FAO

Un document important tel qu'un rapport d'avancement d'une partie du projet doit être organisé avec au minimum :

- une page de garde donnant les informations concernant l'identité de l'émetteur, l'identité du projet, la nature du rapport, la date d'émission ;
- une page présentant le sommaire ;
- le texte explicatif ;
- une page d'analyse documentaire .
- les annexes techniques.

Tous les documents doivent être identifiés par rapport au projet auquel il se rapporte et par rapport aux éléments de ce projet. Cette identification doit être sans ambiguïté. Elle constitue un lien avec les différents éléments identifiés à l'aide de l'organigramme technique.

Les documents doivent être émis en trois étapes.

- la première étape concerne la mise au point et la rédaction du document par le rédacteur qui peut être le principal intervenant sur une partie du projet ;
- la deuxième étape concerne la vérification des documents et l'approbation. Elle peut être faite par le chef de projet s'il n'est pas le rédacteur ;
- la troisième étape concerne l'autorisation et donc la diffusion du document. Cette troisième étape doit être réalisée par toutes les parties concernées par le projet.

3.3 La gestion de la documentation

L'expérience montre que la gestion de la documentation pose des problèmes aux intervenants de la gestion d'un projet car ils sont très souvent à la fois les acteurs de la technique et les rédacteurs obligés de cette documentation. Peu formés aux méthodes de la rédaction technique, ils négligent cette composante essentielle de la vie d'un projet. L'absence de documents spécifiques ou une documentation incomplète sur un projet précédent est après coup cruellement ressentie.

La gestion et la rédaction de la documentation sont à élaborer dès le démarrage officiel du projet.

Elle concerne la rédaction des spécifications techniques des besoins, la rédaction du cahier des charges fonctionnel, la rédaction des documents techniques, la rédaction des dossiers de fabrication. La saisie informatique de toutes ces informations dès le début du projet doit permettre de conserver ces informations et de les réutiliser à bon escient.

Les outils d'édition et de gestion documentaire, couplés à une CAO, sont une aide extrêmement précieuse à la rédaction de document et au maintien de leur mise à jour.

Les schémas électroniques, les résultats de simulation, les dessins de circuit imprimé ou les dessins de pièce mécanique peuvent être insérés de plusieurs façons dans un document.

Une première méthode consiste à effectuer un « copier-coller » entre le fichier source (un schéma, un dessin) et le fichier destination (le texte). Cette façon de procéder, couramment pratiquée, possède l'avantage d'être facile à mettre en oeuvre et de produire un document sous la forme d'un objet unique incluant le texte et les dessins incorporés. L'inconvénient majeur de cette méthode est que la mise à jour des objets incorporés dans le document doit être réalisée manuellement.

Chapitre 16

Concevoir en programmation

Le temps de développement des logiciels d'un projet incluant de l'informatique industrielle représente une part de plus en plus importante de la réalisation. Ce fait s'explique simplement par le nombre croissant de circuits programmables implantés sur une carte électronique. Ces composants programmables sont une aide précieuse dans la gestion d'un projet piloté par un ensemble électronique. Ils permettent, à partir d'un système matériel figé, d'envisager une évolution des solutions développées. Il ne faut évidemment pas profiter de cette flexibilité pour laisser des imprécisions dans le cahier des charges. On doit au contraire utiliser la souplesse d'utilisation des circuits programmables pour conserver des solutions de repli. Un autre avantage d'une carte incluant des circuits programmables est qu'elle peut souvent être déviée de sa destination première et être modifiée pour tester des solutions logicielles sur une maquette de faisabilité d'un autre projet.

Dès les débuts de la programmation, les informaticiens ont senti la nécessité de décrire leurs programmes sous la forme d'organigrammes. L'organigramme décrit les tâches effectuées par le programme. Suivant l'importance du programme, l'informaticien va décrire son programme sous la forme d'un organigramme de plusieurs niveaux. Le niveau général décrit les grandes lignes de fonctionnement de son programme. Chaque tâche principale peut être ensuite décomposée de nouveau sous la forme d'un organigramme plus détaillé.

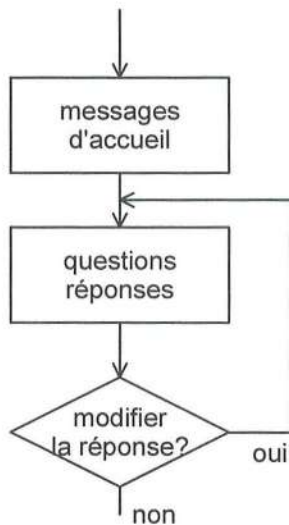


Figure 1 – Exemple d'organigramme.

La description d'un programme sous la forme d'un organigramme de plusieurs niveaux ressemble a priori à la description d'un système sous la forme d'un organigramme technique. Cependant, en y regardant de plus près, on note une différence essentielle.

servir de base de discussion entre le concepteur du programme et le client pour envisager des solutions en adéquation avec le projet.

Pour illustrer cette approche, on peut reprendre l'exemple du **compteur de poissons**. L'organigramme général est présenté sur la figure 3. Après avoir réalisé l'initialisation interne du microcontrôleur, on affiche des messages d'accueil puis on propose à l'utilisateur de modifier ou non les paramètres du compteur. Après cette phase de mise en service, le compteur est opérationnel et il est prêt à détecter le passage de poissons à travers le capteur. Le client désirait transmettre les données enregistrées par le compteur à un ordinateur personnel à travers une liaison série. Ce transfert prend quelques secondes et est effectué une à deux fois par semaine. Le microcontrôleur ne sachant effectuer qu'un nombre limité de tâches, une solution simple est de suspendre la mesure pendant la transmission série. Le système de mesure étant arrêté, on ne peut pas compter les poissons qui passeraient éventuellement pendant ce temps là.

Cette solution qui consiste à interrompre le programme pour effectuer la transmission des données est simple et peu coûteuse. Elle est de plus tout à fait compatible avec la précision du compteur. Une solution plus complexe ne se justifie pas et augmenterait le coût du développement. Il est aisé d'expliquer le fonctionnement du processus au client sur un organigramme simplifié même s'il n'est pas informaticien.

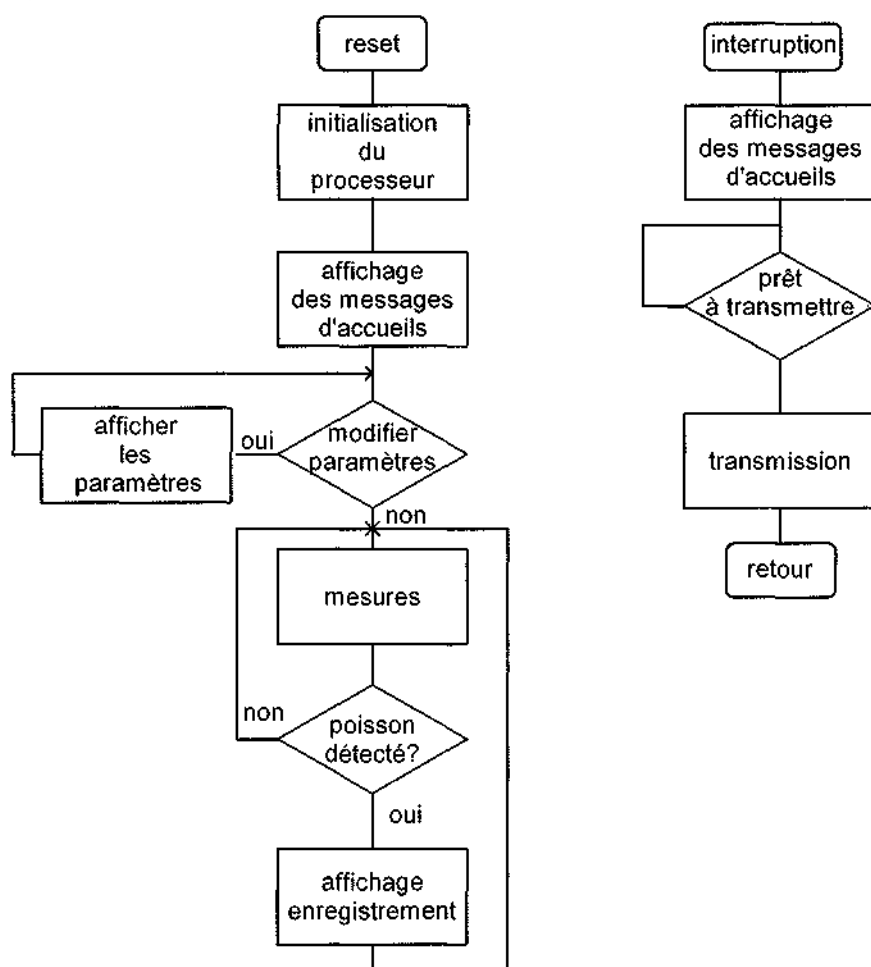


Figure 3 – Organigramme général d'un système : le compteur de poissons

L'utilisation d'outils de description de processus est aussi une aide précieuse pour décrire le séquençement des opérations que doit effectuer un système à base de

Le nom du sous-programme doit être suffisamment explicite pour faciliter la lecture du programme.

Chaque sous-programme doit être commenté de façon détaillée pour expliquer sa fonction. Les variables reçues par le sous-programme doivent être clairement explicitées. Il en est de même pour les variables renvoyées par le sous-programme.

Chaque sous-programme ne doit faire que quelques lignes. Si un sous-programme est trop long, il doit être décomposé, à son tour, en sous-programme.

2.2 Modules

Lorsqu'un sous-programme présente un intérêt général (conversion de données, calcul d'une fonction mathématique, etc.), il peut être écrit sous une forme modulaire. Un module est un sous-programme qui est écrit et testé séparément. Une fois validé le module est archivé en bibliothèque et il est mis à la disposition de tous les utilisateurs.

La programmation modulaire est très utile pour structurer un programme très long. Elle permet de travailler sur des fichiers plus courts et plus faciles à manipuler. Elle permet aussi de travailler à plusieurs développeurs sur un même programme. Chacun est chargé de développer un module du programme. Lorsque les modules sont au point, ils sont liés ensemble par un logiciel spécifique, appelé *éditeur de lien*.

La décomposition d'un programme en module améliore sa lisibilité et sa maintenabilité. Sa programmation doit respecter les exigences de la programmation structurée :

- structuration des données (définir les différents objets utilisés dans le module et les différents types de données) ;
- structuration des traitements en utilisant les structures algorithmiques de base telles que la séquence, l'alternative (si... alors... sinon...), la répétition (tant que... faire... , répéter... jusqu'à ce que..., pour... variant de... avec un pas de... faire) ;
- documentation du travail (programmes soigneusement commentés).

3 Programmation en assembleur

La programmation en assembleur, c'est-à-dire dans un langage propre à un microprocesseur, reste très utile pour développer de petits programmes. Elle présente l'avantage de générer peu de codes. Les programmes occupent peu d'espace mémoire et présentent un temps d'exécution minimum. Ils sont tout à fait adaptés aux petits systèmes gérant des automatismes.

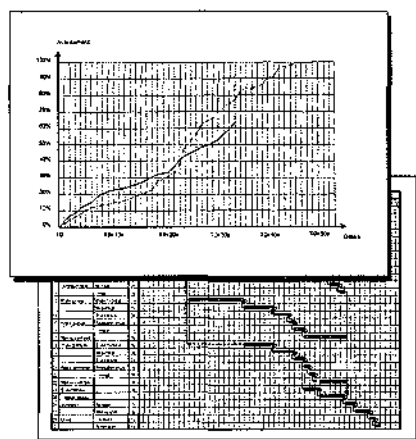
La programmation en assembleur est spécifique d'un système donné : c'est son inconvénient majeur. Un programme, écrit pour un microprocesseur donné, est entièrement à réécrire pour le faire exécuter sur un autre système. Un autre inconvénient de ce type de programmation est la faible lisibilité des programmes.

Il est toutefois possible de réduire ces inconvénients en structurant correctement les programmes et en utilisant un maximum de sous-programmes. Ces sous-programmes doivent être commentés et accompagnés d'un algorithme indépendant du type de microprocesseur utilisé. Il faut, comme en programmation modulaire, utiliser les descriptions algorithmiques de base. En procédant de cette façon il sera plus facile de suivre le déroulement du programme et de l'adapter à un nouveau processeur.

Cependant, pour rester efficace, il est conseillé de faire le choix d'une famille de microprocesseur et de développer tous les projets d'une société avec les composants de cette famille. En procédant de la sorte, le programmeur peut se constituer très rapidement un ensemble de sous-programmes qui, s'ils sont correctement archivés et

Chapitre 17

Maîtriser les délais de réalisation



L'une des préoccupations majeures du chef de projet est de mener à bien dans le temps imparti la réalisation dont il a la charge. Le respect des contraintes calendaires est un élément important qui peut, dans certains cas, devenir prépondérant par rapport aux deux autres facteurs déterminants que sont les coûts et l'adéquation au besoin.

Quelle serait en effet l'utilité d'un stade destiné à l'ouverture des jeux olympiques, dont la construction serait achevée une semaine après le début des épreuves ? Il est vrai que la maîtrise des délais de réalisation n'est pas toujours aussi critique. Mais les effets n'en sont que plus insidieux et bon nombre de réalisations n'ont jamais atteint leurs objectifs faute d'avoir su bien gérer le temps et les moyens.

1 Les facteurs de risques¹

A une mauvaise maîtrise des délais, peuvent être associés une multitude de risques, tant techniques (non-satisfaction du besoin à une date impérative, travail bâclé parce que terminé dans l'urgence) qu'économiques (surconsommation de ressources, pénalités de retard). De nombreux facteurs peuvent être à l'origine de dépassements. Parmi ceux-ci :

- **l'évolution des attentes exprimées** par le demandeur, qui induit des charges supplémentaires et qui est due en général à une mauvaise spécification du besoin ;
- **une sous-estimation de la charge** de travail nécessaire pour réaliser chacune des activités ;
- **la sous-évaluation des difficultés** techniques ou organisationnelles associées à des situations nouvelles et à la mise en oeuvre de technologies encore mal maîtrisées ;
- **une mauvaise planification** dans l'enchaînement des tâches élémentaires, qui induit des délais d'attente et un sous-emploi des ressources ;
- **des aléas et incidents** d'origine interne ou externe, qui ne sont pas maîtrisables et perturbent la réalisation des activités ;
- **un mauvais suivi** en cours de réalisation qui retarde les décisions, introduit des délais d'attente et conduit de ce fait à des flux distendus.

Après signature du contrat liant le demandeur et le réalisateur, les prévisions, devenues contractuelles, sont difficilement modifiables. Il est de ce fait impératif d'éviter toute dérive

¹Voir également le chapitre 6.

disponibilité, affecter une deuxième opératrice, utiliser des moyens plus performants, faire appel à de la sous traitance, ...).

3 Mesure de l'avancement physique d'une activité

3.1 Activités fournissant des résultats mesurables

L'évaluation de l'avancement physique des activités produisant un résultat concret est relativement aisée. Ainsi, dans le cas de travaux de carrelage, l'unité d'oeuvre peut s'exprimer en mètres carrés ; s'il s'agit de béton, on parle en mètres cubes et en faisant l'hypothèse d'une productivité constante, il est alors possible d'établir une relation quasi linéaire entre le temps passé et le résultat obtenu. Dans l'exemple de la préparation d'un rapport, on s'était fixé pour objectif de réaliser la composition du document de 200 pages en 8 semaines. Ceci représente une moyenne de 25 pages par semaine et en tablant sur une progression constante, il est alors facile d'établir les prévisions d'avancement de ce travail (voir figure 1).

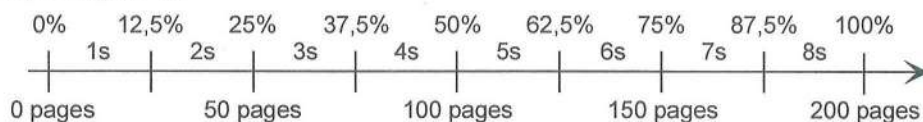


Figure 1 – Avancement linéaire d'une activité.

Mais cela n'est pas toujours aussi simple. Par exemple, pour le percement d'un tunnel, la progression dépend bien évidemment de la nature du sol. Parvenu à la moitié de la distance à franchir, on ne peut pas pour autant prétendre avoir réalisé 50% du travail. L'évaluation de l'avancement physique est alors plus délicate : on peut faire appel à des abaques, des modèles plus ou moins empiriques, ou tout simplement à l'expérience des exécutants. Ainsi, sur la figure ci-dessous, on constate que pour établir des prévisions sur la date d'achèvement, mieux vaut se baser sur l'avancement relatif des travaux que sur la longueur de tunnel réalisée.

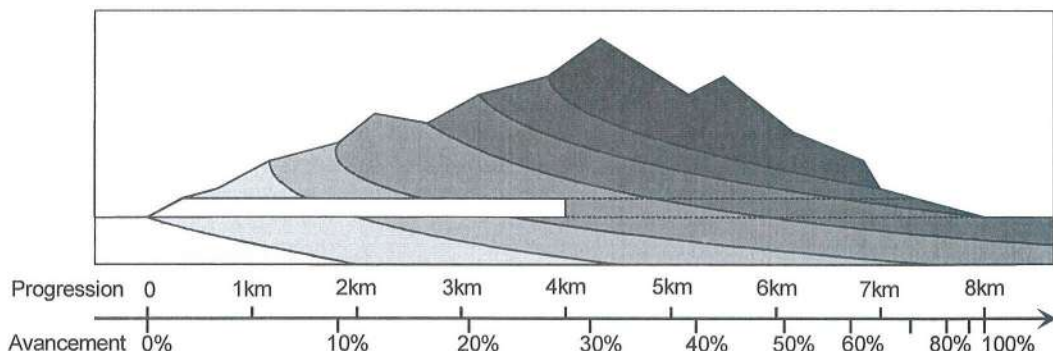


Figure 2 – Avancement non linéaire d'une activité

3.2 Activités ne fournissant pas de résultats mesurables

Plus délicate encore est l'évaluation de l'avancement, réalisée sur des activités produisant des résultats non directement mesurables. C'est le cas notamment des travaux de recherche, d'ingénierie ou d'étude pour lesquels toute progression n'est vraiment acquise qu'à la condition de produire quelque chose de réellement exploitable. Déterminer l'avancement relève alors d'une démarche beaucoup plus subjective et à défaut d'éléments quantifiables, il faut dans ce cas se fier aux estimations des hommes

4 Déterminer l'avancement physique d'un projet

4.1 Une référence commune : la charge de travail

Dans un projet, 100% d'avancement signifie que tout est terminé, c'est à dire qu'on a totalement atteint les objectifs fixés. Déterminer l'avancement physique en cours de réalisation consiste donc à évaluer l'importance relative des résultats effectivement acquis à un instant donné par rapport à la production finale prévue.

Un projet procède de l'enchaînement logique d'un ensemble d'activités et son avancement (exprimé en %) est le reflet de la progression cumulée de chacune d'elles. Ceci suppose tout d'abord que l'on sache en apprécier l'importance relative. Mais creuser une tranchée, construire un mur, poser des câbles... ou encore, concevoir un logiciel, réaliser un circuit électronique, éditer une documentation ... ne produisent pas des effets comparables. Il faut donc choisir une unité commune, indépendante de la nature des travaux réalisés. A défaut de pouvoir utiliser le temps passé, la **charge** qui a été estimée avant le lancement du projet peut constituer un indicateur acceptable. C'est en effet sur cette base qu'ont été définis les engagements contractuels de coût et de délais. Les prévisions qui ont été faites reflètent bien l'effort jugé nécessaire pour obtenir le résultat. Notons qu'on se base sur l'hypothèse d'un minimum d'aléas et d'une productivité moyenne. Pour illustrer ces notions, prenons l'exemple du projet Stand⁴ :

Dans le cadre des activités d'un salon professionnel consacré à l'électronique, une agence de communication est chargée par une PME d'électronique de concevoir, de réaliser et d'animer un stand.

A partir de la charge estimée pour chaque activité le responsable du projet pourra exprimer en pourcentage le poids relatif de chacune des activités (voir tableau 1).

Projet Stand : répartition de la charge estimée			
	Activité	Charge estimée (Homme . heure)	Poids relatif
Documentation	Etude générale	24	8%
	Posters formation	36	12%
Supports images	Posters produits	42	14%
	Film vidéo	48	16%
	Diaporama	18	6%
	Mise au point	12	4%
Animation musicale	Bande son	36	12%
	Pilote informatique	30	10%
	Post synchronisation	18	6%
Installation	Installation infrastructures	18	6%
	Installation animation	12	4%
	Réglages / mise en route	6	2%
	TOTAL	300	100%

Tableau 1 – Projet Stand : répartition de la charge estimée

⁴Voir chapitre 9.

5 Etablissement et ajustement des prévisions

La maîtrise des délais suppose avant tout la définition d'un plan d'avancement tenant compte aussi bien des contraintes d'ordre technique (maîtrise de la technologie, ...), humaines (apprentissage, motivation, synergie, ...) et organisationnelles (occupation de l'espace, disponibilité des moyens, exclusion mutuelle de certaines activités, ...).

5.1 Evolution théorique de la charge et de l'avancement

Le développement d'un projet consiste en la réalisation d'un ensemble d'activités qui peuvent s'exécuter en parallèle.

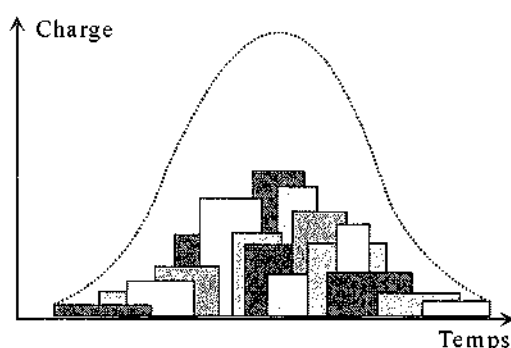


Fig. 5 - Evolution de la charge totale

En analysant les conditions de réalisation de la plupart des projets, on conçoit aisément que le volume d'activité induit à un instant donné par les tâches en cours de réalisation ne soit pas constant dans le temps.

Réduite dans la phase de lancement, la charge totale passe par un maximum au fur et à mesure que l'on progresse dans le développement. Puis, afin de ne pas risquer de terminer dans l'urgence, l'activité doit décroître progressivement laissant ainsi le temps nécessaire aux finitions et à la mise au point.

La courbe en cloche représentée ci dessus (figure 5) matérialise cette évolution idéale et quasi naturelle de l'engagement total des ressources en main d'oeuvre dans un processus de développement. A partir de celle-ci, et en cumulant les éléments de charge acquis à chaque tranche élémentaire de temps, on peut en déduire une courbe d'avancement dite « en S », à laquelle la gestion de projet associe par expérience la progression théorique représentée sur la figure ci-dessous.

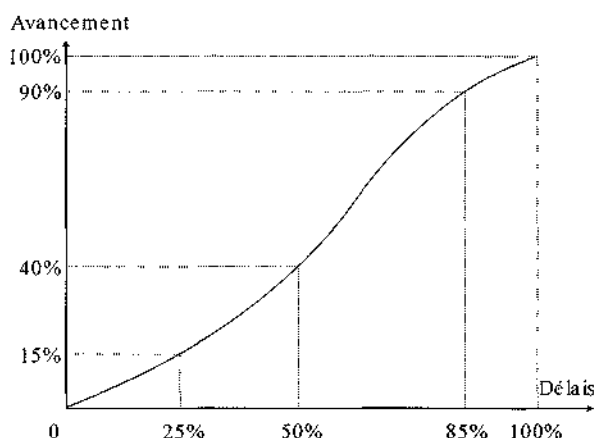


Fig. 6 – Evolution théorique de l'avancement

On peut obtenir un tracé approximatif de cette courbe par la formule :

$$y = \frac{e^k}{e^k - 1} \left(1 - e^{-k \cdot x^2} \right)$$

avec $K=2$

Notons que cette courbe est surtout représentative de l'évolution de projets de grande ou moyenne importance, dans lesquels de multiples activités sont exécutées en parallèle. En revanche, pour les petits projets qui réclament l'intervention quasi permanente de quelques personnes, la charge sera presque constante et de ce fait, la courbe de prévision d'avancement pratiquement linéaire.

La répartition de la charge influe largement sur les conditions de réalisation. C'est pourquoi, il peut être utile après avoir élaboré un premier planning prévisionnel, de s'assurer que la progression prévue suit une évolution normale.

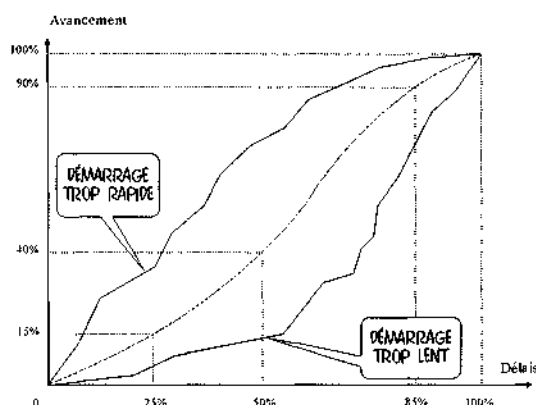


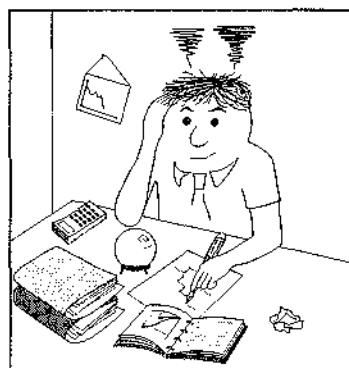
Fig. 8 - Evaluation des prévisions d'avancement

Un démarrage trop lent entraîne une forte charge vers le milieu et la fin du projet, rendant plus critique la réalisation de certaines tâches et accentuant les risques de retard, de finition bâclée et de mise au point sommaire.

En revanche un démarrage trop rapide peut être le révélateur d'une préparation insuffisante ou d'une étude préalable trop superficielle. Un tel mode d'évolution peut avoir pour conséquence de masquer des problèmes qui émergeront en cours de réalisation. De plus, une fin qui s'éternise peut engendrer des flux distendus voire une baisse de motivation ayant des effets négatifs sur la productivité de l'équipe.

La variation de l'avancement prévisionnel est bien entendu fonction de la nature du projet. Toutefois, une trop grande différence par rapport à l'avancement théorique défini par la courbe en S peut justifier des réajustements. On modifie alors la répartition de la charge, soit en recherchant un autre enchaînement des activités, soit en modifiant l'affectation des ressources.

6 Mesure et contrôle de l'état d'avancement



Le planning prévisionnel ayant été figé et les premières activités lancées, le chef de projet doit maintenant porter toute son attention sur l'évolution de la situation et la tenue des objectifs. Respecter les délais devient alors l'une de ses préoccupations majeures. En cas de difficultés, et avant que le retard induit ne devienne trop important, il doit pouvoir détecter au plus tôt les dérives afin de prendre rapidement les décisions qui s'imposent. Comme tout système basé sur des prévisions, les plannings de référence et les évaluations de charge qui ont été définis ont de grandes chances d'être erronés. Pourtant, à défaut d'être le reflet d'une réalité encore à découvrir, ils n'en constituent pas moins un tout homogène, cohérent avec les objectifs à atteindre.

Le contrôle périodique de l'état d'avancement physique est encore le meilleur moyen de s'assurer de la progression souhaitée. Mais ce suivi systématique ne doit pas se borner à un simple constat de réussite ou d'échec tiré de l'observation de la situation du moment. Il doit permettre également d'extrapoler la variation des indicateurs pour en dégager les tendances et être en mesure de faire les hypothèses les plus probables sur l'évolution de la situation. Aucun système de pilotage ne peut fonctionner sur la base d'informations fausses. Parmi les causes susceptibles de venir polluer les indicateurs citons :

- la mauvaise qualité des prévisions ;
- les évaluations fausses de l'état d'avancement ;
- les délais excessifs de transmission des informations ;
- la dissimulation de la réalité.

6.2 Anticiper sur les glissements

L'efficacité des actions correctives dépend pour une grande part de leur rapidité de mise en oeuvre. Une anticipation insuffisante limite la liberté de réaction et ne peut aboutir de ce fait qu'à un constat d'échec. C'est pourquoi, avant qu'une situation critique ne devienne irréversible, on s'efforce de détecter au plus tôt les risques de glissements, d'en identifier les causes et de prendre les bonnes décisions.

L'observation du rythme d'avancement peut fournir de précieuses indications. L'inflexion anormale de la courbe peut en effet permettre d'identifier des difficultés sous-jacentes, montrant ainsi qu'il est urgent d'agir. Mais bien que très révélateur d'une situation mal maîtrisée, cet indicateur qui s'appuie sur l'observation du passé, ne permet pas toujours de réagir dans des délais satisfaisants. Il faut en effet attendre que la tendance se confirme pour que la situation puisse être considérée comme réellement préoccupante, d'où la perte d'un temps précieux.

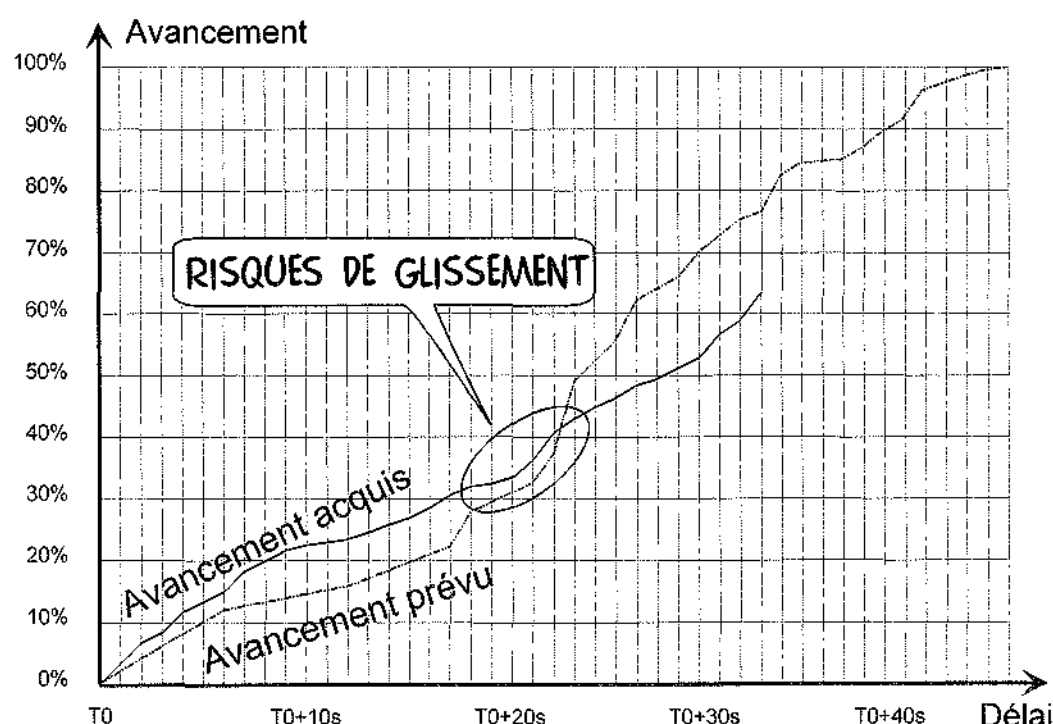


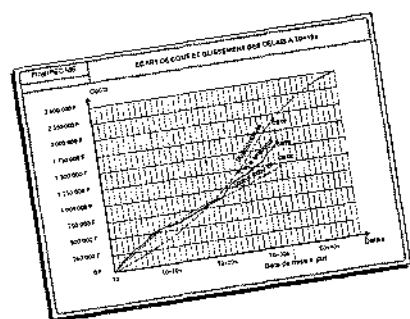
Figure 10 – Mise en évidence des risques de glissement

Pourtant, les difficultés rencontrées sont souvent perçues par les intervenants bien avant que celles-ci ne se manifestent par des dysfonctionnements mesurables. C'est pourquoi, il peut être intéressant de connaître et de tracer les espérances de succès.

Une méthode consiste à demander à chacun des responsables d'une activité de fournir en même temps que l'état d'avancement une estimation de la date de fin des travaux dont il a la charge. Cette information, reportée en ordonnée d'un diagramme, permet de tracer point par point une courbe montrant clairement l'évolution du degré de confiance de l'équipe.

Chapitre 18

Maîtriser les coûts



Parmi les facteurs déterminants dans la réussite d'un projet, la maîtrise des coûts est sans aucun doute le plus critique. Souvent pénalisantes et parfois même désastreuses, les conséquences d'un dépassement ou une mauvaise répartition des crédits peuvent être multiples :

- fonctions non assurées,
- dégradation des performances,
- abaissement du niveau de qualité,
- pertes financières,
- arrêt définitif des travaux avant l'achèvement,
- retard général du programme,
- non réalisation d'autres projets,
- perte de confiance des commanditaires,
- dégradation de l'image de marque,

1 Facteurs de risques.

La part importante de création et d'innovation qui caractérise le développement d'un projet est souvent à l'origine de facteurs de risques particuliers. Parmi ceux-ci, on trouve :

- **une évolution mal maîtrisée des spécifications initiales**, qui induit une augmentation de la charge et du coût d'acquisition des matériels et fournitures ;
- **la sous-estimation du niveau de difficulté**, qui nécessite de faire appel à des moyens, méthodes et compétences coûteuses, non budgétées ;
- **un mauvais découpage du projet**, qui crée des ambiguïtés dans les responsabilités et risque d'entraîner une mauvaise gestion des crédits alloués à chaque sous-niveau ;
- **une sous-estimation de la charge**, qui, pour respecter les délais, oblige à renforcer les équipes, augmentant ainsi les coûts en main d'oeuvre ;
- **une mauvaise valorisation des dépenses prévisionnelles**, qui affecte en particulier les coûts des services, de la sous-traitance, de l'achat de matériaux et composants, et de l'acquisition de matériel et équipements spécifiques ;
- **un gaspillage dans l'utilisation des ressources**, qui résulte d'une mauvaise organisation et augmente les coûts en main d'oeuvre, en location de matériel et en fournitures diverses ;
- **l'évolution des conditions économiques**, qui a une incidence directe sur les coûts des matériels et des services ;
- **des aléas**, (pannes, maladies, incidents, mauvaises conditions climatiques, ...), qui peuvent entraîner des dépenses imprévues, telles que réparations, remplacement de matériels défectueux, inoccupation des ressources affectées, recours à du personnel temporaire, mise en place de systèmes de sécurité ou de dispositifs redondants, ...

4 Mise en application de la méthode

Afin d'illustrer la méthode décrite au paragraphe précédent, reprenons l'exemple du projet Stand. A la date de mise à jour, le responsable du projet reçoit de chaque responsable, des informations concernant l'avancement des activités dont ils ont la charge. Comme le montre le tableau 1, il calcule alors la valeur acquise sur le projet par chacune des activités :

$$\text{Valeur acquise} = \text{Coût total budgété de l'activité} \times \text{Avancement de l'activité}$$

Il détermine ensuite le coût budgété du travail réalisé (CBTR) en faisant la somme des valeurs acquises. La comparaison avec les *coûts encourus*⁴ permet de déterminer l'écart de coût.

Activité	Coût budgété	Etat de l'activité	Avancement de l'activité	Valeur acquise	Coûts encourus	Ecart de coût
<i>Etude préalable</i>						
Etude générale	900€	Terminée	100%	900€	840€	+ 60€
<i>Documentation</i>						
Posters formation	1370€	En cours	80%	1096€	1060€	+ 36€
Posters produits	1600€	En cours	60%	960€	990€	- 30€
<i>Supports images</i>						
Film vidéo	1830€	En cours	40%	732€	760€	- 28€
Diaporama	690€	Terminée	100%	690€	690€	0€
Mise au point	450€	En attente	0%	0€	0€	
<i>Animation musicale</i>						
Bande son	1370€	En cours	90%	1233€	1260€	- 27€
Pilote informatique	1140€	Terminée	100%	1140€	1205€	- 65€
Post synchronisation	680€	En attente	0%	0€	0€	
<i>Installation</i>						
Installation infrastructures	690€	En attente	0%	0€	150€	- 150€
Installation animation	460€	En attente	0%	0€	0€	
Réglages / mise en route	230€	En attente	0%	0€	0€	
BUDGET TOTAL	11410€					
COÛT BUDGETÉ DU TRAVAIL EFFECTUÉ (CBTE)				6751€		
COÛT RÉALISÉ DU TRAVAIL EFFECTUÉ (CRTE)					6955€	
ECART DE COÛT				= 6751€ - 6955€		- 204€

COÛT BUDGETÉ DU TRAVAIL PRÉVU (CBTP)	<i>donné pour mémoire</i>	7320€
---	---------------------------	--------------

Tableau 1 – Projet STAND détermination de l'écart de coût.

Une simple comparaison entre les coûts qui avaient été planifiés (CBTP) et la somme de tous les coûts encourus (CRTE) aurait pu faire croire à des économies. Mais cette appréciation est faussée par un retard d'avancement. En revanche, la différence entre les coûts encourus et la valeur acquise (CBTE) fait apparaître un écart de coût déficitaire de 204€. Cette situation n'est toutefois pas aussi critique qu'il n'y paraît. En effet, l'activité « installation infrastructures » qui n'a pas débuté, voit déjà son budget débité de 150€. Ceci peut correspondre à des achats anticipés de matériel et ne peut être considéré comme un déficit.

⁴ Entrent dans les coûts encourus les coût en main d'œuvre imputés sur le projet, les sorties de stock, ainsi que les commandes payées ou en court de traitement.

5.2 Interprétation des courbes de coût

Les figures ci dessous décrivent trois situations types que révèlent la position relative des valeurs caractéristiques des coûts prévus et réalisés . En se basant sur l'évolution constatée, on peut en déduire la date d'achèvement probable ainsi que le coût final qui sera atteint, ceci dans la mesure où aucune action corrective ne modifie les conditions de réalisation.

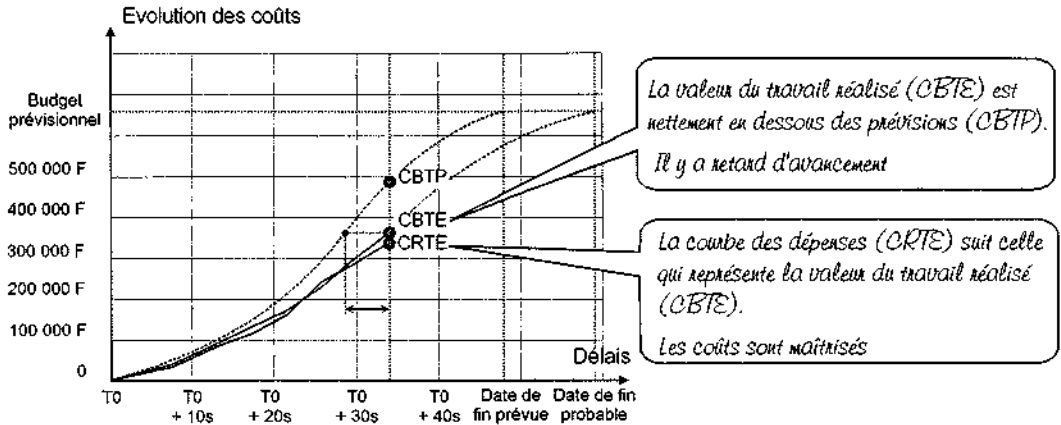


Figure 4 – Les coûts sont maîtrisés avec du retard

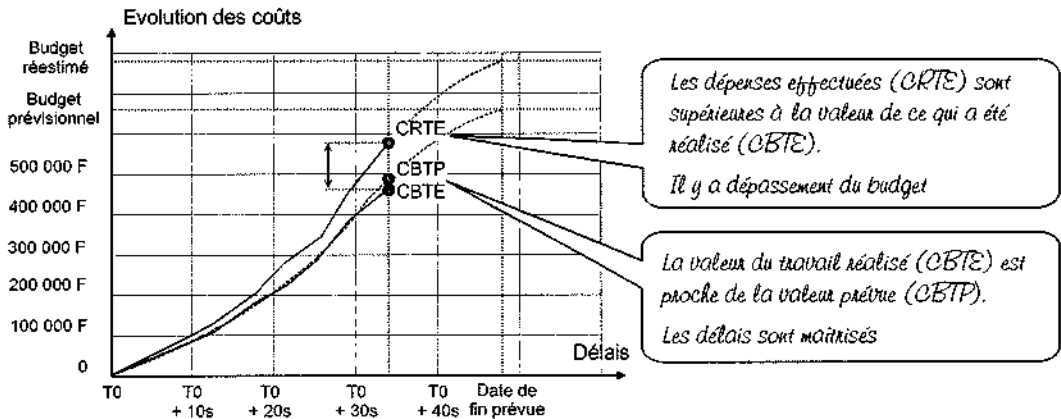


Figure 5 – les délais sont maîtrisés avec un dépassement du budget prévisionnel

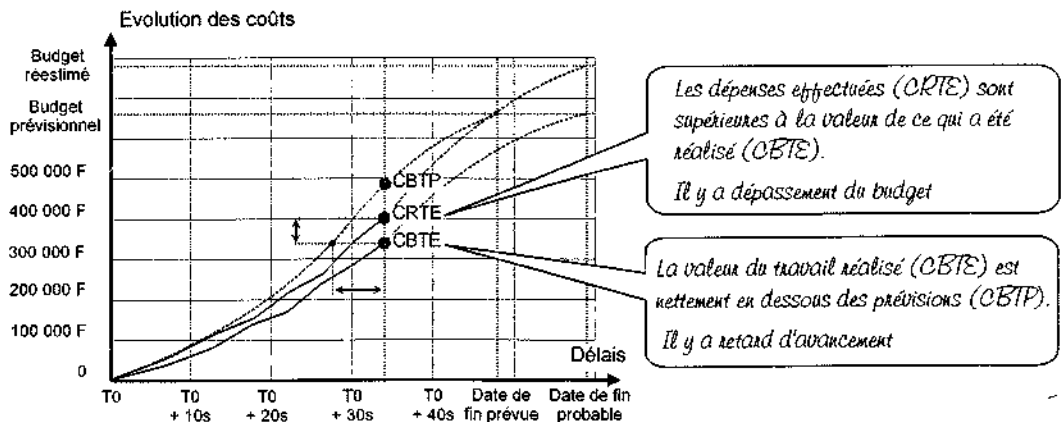


Figure 6 – Ni les coûts ni les délais ne sont maîtrisés

Chapitre 19

Engager des actions correctives

Les deux chapitres précédents ont montré comment détecter d'éventuelles dérives par rapport aux objectifs initiaux. Il faut maintenant se donner les moyens d'analyser les dysfonctionnements puis d'engager les actions correctives les mieux adaptées à la situation.

En matière de management de projet, la bonne décision passe avant tout par la recherche du meilleur compromis. Le niveau relatif de criticité des facteurs coûts, délais et performances est avant tout fonction de la nature des enjeux. Ainsi, selon le degré d'urgence, l'état des finances et le niveau des résultats attendus, on peut être amené à développer des stratégies :

- à **coût minimum**, en acceptant éventuellement une dégradation des performances et/ou une augmentation des délais ;
- à **délai minimum**, en mettant en oeuvre tous les moyens nécessaires pour respecter les dates contractuelles ;
- à **performances maîtrisées**, en privilégiant les critères de qualité et de conformité aux spécifications.

On peut également rechercher un moyen terme en combinant chacune d'elles.

1 Analyse des dysfonctionnements

Les interactions entre les trois facteurs coût, délais et performances sont instables et complexes. On ne saurait de ce fait se contenter de solutions toutes faites et seule une bonne connaissance de la situation peut permettre de déterminer la réponse qui semble la mieux appropriée à un problème donné.

Les anomalies susceptibles de perturber le déroulement d'un projet peuvent être la conséquence d'aléas techniques ou de contraintes externes non maîtrisables (climatiques, économiques, ...). Elles peuvent aussi être induites par des facteurs humains, organisationnels ou relationnels. Elles peuvent même révéler des stratégies cachées, résultant par exemple de divergences entre les intérêts personnels de certains acteurs et les objectifs communs.

Pour réaliser un pilotage efficace, le responsable de projet ne peut donc pas se contenter d'être un bon technicien et un habile gestionnaire. Il doit également faire preuve de capacités d'écoute et d'analyse. Pour appréhender les aspects plus subjectifs des situations de crise, il ne doit pas se limiter à l'observation froide des données chiffrées, transcrites sous forme de tableaux et des graphiques.

Les graphiques, et les indicateurs constituent des aides précieux dans la détection et l'anticipation des dysfonctionnements. Ils constituent même le moyen le plus rapide et le plus efficace d'évaluer une situation. Ils prêtent toutefois à interprétation et il convient de se montrer prudent quant à leur signification, leur représentativité et leur validité.

- différer le début d'une activité, pour donner la priorité à une autre plus urgente ;
- interrompre une activité en cours, pour réaffecter la totalité des ressources ;
- augmenter le délai de réalisation d'une activité en rééquilibrant le potentiel ainsi dégagé.

Le chapitre 11 « planifier le projet » distingue trois types de marges en les différenciant par les effets que peut avoir leur utilisation sur la planification du projet. On peut donc en disposer à différents moments et selon la criticité de la situation.

3.1 Utilisation des marges certaines

La marge certaine est un délai incompressible qui peut être utilisé par une activité et par elle seule. En cas de replanification ou de rééquilibrage du potentiel en ressources, ce type de marge peut être mis à profit sans même attendre que l'activité associée ait débuté. Dans tous les cas, on ne risque pas de compromettre la réalisation de la suite du projet.

3.2 Utilisation des marges libres

Une marge libre est un délai qui peut être utilisé par une activité sans risquer de décaler la date de début des activités suivantes. Ce type de marge se distingue de la précédente par le fait qu'elle est toujours susceptible d'être consommée par les activités qui précèdent. On ne peut être sûr d'en disposer qu'à partir du moment où l'activité associée a débuté.

3.3 Utilisation des marges totales

La marge totale est un délai dont on peut disposer sans risque de retarder la date de fin au plus tôt du projet. Son utilisation a toutefois pour effet de décaler la date de début des activités suivantes et par conséquent de réduire les marges libres de celles qui en possèdent. En consommant trop tôt la marge totale, on réduit la latitude d'exécution de toutes les activités suivantes. Pour cette raison on réserve de préférence leur utilisation à la résolution des situations critiques.

3.4 Consommation de la réserve de management

La réserve de management est une marge que la direction de projet se ménage sur la durée totale du projet pour absorber les retards dus à des événements exceptionnels et imprévisibles. Son utilisation est réservée à des cas critiques.

3.5 Maîtrise du chemin critique

Le chemin critique est une succession d'activités ne disposant d'aucune marge. Toute augmentation de la durée de l'une d'elles a pour effet de décaler la date de fin au plus tôt du projet. On doit donc leur porter une attention particulière, notamment en rééquilibrant à leur profit le potentiel disponible. Pour autant, le chef de projet ne doit pas trop focaliser son attention sur le chemin critique. Il risque de ne pas voir les problèmes rencontrés par certaines autres activités qui, en prenant du retard, peuvent à leur tour devenir critiques.

4 Renforcement de la capacité d'action

L'équipe de projet peut dans certains cas se trouver dans l'obligation de renforcer sa capacité d'action. Ceci est le cas notamment :

- quand elle se trouve confrontée à un problème imprévu qui dépasse sa compétence ;

Annexe

Les progiciels de gestion de projet

L'expansion rapide de la micro-informatique a favorisé le développement des progiciels d'aide à la gestion de projet. Les avancées les plus significatives dans ce domaine résident surtout dans la souplesse d'utilisation et l'amélioration des possibilités graphiques qui ont permis d'enrichir les diagrammes d'une symbolique abondante (liens, marges, état d'avancement, matérialisation du chemin critique) riche en signification.

1 L'apport d'un progiciel

L'utilisation d'un progiciel est recommandée pour qui veut effectuer une préparation et suivi rigoureux. En effet, un tel outil permet d'évaluer périodiquement la situation et si nécessaire, de remettre en cause les prévisions. Mais ceci suppose la modification fréquente de représentations graphiques parfois complexes. De ce fait, la charge induite par les mises à jour successives risque de devenir très vite rédhibitoire sans le secours d'outils adaptés.

Les progiciels de gestion de projet peuvent être utilisés avec profit dans toutes les phases d'un développement.

- **durant la préparation**, ils permettent d'effectuer des simulations et ainsi, sur la base de plusieurs scénarios, de rechercher le meilleur compromis entre les délais de réalisation, les coûts et les contraintes d'utilisation des ressources ;

- **en phase de suivi**, outre les facilités offertes pour la mise à jour des plannings, ils peuvent fournir des synthèses sur l'avancement des travaux et l'état des dépenses. Ils peuvent également aider à détecter et à résoudre les situations bloquantes qui peuvent se présenter pour l'utilisation des ressources.

2 Les outils proposés

Les outils proposés s'articulent autour des deux grands pôles principaux de la gestion de projet que sont :

- la planification des activités ;
- la gestion des ressources.

Un logiciel de gestion de projet a pour avantage d'intégrer ces deux domaines complémentaires (voir chapitre 12). Ainsi, toute modification de la planification peut être évaluée au niveau de la charge d'utilisation des moyens. Inversement, il est facile d'évaluer les conséquences de l'indisponibilité d'une ressource sur la planification.

Index

- actigramme 39
- actions correctives 171
- afficheur 133
- AMDEC 53
- analyse fonctionnelle 55
- arborescence technique du produit 76
- avancement physique 154

- budget de projet 92
- budget initial 93

- charge de travail 157
- chef de projet 70
- chemin critique 105
- concept de produit 9
- conception assistée par ordinateur 139
- contraintes 99
- Coût budgété du travail prévu 166
- Coût Budgété du Travail Réalisé 166
- Coût Réalisé du Travail Effectué 166
- cycle de vie d'un produit 48

- datagramme 43
- déploiement de la fonction qualité 15
- display manager 140

- équipe de projet 67
- estimation des coûts 85

- faisabilité 48
- fonction technique 123

- GANTT 104
- Grafcet 150
- grille de J.T. O'Meara 13

- IDEFØ 37
- intégration 78; 122

- jalón d'avancement 156

- langage évolué 152
- ligne budgétaire 94

- lot de travaux 75
- maîtrise des coûts 165
- maîtrise des délais 153
- management de projet 61
- marge libre 107
- marge totale 107
- marges 105
- marges certaines 108
- mesure de l'avancement physique 158
- méthode des potentiels 102
- microcontrôleurs 120
- microprocesseur 120
- mode de défaillance 55
- modules techniques 115

- normes 10

- optimisation des coûts 87
- organigramme technique de projet 75
- organigramme technique logiciel 148

- PERT 100
- programmation en assembleur 151
- programmation modulaire 151

- reporting 156
- risque 58; 153; 165
- risques de glissements 163

- saisie de schéma 140
- scénario 45
- schéma fonctionnel 123
- schéma synoptique 125
- schéma technique 125
- simulateur 141
- solution générique 123
- structure *ad hoc* 65
- suivi d'un projet 162
- système micro-informatique 129

- technologies-clefs 9
- test du concept 11

Bibliographie

• Ouvrages :

- AFITEP, *Le management de projet. Principes et pratiques*, AFNOR Gestion, 2^{ème} édition 1998.
- AFITEP, *Estimation des coûts d'un projet industriel*, AFNOR, 1995.
- AFITEP-AFNOR; *Dictionnaire de management de projet*, ouvrage collectif, 4^{ème} édition, 2000.
- AFNOR (Association française de normalisation), Tour Europe, Cedex 7, 92080 Paris La Défense. *Management de projet. Recueil des normes françaises* 1994.
- L'AMDEC, un atout pour les PMI – Recueil de conférences. *Textes des exposés présentés lors de la journée du 14 avril 1992 à Senlis*. Publication du CETIM, 1992.
- BRINER, W., GEDDES M., HASTINGS C., *Le manager de projet : un leader*, AFNOR, 1993.
- BROSSARD P., CHANCHEVRIER C., LECLAIR P. (Sous la direction de), *Ingénierie concourante. De la technique au social*. Ouvrage collectif, Paris, Economica, 1997.
- CALVEZ J.-P., *Spécification et conception des systèmes. Une méthodologie*; Paris, Masson, 1990.
- CAVAILLES J., *Méthodes de management de programme*, Toulouse, Teknea, 1991.
- CHAIGNEAU Y., PERIGORD M., *Du management de projet à la qualité totale*, Paris, Les Editions d'Organisation, 1990.
- CHATELET J.-M., *Méthodes productique et qualité*, Paris, Ellipses, 1996.
- CHAUVEL A.-M., *Résoudre un problème. Méthodes et outils pour une meilleure qualité*, Paris, Dunod, 1992.
- CHVIDCHENKO I., CHEVALLIER J., *Conduite et gestion de projets*, Toulouse, CEPADUES Editions, 1993.
- COURTOT H., *La gestion des risques dans les projets*, Paris, Economica, 1998.
- DAVIDSON FRAME J., *Le nouveau management de projet*, AFNOR, 1994.
- DELAFOLLIE G., *Analyse de la valeur*, Paris, Hachette, 1991.
- DUCHAMP R., *La conception de produits nouveaux*, Paris, Hermès, 1998.
- ECOSIP – Sous la direction de Vincent GIARD et de Christophe MIDLER, *Pilotages de projet et entreprises – Diversité et convergences*, Paris, Economica, 1993.
- GARIN H., *AMDEC/AMDE/AEEL. L'essentiel de la méthode*, AFNOR (A savoir), 1994.
- GIARD V., *Gestion de projet*, Paris, Economica, 1991.
- GRAMACCIA G., *Les actes de langage dans les organisations*, Paris, L'Harmattan, 2001.
- HARAN G., *Méthode PERT*, Paris, Eyrolles, 1995.
- HERNIAUX G., *Organiser la conduite de projet*, Paris, INSEP Editions, 1992.
- JOLY M., LE BISSONNAIS J., MULLER J.-L. G., *Maîtrisez le coût de vos projets*, AFNOR, 1993.
- JOLY M., MULLER J.-L. G., *De la gestion de projet au management par projet. Maîtriser les risques d'une organisation transversale*, AFNOR, 2002.
- LISSARAGUE J., *Qu'est-ce que le PERT ?* Paris, Dunod, 1981.
- MAITRE P., MIQUEL D., *De l'idée au produit*, Paris, Eyrolles, 1992.

