



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen  
Faculté de Technologie  
Département de Génie Electrique et Electronique  
Filière : Génie Productique



# Projet de Fin d'Etudes pour l'obtention de diplôme master en Productique



## Intitulé :

### **Planification et Ordonnancement des Grands projets par les Bases d'Optimisation**

**Entreprise d'application : SERROR SPA**

« La société d'études et de réalisation d'ouvrage d'art de l'ouest – Tlemcen »

## Présenté par :

- GACEM Abderrezzaq
- YAHIAOUI Soufiane
- SARI Mouaadh

## Jury:

**Présidente :** Mme DIB Zahira - MCB- UABT

**Encadreur :** Mr MALIKI Fouad- MAA - UABT

**Encadreur :** Mr HADRI Abdel kader- MAA - UABT

**Examineur :** MR BENNEKROUF Mohamed- MCB-UABT

**Examineur :** MR SOUIER Mehdi - MCA -UABT

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# Remerciements

Au début Nous remercions Dieu le tout puissant,

On exprime nos profonds remerciements à notre cher encadrant, Mr **Fouad MALIKI** enseignant à l'école préparatoire en sciences et techniques et à l'université Abou Baker Belkaid-Tlemcen, qui nous a permis d'effectuer ce travail. On le remercie également pour la liberté et la confiance qu'il nous 'a toujours accordé et pour la démarche scientifique rigoureuse et l'esprit d'autocritique qu'il a su nous 'inculquer. Son enthousiasme, ses commentaires, son expertise et sa disponibilité nous 'ont été d'une grande aide. On espère avoir été à la hauteur de ces espérances.

On remercie également notre cher Co-encadreur Mr **Abdelkader HADRI** enseignant à l'université Abou Baker Belkaid-Tlemcen. Il fait partie des personnes qui connaissent le mieux le contenu de ce manuscrit.

Nous remerciment vont aussi aux membres du jury Mr. **Mehdi SOUIER**, Mr. **Mohamed BENNEKROUF** et Mme **Zahira DIB** pour l'honneur qui nous ont fait d'avoir accepté d'examiner ce modeste travail.

Apparemment on remercie Mr **Ilyaes DAHO** Chef de Projet à l'entreprise **SERROR** pour son accueil sympa, ses aides précieuses pour effectuer ce travail de recherche et aussi Mr **Djilali KHENIFSA** Chef Service mètre niveau 2 à **SERROR** qu'il a eu la patience de nos diriger durant notre stage.

Nos remerciements vont à tout le personnel du L'entreprise **SERROR** de qui nous ont accueilli durant ces 5 mois du stage.

On adresse également nos vifs remerciements à Mr **Zaki SARI** professeur à l'université de Tlemcen et directeur du laboratoire de recherche **MELT**, pour son aide, sa disponibilité, ses judicieux

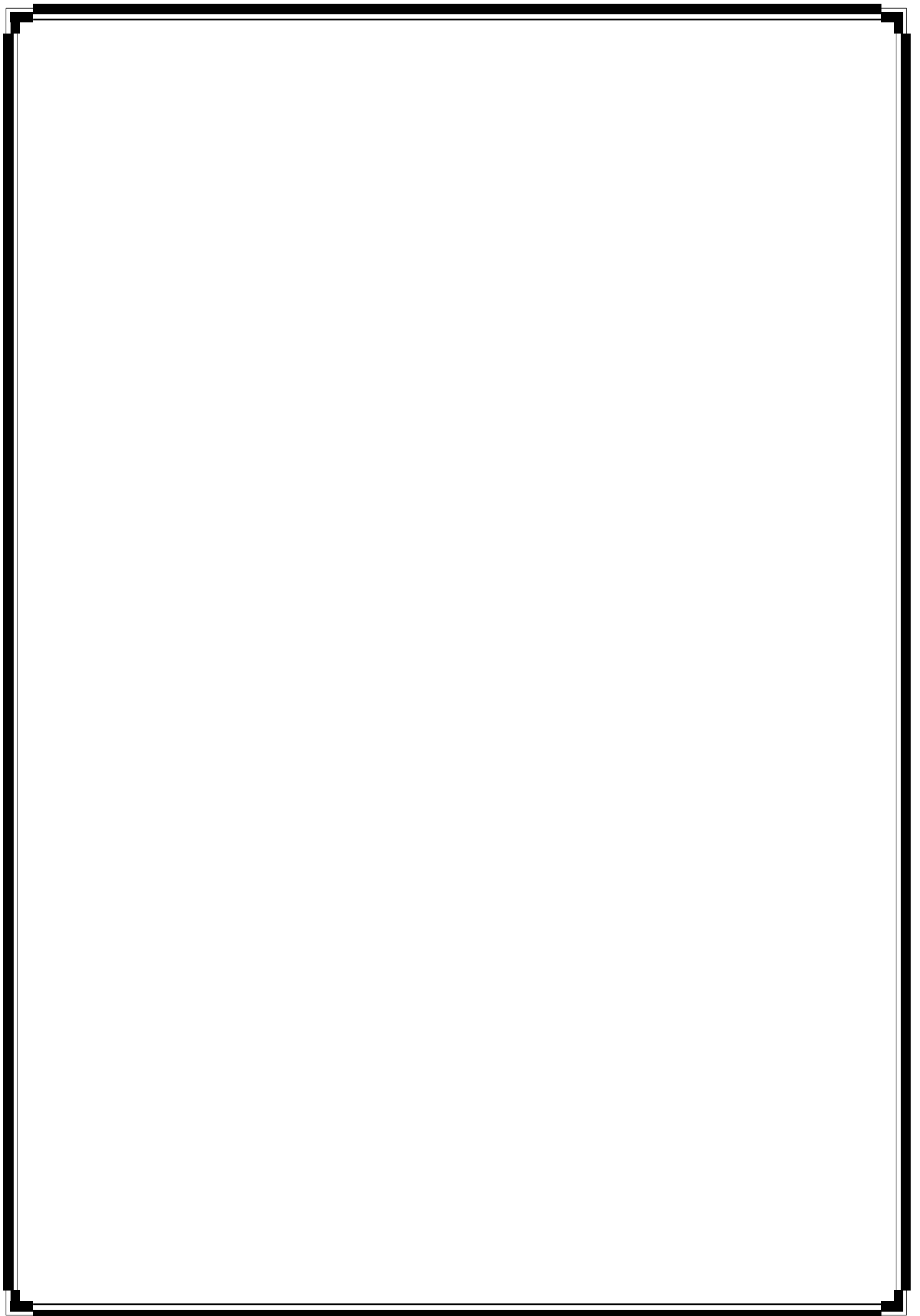
conseils pendant toute la durée de notre formation en Productique. Ses compétences, ses conseils et ses encouragements ont été un soutien précieux.

On' exprime aussi notre gratitude à tous les membres de l'équipe de productique, pour leur soutien, leurs encouragements et pour leur admirable esprit d'équipe avec L'ambiance chaleureuse qu'est propice durant 5 ans de formation efficace.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation scientifique.

Enfin, Les plus grands remerciements vont à nos parents, nos familles et nos amis pour leur soutient, patience et leur encouragement.





# Table des matières

<b>Chapitre 1 : Management des grands projets</b> .....	<b>5</b>
1. Définition .....	5
1.1. Le Projet .....	5
1.1.1. la réponse à 7 questions .....	5
1.2. le management de projet .....	7
2. Objectifs d'un projet .....	7
2.1. Caractéristiques des projets réussis .....	7
2.2. Le management de projet, dans quel niveau ? .....	8
3. Caractéristiques des projets .....	8
4. Catégorie des projets .....	9
4.1. Petits et grands projet .....	9
4.2. Projet hard et projet soft .....	9
4.3. Projets de productivité et projets d'expansion et d'innovation .....	9
4.4. Exemple de projets .....	10
5. Les acteurs de projet .....	10
5.1. Les partenaires d'un projet .....	10
5.1.1. Principaux partenaires selon la trajectoire du projet .....	10
5.1.2. Partenaire interne et externes .....	11
5.1.3. Type de relation du projet avec ses partenaires .....	12
5.2. L'équipe de projet .....	12
5.2.1. Les acteurs du projet .....	12
5.2.1.1. Le maitre d'ouvrage : .....	13
5.2.1.2. Le maitre d'œuvre .....	14
5.2.1.3. Le directeur de projet (grands projets) .....	15
5.2.1.4. Le spécialiste .....	16
5.3. Qualités des hommes de projets .....	17
5.4. Le management des groupes temporaires .....	18
6. Cycle de vie d'un projet .....	18
6.1. Définition .....	18
6.2. Les phases .....	18

6.2.1.	La présomption de faisabilité ou phase « 0 » .....	19
6.2.2.	La faisabilité ou phase « A » .....	19
6.2.3.	Le projet ou phase « B » .....	20
6.2.4.	Le développement ou phase « C » .....	21
6.2.5.	La série ou phase « D » .....	21
6.2.6.	L'exploitation ou phase « E » .....	21
6.2.7.	Le démantèlement ou phase « F » .....	21
6.3.	Les revues .....	22
6.3.1.	Définition .....	22
6.3.2.	Principe .....	22
6.3.3.	Déroulement .....	22
6.3.4.	Cycle « créativité - savoir » .....	23
6.3.5.	Synthèse du cycle de vie d'un projet .....	23
7.	Le domaine de projet .....	24
7.1.	Programme .....	24
7.2.	Affaire .....	24
7.3.	Projet .....	24
7.4.	Produit .....	25
7.5.	Gestion de projet .....	25
7.6.	Direction de projet .....	26
7.7.	Management par projet .....	26
8.	Le triangle d'or du projet .....	26
8.1.	Triptyque PCD .....	26
8.2.	Variation autour des critères PCD .....	27
8.2.1.	Non-respect des coûts .....	28
8.2.2.	Non-respect des délais et des coûts .....	29
8.3.	La Non-qualité dans un projet .....	30
8.3.1.	Caractériser la « sur-qualité » et la « non-qualité » .....	30
8.3.2.	Caractériser la « sur-qualité » et la « non-qualité » .....	31
9.	Le plan directeur de projet ou plan de management (PDP) .....	32
9.1.	L'organigramme des tâches (OT) ou WBS (work breakdown structure) .....	32
9.2.	Les structures de pilotage .....	33
9.2.1.	La structure avec facilitateur de projet .....	33
9.2.2.	La structure avec coordonnateur de projet .....	34
9.2.3.	La structure matricielle.....	35
10.	Management des risques du projet .....	36
10.1.	Planification du management des risques.....	39
10.1.1.	Planification du management des risques : données d'entrée.....	40
10.1.2.	Planification du management des risques : outils et techniques.....	40
10.1.3.	Planification du management des risques : données de sortie.....	40

## Chapitre 2 : Planification des projets sous les bases d'optimisation .....43

1. Définition .....	43
1.1. pourquoi planifier ? .....	43
1.2. Définir sa stratégie de planification.....	43
2. Les approches de planification .....	44
2.1. L'approche prédictive : tout planifier au début .....	44
2.2. L'approche adaptative : planifier au fil de l'eau .....	44
3. Définir une enveloppe globale .....	46
3.1. Avec une démarche prédictive .....	46
3.1.1. Une démarche en trois étapes .....	46
3.1.2. Une démarche en trois étapes d'estimation .....	47
3.1.2.1. La méthode COCOM .....	48
3.1.2.2. La technique des points de fonction .....	48
3.1.2.3. La technique des points de cas d'utilisation .....	50
3.2. Avec une démarche agile .....	52
3.2.1. La technique des story point .....	53
3.2.2. La technique des ideal days .....	53
4. Fiabiliser sa démarche d'estimation .....	54
4.1. La Wide Band Delphi (WBD) .....	55
4.2. Application .....	55
5. Planifier avec une démarche prédictive .....	56
5.1. Estimer le délai .....	56
5.2. estimer le coût .....	56
5.3. Recenser les activités .....	57
5.4. Calculer la durée des activités .....	58
5.5. Ordonnancer les activités .....	58
5.6. Etablir le planning .....	59
5.7. Ajuster le planning .....	60
6. Planifier avec une démarche agile .....	61
6.1. vision du produit ou projet .....	61
6.2. « roadmap » ou jalon .....	62
6.3. plan de la release .....	62
6.4. plan de l'itération .....	62
6.5. cycle quotidien .....	63
7. Maîtrise des coûts : outils et techniques .....	64
7.1. Système de maîtrise des modifications des coûts .....	64
7.2. Analyse de la mesure de performance .....	64
7.3. Prévision .....	66
7.4. Revues de la performance du projet .....	67



<b>Chapitre 3 : Ordonnancement des grands projets .....</b>	<b>69</b>
1. Définition .....	69
2. Ordonnancement de projet .....	69
2.1. Contexte .....	69
2.2. Formulation mathématique .....	69
3. Les différentes méthodes d'ordonnancement .....	70
3.1. Historique .....	70
4. La méthode PERT .....	70
4.1. Principe de la méthode .....	70
4.2. Notion de base .....	70
4.3. Représentation graphique des étapes et des tâches dans un réseau .....	71
4.4. Normalisation du graphe .....	73
4.5. Problèmes de dépendances .....	74
4.6. Représentation des étapes .....	75
4.7. Méthodologie de construction d'un réseau PERT.....	75
4.8. Calculs sur le graphe .....	77
4.8.1. Les dates .....	77
4.8.2. Les marges .....	77
4.8.3. Les activités et chemins critiques .....	77
4.8.4. Les liaisons .....	77
5. La méthode des Potentiels Métra (M.P.M) .....	78
5.1. Principe de la méthode .....	78
5.2. Notions de base .....	79
5.3. Normalisation du graphe.....	79
5.4. Méthodologie de construction d'un réseau MPM.....	79
6. Le PERT probabilisé .....	80
7. La méthode PERT- COST (PERT – Coût) .....	81
7.1. Méthodologie .....	81
7.2. Problèmes pouvant être résolus .....	82
8. Diagramme de GANTT .....	82
8.1. Le nivellement .....	83
8.2. Le lissage .....	84
9. Autres méthodes associées à la planification .....	85
9.1. Planning ou graphe << chemin de fer >> .....	85
9.2. Gestion assistée par ordinateur .....	86
9.3. Lissage des charges, analyse des charges et capacités .....	87
10. Optimiser les délais .....	87
10.1. Diminution du délai d'achèvement .....	87
10.2. Diminution de la durée .....	87
10.3. Récapitulatif pour la construction d'un planning .....	88
11. Comment piloter un projet ?.....	88

## **Chapitre 4 : Etude d'un grand projet du secteur travaux public « Société SEROR »**

1. INTRODUCTION .....	90
2. MODILISATION DU Problème DE COMPROMIS DURE/RESSOURCE EN CONTEXTE DE RESSOURCES MULTIPLES.....	90
2.1. fondements multi-objectifs du compromis dure/ressource.....	90
2.2. Une approche optimale du compromis durée/ressource en contexte de ressources multiples : le MOLIP.....	92
2.3. Une méthode heuristique de compromis durée/ressource en situation de ressources multiples : l'AMEC.....	94
3. Contribution des deux approches à l'amélioration de la performance de projet.....	98
4. Contexte du projet d'application (VIADUC, société SERROR).....	99
4.1. Application de l'approche optimale sur notre projet.....	102
4.2. Application heuristique.....	109
5. Développer un algorithme pour ACCÉLÉRATION DE PROJETS – COMPROMIS DE TYPE DURÉE/COÛT .....	112
5.1. MÉTHODOLOGIE.....	113
5.2. Modèle mathématique.....	114
5.3. Combinaison entre l'Algorithme Tabou et le modèle mathématique .....	116

## Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : les 7 questions pour réaliser un projet .....	8
<b>Figure 2.1</b> : l'importance de management des projets.....	8
<b>Figure 3.1</b> : l'importance de chaque partenaire.....	11
<b>Figure 4.1</b> : Changement de phase autorisé par le client.....	19
<b>Figure 5.1</b> : Organigramme de la phase compétitive du projet.....	20
<b>Figure 6.1</b> : Cycle de vie d'un projet.....	23
<b>Figure 7.1</b> : Synthèse du cycle de vie d'un projet.....	24
<b>Figure 8.1</b> : Réalisation tous les objectifs PCD (produit techniquement maîtrisé) .....	27
<b>Figure 9.1</b> : Aucun des objectifs PCD n'est atteint.....	28
<b>Figure 10.1</b> : Non-respect des coûts.....	29
<b>Figure 11.1</b> : Non-respect des délais et des coûts.....	30
<b>Figure 12.1</b> : Non-respect des paramètres PCD.....	30
<b>Figure 13.1</b> : La Non-qualité dans un projet.....	31
<b>Figure 14.1</b> : La courbe suivante établit une relation entre qualité et coûts.....	32
<b>Figure 15.1</b> : exemple de WBS.....	33
<b>Figure 16.1</b> : structure par facilitateur de tache.....	34
<b>Figure 17.1</b> : structure avec coordonnateur de projet .....	35
<b>Figure 18.1</b> : structure matriciel.....	36
<b>Figure 19.1</b> : vue d'ensemble du management de risque de projet .....	37
<b>Figure 20.1</b> : Diagramme de flux des processus de management des risques du projet.....	39
<b>Figure 21.1</b> : Exemple de structure de découpage des risques.....	41
<b>Figure 1.2</b> : La ligne de prévisibilité.....	45
<b>Figure 2.2</b> : planification au fils de l'eau.....	46
<b>Figure 3.2</b> : effort fournée pour l'estimation et fiabilité des estimations.....	54
<b>Figure 4.2</b> : exemple de structure de découpage d'un projet (SDP) .....	57
<b>Figure 5.2</b> : exemple d'une SPD générique.....	58
<b>Figure 6.2</b> : les diagrammes de réseau.....	59
<b>Figure 7.2</b> : Exemple digramme de Gantt.....	60

<b>Figure 8.2 :</b> les 5 niveaux de planification agile.....	61
<b>Figure 9.2 :</b> exemple de brandownchart.....	64
<b>Figure 10.2 :</b> Illustration graphique du rapport de performance.....	66
<b>Figure 1.3 :</b> exemple de réseau.....	71
<b>Figure 2.3 :</b> représentation graphique.....	71
<b>Figure 3.3 :</b> Graphe représente des taches simultanées.....	72
<b>Figure 4.3 :</b> graphe des taches simultanées .....	72
<b>Figure 5.3 :</b> graphe convergent .....	73
<b>Figure 6.3 :</b> normalisation du graphe type 1.....	73
<b>Figure 7.3 :</b> normalisation de graphe type 2.....	74
<b>Figure 8.3 :</b> graphe indique le problème de dépendances .....	74
<b>Figure 9.3 :</b> graphe respecte les contraintes d'antériorités .....	75
<b>Figure 10.3 :</b> différent représentation de l'étape .....	75
<b>Figure 11.3 :</b> réseaux de PERT.....	76
<b>Figure 12.3 :</b> les liaisons .....	78
<b>Figure 13.3 :</b> exemple de réseaux de la méthode MPM.....	79
<b>Figure 14.3 :</b> graphe représente la méthode de PERT probabilisé.....	80
<b>Figure 15.3 :</b> Exemple d'un diagramme de GANTT.....	83
<b>Figure 16.3 :</b> digramme de GANTT avec nivellement.....	84
<b>Figure 17.3:</b> diagramme de GANTT avec lissage .....	84
<b>Figure 18.3:</b> construction d'une route sur le logiciel Tilos .....	86
<b>Figure 1.4 :</b> Réseau avec pentes de couts.....	95
<b>Figure 2.4 :</b> Réseau avec pentes effectives de cout.....	95
<b>Figure 3.4:</b> Réseau avec deux coupes.....	96
<b>Figure 4.4 :</b> un plan représente un Viaduc en béton .....	99
<b>Figure 5.4 :</b> Réseau de PERT de notre projet.....	101
<b>Figure 6.4 :</b> diagramme de GUNTT de notre projet .....	101
<b>Figure 7.4 :</b> Solutions optimales du modèle selon les différentes options.....	108
<b>Figure 8.4 :</b> Illustration graphique des solutions avec excel.....	109
<b>Figure 9.4 :</b> Coupe dans le flux de réseau.....	110

<b>Figure 10.4</b> : algorithme recherche tabou.....	116
<b>Figure 11.4</b> : algorithme COMPROMIS DE TYPE DURÉE/COÛT.....	118
<b>Figure 12.4</b> : Solutions optimales du 2er programme selon les différents données.....	127

# Liste des tableaux

<b>Tableau 1.1</b> : la différence entre projet de productivité et projet d'innovation.....	10
<b>Tableau 2.1</b> : Exemple de projets .....	10
<b>Tableau 3.1</b> : la relation entre les partenaires internes et externes dans un projet.....	12
<b>Tableau 4.1</b> : Fiche d'analyse d'un projet.....	13
<b>Tableau 5.1</b> : les capacités individuelles et systémiques d'une équipe de projet.....	18
<b>Tableau 6.1</b> : Synthèse d'enchaînement des phases d'un projet.....	22
<b>Tableau 7.1</b> : les phases du projet par à port au maitre d'ouvrage.....	22
<b>Tableau 8.1</b> : les trois familles de projet.....	25
<b>Tableau 1.2</b> : nombre des points de fonction par type de fonction et niveau de complexité..	49
<b>Tableau 2.2</b> : Complexité des UC.....	50
<b>Tableau 3.2</b> : complexité des acteurs.....	51
<b>Tableau 4.2</b> : les facteurs d'influence.....	51
<b>Tableau 1.3</b> : matrice de dépouillement .....	76
<b>Tableau 1.4</b> : Paramètres de flux du projet.....	96
<b>Tableau 2.4</b> : Valeurs des deux premières coupes.....	97
<b>Tableau 3.4</b> : Donnée de base de projet avec MS Project.....	100
<b>Tableau 4.4</b> : donnée de base de projet.....	101
<b>Tableau 5.4</b> : les marges libre et les marges total de notre projet.....	102
<b>Tableau 6.4</b> : Notre exemple avec les nouveaux Paramètres requis pour l'application MOLIP au projet .....	102
<b>Tableau 7.4</b> : Paramètres requis pour l'application d'AMEC au projet.....	109
<b>Tableau 8.4</b> : paramètre avec pentes effective de cout.....	110
<b>Tableau 9.4</b> : Paramètre initiaux de flux du projet.....	110

### 1. Définition

#### 1.1. Le Projet

- L'image d'une situation, d'un état que l'on pense atteindre (... et le chemin est long du projet à la chose, Molière Dictionnaire Robert)
- A la base : une idée, des estimations approximatives, des études préliminaires conduisant à la réalisation de projet
- Un ensemble d'actions tendues vers une finalité : créer un changement

Exemples :

- Créé une nouvelle unité de production
- Lancer un nouveau produit
- mettre en place un système d'informatique
- mettre en place, pour une administration, une planification sectorielle (R.Declerck, 1980)
- construction d'un immeuble, pont, tunnel, etc.
- le projet est un système, ou boîte noire, caractérisé par :
  - des unités d'énergie et d'informations (inputs)
  - leur transformation en produits ou énergie résultante (outputs)
  - le renouvellement du processus ou son développement. Les inputs sont achetés ou importés vendus ou exportés à l'environnement aval du projet.

#### 1.1.1. la réponse à 7 questions

<p>Qu'est-ce qu'un projet ?</p> <p>Pourquoi : répondre à un besoin identifier</p> <p>Quoi : en produisant un système unique</p> <p>Comment : résultant d'un ensemble d'activités interdépendantes</p> <p>Qui : faisant intervenir des contributeurs aux compétences différentes et complémentaires</p> <p>Combien : en maîtrisant des couts prédéterminés</p> <p>Quand : en tenant les délais annoncés</p> <p>Qualité : en respectant la spécification des fonctions et des performances</p>
--

**Figure 1.1 : les 7 questions pour réaliser un projet**

### 1.2. le management de projet

- le management par des méthodes de gestion qui faciliteront le passage de la décision stratégique à l'activité opérationnelle (R.Declerck,1980)
- un ensemble de méthodes et de techniques crée pour la conception, l'analyse et la conduite d'activités temporaires, fortement irréversibles, non répétitives, réalisées sous contrainte de temps, en engageant des ressources rares et limitées.(Ch.Navarre, Schaan et Doucet, 1989)
- le management des activités moins stables, moins répétitives et moins connues que les opérations traditionnelles de l'entreprise (Hazebroucq, Le Mangement de projets.1996)
- le contrôle de l'irréversibilité.

### 2. Objectifs d'un projet

- ✓ L'objectif fondamental du projet est une construction sociale qui agit sur le monde réel par des hommes
- ✓ Le but du projet n'est ni statique ni totalement explicite. C'est à partir d'une ébauche des buts poursuivis, d'abord floue et parfois contradictoire, que la véritable finalité du projet se précise progressivement en fonction des évènements et des analyses effectués.
- ✓ Le projet se transformera en une véritable institution stable qui prolongera les activités opérationnelles qu'il a développées et mises en place.
- ✓ Dans d'autres cas, son activité est distincte mais intégrée dans une organisation existante dite ^ organisation intégrée ^ car elle groupe des activités opérationnelles et entrepreneuriales.

#### 2.1. Caractéristiques des projets réussis

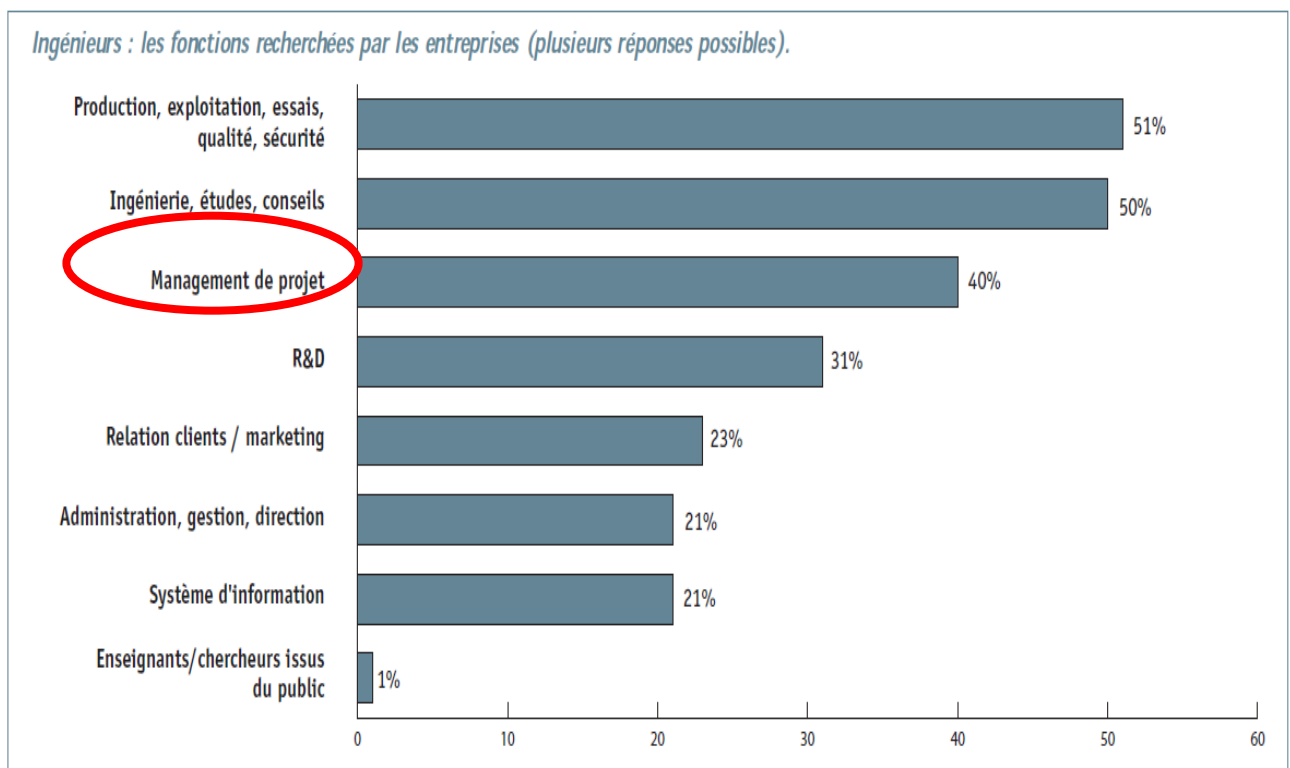
- ✓ Dans le cadre de la présentation de votre demande de financement, vous avez défini clairement les objectifs de votre projet, recherché des partenariats avec des organismes ayant des objectifs semblables et mis au point un plan d'action détaillé pour sa réalisation. De ce fait, vous avez jeté les fondations de la réussite. Examinez les particularités suivantes des projets réussis :
- ✓ **Des objectifs précis** – Les projets les plus réussis ont des objectifs définis clairement dès le départ.
- ✓ **Un plan de projet bien établi** – Un plan conçu avec minutie est utile pour deux raisons. D'abord, il permet à chaque participant de comprendre et de contribuer au projet. Il précise les responsabilités de chacun et évalue combien d'argent, de personnes, de matériel et de temps sont nécessaires à l'achèvement du projet. Ensuite, il sert d'outil de suivi et vous permet d'adopter des mesures correctives tôt dans le processus si les choses tournent mal.
- ✓ **La communication, encore la communication** – Votre projet repose sur la collaboration entre toutes les personnes qui y prennent part. Une communication réelle et continue doit s'établir entre les parties, si elles veulent œuvrer ensemble à la réussite du projet.



- ✓ **Une envergure maîtrisée** – Tout au long du projet, vous ferez face à plusieurs situations qui ne contribuent pas toutes à vos objectifs. Il importe que vous portiez attention à vos priorités, avec une perte minimale de temps et de concentration.
- ✓ **Le soutien des intervenants** – D'ordinaire, les projets sont le fait de plusieurs parties prenantes. Il importe que celles-ci vous accordent leur soutien pour toute la durée du projet de façon à ce que l'équipe atteigne ses objectifs.

### 2.2. Le management de projet, dans quel niveau ?

*Enquête CESI/APEC 2011* : Un questionnaire a été administré par voie électronique, auprès de 1000 dirigeants, managers, responsables RH, chefs d'entreprises travaillant dans des entreprises du secteur privé, des employeurs et des ingénieurs, les résultats obtenus sont présentés dans le diagramme qui suit :



Source : Enquête Formation d'Ingénieur par la Formation Continue Apec / Cesi 2011.

**Figure 2.1 : l'importance de management des projets**

### 3. Caractéristiques des projets

Ce qui caractérise le projet, est :

- Une activité souvent marginale d'une entreprise ou d'une organisation
  - dont l'impact peut être considérable
  - et qui conduit souvent à des décisions irréversibles.
- L'activité d'un groupe temporaire dont l'organisation quasi-autonome sera dissoute lorsque le projet aura accompli ses objectifs.
- Une activité exaltante par :
  - La créativité

- L'acceptation du risque qu'elle implique

Un projet est également caractérisé par :

- La satisfaction d'un besoin spécifique (singulier) et particulier (par opposition à une production de série)
- Un objectif autonome, en ce sens qu'il a un début et une fin
- Généralement, une novation, du moins partielle (technique, dimensionnelle, géographique, etc ...)

Un projet présente souvent une grande complexité, et fait intervenir des disciplines multiples, étrangères les unes aux autres, dont il faut coordonner les activités parfois contradictoires.

## 4. Catégorie des projets

### 4.1. Petits et grands projet

Les praticiens font souvent la différence entre ^ grands ^ et ^ petits ^ projets. Cette différence repose sur plusieurs critères :

- Le budget
- La complexité
- La durée
- L'intensité (actions ponctuelles, répétitives, difficilement pré-sembles qui sont liées à la structure vs actions donnant lieu à un ensemble de tâches structurées qui suivent une ^ certaine organisation ^)
- L'effet sur l'environnement

### 4.2. Projet hard et projet soft

Cette distinction est proposée par Archibald qui préconise des techniques différentes ou supplémentaires suivant l'une ou l'autre des catégories.

Hazebrouck appuie cette différenciation en faisant porter le caractère ^ hard ^ ou ^ soft ^ plus sur les techniques employées dans le projet que sur la nature du projet lui-même.

### 4.3. Projets de productivité et projets d'expansion et d'innovation

Cette distinction est présentée par R.Declerck dans le tableau suivant

Projet de productivité 1 à 12 mois	Projets d'expansion ou d'innovation 1 à 12 années
Conception Formulation (problem solving) Solution	Conception Formulation

Analyse Evaluation	Analyse Evaluation
Décision Exécution	Décision  Exécution
Intégration (training)	Intégration (format et changement organisationnel)
Post évaluation	Post évaluation

**Tableau 1.1 : la différence entre projet de productivité et projet d'innovation**

#### 4.4. Exemple de projets

Projet d'innovation L'autoroute est et ouest	Projet de diversification De la musique à l'aviation
Projet de remplacement La nouvelle hélice du porte -avion	Projet d'expansion L'évolution internationale des hypermarchés
Projet de productivité  L'organisation des opérations d'une chaîne de montage automobile	Projet d'investissement L'implantation d'une usine
Projet sociaux Le programme national de lutte contre le Sida	Projets de développement économique et culturel Lille 2004, capitale européenne de la culture

**Tableau 2.1. : Exemple de projets**

### 5. Les acteurs de projet

#### 5.1. Les partenaires d'un projet

##### 5.1.1. Principaux partenaires selon la trajectoire du projet

Il est évident que de nombreux partenaires et acteurs interviennent tout au long de la vie d'un projet

**Partenaires**

Etapes de la trajectoire	Maitre d'ouvrage	Ingénieur Conseil	Maitre d'œuvre	Administration centrale	Administration locale	Autorités locales	Banquiers	Fournisseurs	Clients usagers
Conception	★★★	★		★	★	★	★	★	★★
Formulation	★★★	★		★	★	★	★		★
Analyse et appréciation	★★	★★		★★	★	★★	★★		
Décision	★★			★★	★★	★★	★★		
Mise en oeuvre	★★★	★★	★★★★	★★	★★	★★	★★★★	★★	★
Suivi	★★	★★	★★	★	★	★	★★	★	★
Opération-lisation	★★	★	★	★★	★★	★★	★★	★★	★★★★
Evaluation rétrospective	★★★	★	★	★★	★★	★	★	★★	★★

**Figure 3.1 : l'importance de chaque partenaire**

Le nombre d'étoiles est lié à l'importance du rôle du partenaire dans

### 5.1.2. Partenaire interne et externes

Partenaires Cycle de vie du projet	Externes	Internes
Conception et formation	Administration Représentation de la population	Promoteurs Analystes Ingénieurs
Faisabilité (technique, marketing, organisationnelle, financière, économique)	Bureau conseil : Financiers Ingénieurs Estimateur Spécialistes marketing	Administrateur Juristes Analystes financières Economistes du projet
Décision	Etat Collectivités locales Bailleurs de fonds	Actionnaires Directeur générales
Lancement du projet réalisation	Autorité collectivités Locales Administration locales, nationales, internationales Administrations centrales	Maitre d'œuvre
Mise en oeuvre	Fournisseurs Sous-traitants	Maitre d'ouvrage Maitre d'œuvre Bureau conseil Superviseur
Contrôle et suivi	Bureau conseil	Maitre d'ouvrage

	Bailleurs de fonds	Contrôle
--	--------------------	----------

**Tableau 3.1 : la relation entre les partenaires internes et externes dans un projet**

### 5.1.3. Type de relation du projet avec ses partenaires

Outre la classification, selon le degré de liens (directs/indirects), une topologie peut être proposée en distinguant la nature des relations des partenaires (ou de l'environnement avec le projet).

C'est ainsi qu'on peut spécifier les types de relations suivantes :

- Techniques (tutelle, assistance, coopération ou partenariat) ;
- Commerciales (clients, fournisseurs, distributeurs, grossistes, concurrents) ;
- Administratives (tutelle ou autorisations à caractères administratif) ;
- Financière (financement) ;
- Humaines (ressources, main d'œuvre, cadres...) ;
- Sociales (syndicats d'ouvriers, groupements professionnels) ;
- Culturelles et religieuses : influence sur la localisation du projet, son architecture, clientèle...

Les relations du projet avec les partenaires peuvent être basées, soit sur la coopération (collaboration, complémentarité, partenariat...), ou par contre, sur les conflits (concurrence, sabotage, coalition, grèves...).

(PNAP. Manuel d'analyse institutionnelle, p.23)

## 5.2. L'équipe de projet

- L'équipe de projet, et son chef en particulier, constitue l'interface désignée et chargée d'élaborer progressivement le projet. elle est l'interface entre l'entreprise et le client, le public, et plus généralement l'extérieur de l'entreprise
- L'équipe de projet fonctionne bien lorsqu'elle réussit à constituer un groupe soudé, avec culture forte et engagement élevé. (AFITEP. Le management de projet, principes et Pratiques, 1991-p.76, 77)
- Le groupe de projet se concentre autour du projet. Le groupe est en fusion du fait des relations avec cet objet. On définit les objectifs communs sur lesquels on va agir et les moyens pour y parvenir. Le groupe se développe et se met en situation de « work group »
- Dans un projet, il y a entrée et sortie de personnes et de groupes temporaires.
- Un des grands problèmes du management de projet est la lutte qui peut exister entre les différents membres du projet : l'équipe de projet et les stakeholders (acteurs).(R. declerck- séminaires 1997).

### 5.2.1. Les acteurs du projet

Fiche d'analyse d'un projet

Types d'acteurs		Interne Analyste Opérateur	Externe Décideur
Mission			
Taches			
Qualités			

**Tableau 4.1 : Fiche d'analyse d'un projet**

5.2.1.1. Le maitre d'ouvrage :

Rôle :

- Il est le futur propriétaire du projet. Il s'agit d'administration en cas de projets publics, d'individus ou de firmes, en cas de projets privés (ex : promoteur immobilier, hôtelier, etc...) (PNAPglossaire).
- Il est l'initiateur du projet ou en récupère l'initiative à partir d'idées d'un concept. Il fixe les objectifs, l'enveloppe budgétaire et les délais souhaités pour le projet (piloter une affaire p.26) exprimés clairement dans un cahier des charges le plus possible. (C. sporakowski, p.5)

Fonctions :

- a. Il est responsable de l'investissement relatif au projet
- b. Il se doit donc de justifier cet investissement par un cahier des charges en accord avec la direction générale et s'efforcer de décrire et de quantifier les gains attendus à la lumière des objectifs définis. (dossier de Préparation d'investissement)
- c. Il se doit de respecter ses engagements et ses décisions vis-à-vis de son maitre d'œuvre. Il est responsable de l'impact des imprévus au cahier des charges ou des non décision sur le déroulement du projet
- d. Il maintient avec son maitre d'œuvre le niveau de communication nécessaire au bon déroulement du projet
- e. Il est le seul habilité à réceptionner le projet à partir de critères qui lui sont propres mais en cohérence avec les objectifs du cahier des charges.
- f. Il est le grand de la bonne utilisation de l'œuvre achevée par rapport au besoin exprimé. Il est responsable des conséquences sur les structures humaines, procédurales ou législatives des utilisateurs clients à partir du mont de la prise en compte de ces conséquences n'étaient pas mentionnées au cahier charges
- g. En cas de litige, il est prévu un recours à organe décisionnel supérieur (direction générale).

Qualités :

- Comprendre la nature de l'activité d'un projet avec ses incertitudes et ses risques
- Etre clair et explicite
- Savoir définir les objectifs (avoués et cachés)

- Avoir une ligne directrice et savoir s'y tenir
- Encourager et contrôler le déroulement du projet
- Savoir l'arrêter, si nécessaire

Missions du maître d'ouvrage :

- Phase de conception du projet :
  - Analyser et préciser l'objectif d'investissement
  - Définir l'ouvrage répondant à cet objectif
  - Etablir un programme de réalisation de l'ouvrage
  - Déterminer le budget et le montage financier correspondants
  - Présenter et justifier les choix proposés
- Phase de réalisation :
  - Lancer la réalisation suivant le programme et le budget
  - Maîtriser l'élaboration de l'ouvrage
  - Assurer l'exploitation
- Fonctions majeures :
  - Spécifier les besoins
  - Choisir et lancer les moyens
  - Suivre la réalisation et contrôler
  - Assurer l'exploitation

### 5.2.1.2. Le maître d'œuvre

Rôle :

- Il est responsable de l'exécution, de la réalisation physique du projet conformément aux conditions fixées par le maître d'ouvrage.
- Il assure la responsabilité globale de la qualité technique, du délai et du coût
- Il est l'architecte : fournisseur de la maîtrise d'ouvrage, responsable des travaux et chargé du pilotage du projet
- Il a un rôle primordial de coordination et d'animation au sein d'un groupe de réalisateurs

Fonction :

- a. Il anime le développement du projet dont il est responsable

Mission :

- Sa mission est triple :
  - Fournir une présentation de qualité.
  - Tenir les engagements de temps et de coûts.
  - Entretenir un climat et une communication aptes à fournir le niveau d'engagement nécessaire.
- Le maître d'œuvre n'a de compte à rendre qu'au maître d'ouvrage physiquement désigné.

Qualités :

- Être disponible à 100% sur le projet

- Réunir des qualités assez rares :
  - Etre un bon gestionnaire de ressources.
  - Respecter les objectifs et rien que les objectifs dans le cadre de la mission confiée.
  - Respecter les délais.
  - Travailler en équipe.
  - Privilégier le résultat plutôt que les moyens.
  - Etre pragmatique.
  - Respecter les autres.

Ses principales tâches sont :

- Définir les taches et leur enchainement logique.
- Choisir les exécutants et préciser leurs responsabilités.
- Spécifier les interfaces entre exécutants.
- Prévoir les écarts entre le réel et le prévu ; et savoir le mesurer.
- Décider des corrections qu'imposent ces écarts.
- Mener à bon terme l'installation à réaliser
- Préparer sa remise à l'exploitant.

Fonctions majeures :

- Organiser la réalisation.
- Concevoir techniquement.
- Coordonner la réalisation.
- Contrôler les résultats.
- Préparer l'exploitation.

### 5.2.1.3. Le directeur de projet (grands projets)

Le chef de projet (petits projets)

Rôle :

- Mener à bien le projet et en assurer le succès.
- Il est l'interlocuteur et l'animateur principal du projet.
- Il occupe une position focale dans l'organisation du projet, au lieu même de la convergence des interactions internes et externes.
- Très souvent, il doit avoir une légitimité technique.
- Il a une vue d'ensemble, générale et exhaustive du projet.
- Il sait exactement ou en est le projet, son état d'avancement, les problèmes et les solutions qui sont apportées
- Il a essentiellement un rôle d'intégration des éléments dans tous les domaines de gestion des interfaces entre ses divers intervenants.

Mission :

Sa mission comporte la direction, le management des ressources humaines et le management de risques :

- Fixer les objectifs, la stratégie, les moyens et l'organisation
- Gérer des groupes temporaires.



- Coordonner les actions successives et/ou concomitantes.
- Maitriser, c'est-à-dire être à tout instant capable, dans tous les domaines, de modifier la stratégie, les moyens et la structure si un objectif évolue ou si le problème ne peut être respecté.
- Optimiser la répartition des ressources (en main-d'œuvre, de moindre cout, dans une vision globale du projet)

### Qualités :

- Animateur d'équipe.
- Communicateur.
- Généraliste fonctionnelle et technique du domaine considéré.
- Un facilitateur et non un gouverneur.
- Ne se noie pas dans les détails.
- Respecte les autres.
- Est à l'écoute et fait participer tous les acteurs.

### Taches :

- Le directeur de projet a, dès sa désignation, trois taches essentielles :
  - La rédaction du plan directeur du projet (PDP)
  - La constitution de son équipe.
  - Le management de ou des équipes.
- Essentiellement polyvalent, il sera avant tout un organisateur compétent et imaginatif et un meneur d'hommes dynamique. Le caractère évolutif de l'intégration du projet en une opération implique que le directeur du projet en une opération implique que le directeur du projet devra être capable d'appliquer à un univers en changement permanent les connaissances classiques des divers sous-systèmes humains physiques : engineering, production, marketing, finance et administration. Mais bien plus que l'application opérationnelle de ces connaissances, il s'agira de la capacité de concevoir, de modéliser, d'actualiser et d'organiser ces sous-systèmes tout au long de la trajectoire du projet de développement.
- La fonction fondamentale de conducteur d'hommes exige des qualités exceptionnelles de décideur et de meneur d'hommes.
- Leadership

(David I. Cleland et John A. King, Systems Analysis and project Management, McGraw Hill, New York, 1968, p.185)

- La qualité d'un directeur de projet se reconnaît aussi aux procédures qu'il a mises en place dans le plan directeur de projet pour apporter une réponse à l'annonce d'un risque probable.

#### 5.2.1.4. Le spécialiste

##### Rôle :

Le spécialiste (chef de service, chef de métier) apporte les connaissances techniques permettant d'optimiser le projet.

Fonctions :

- Identification de problèmes.
- Analyse de problème.
- Production de solutions ou d'alternatives.
- Matériaux pour prise de décision.
- Analyses technique – Gammes de techniques.
- Projection dans l'environnement.
- Mesure de conséquences.

Qualités

- Analyse et synthèse.
- Excellent professionnel de sa spécialité.
- Fiabilité.

### 5.3. Qualités des hommes de projets

- 1- la communication :
  - Savoir s'exprimer et fonctionner dans un groupe
- 2- la capacité d'analyse :
  - savoir trouver le problème, faire un diagnostic.
  - Savoir le prouver (études de marché, enquêtes, prototype, simulation).
- 3- L'esprit de synthèse :
  - Savoir faire des recommandations pertinentes et réalistes pour les décideurs.
- 4- La capacité de fonctionnement et un univers incertains, changeant empreint de risque et avec des équipe transitoires.

Capacités individuelles	Capacités systémiques
1- Technologie 2- Marketing 3- Finance 4- Administration 5- Communication 6- Autorité 7- Pouvoir 8- Leadership 9- Conceptualisation, modélisation 10- Esprit de décision 11- Perception analytique 12- Perception géostatique 13- Identification et résolution de conflits 14- Négociation 15- Empathie 16- Courage 17- Charisme 18- Créativité 19- Discipline	Système de gestion <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de planification</li> <li>• Système d'information interne et externe</li> <li>• Système de décision</li> <li>• Système d'administration</li> <li>• Système de contrôle</li> </ul> Système physique <ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de production</li> <li>• Système de marketing</li> <li>• Système d'entretien</li> <li>• Système R et D</li> <li>• Système financier et comptable</li> </ul>

**Tableau 5.1 : les capacités individuelles et systémiques d'une équipe de projet**

### 5.4. Le management des groupes temporaires

La dynamique des groupes temporaires est caractérisée par l'apparition de phénomènes transitoires qui peuvent être suivis soit d'une stabilisation, au moins temporaire du système, soit d'une déstabilisation

Au niveau des équipes de projets des techniques simples de gestion du personnel (interviews, rotation de personnel, plan de carrière, plan de réallocation, etc.) permettent de faciliter le transit des individus dans les groupes temporaires en minimisant les coûts psychologiques (angoisse, frustration, stress, etc.) et les coûts économique (sabotage, absentéisme, grèves, etc.)

Dans un projet, tout au long de la trajectoire, des hommes et des groupes entrent et sortent du projet. Le plus souvent volontairement parce que la nature des tâches évolue ; parfois involontairement du fait conflits.

Manager des groupes temporaires est d'abord constituer une équipe de personnes :souvent venues d'horizons divers, de lui former une culture, de la centrer sur l'objet à réaliser : le projet, de manager les incertitudes et conflits, de faire sortir de l'équipe des membres anciens, d'en accueillir de nouveaux tout en maintenant la productivité, de gérer les fluctuations de climat et les conflits, d'assurer enfin la dissolution des équipes.

## 6. Cycle de vie d'un projet

### 6.1. Définition

Cycle de vie : organisation logique des activités qui jalonnent la vie d'un produit, depuis l'idée qu'on en a eue ou l'identification du besoin jusqu'à son obsolescence au son arrêt d'utilisation.

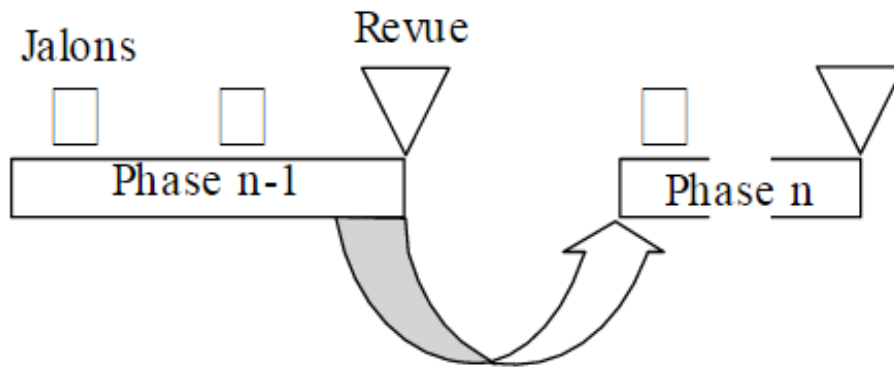
### 6.2. Les phases

#### ✓ Principe

Décomposer le projet en plusieurs phases ou en plusieurs étapes est l'approche adoptée et la plus cohérente pour réaliser un projet. En segmentant le cycle de vie d'un projet, on segmente les risques.

En effet, dans cette approche, les risques potentiels, qu'ils soient d'ordre technique, économique ou programmatique, pourront être identifiés et traités dans la phase concernée et le plus en amont possible vis-à-vis de la date de livraison du projet.

Le déroulement d'un projet se résume donc à un enchaînement d'une succession de phases et de points clés intermédiaires appelés des jalons. Des revues sont organisées à l'issue de chaque phase. Elles permettent d'autoriser, après un examen critique, le changement de phase si les objectifs attendus sont validés par le client.



**Figure 4.1 : Changement de phase autorisé par le client**

### **6.2.1. La présomption de faisabilité ou phase « 0 »**

C'est une phase de cadrage organisationnel et d'analyse technique sommaire. Elle est appelée phase de présomption de faisabilité ou encore, selon les secteurs d'activités, phase d'esquisse. Cette phase permet d'élaborer des pré-études (objectifs, besoins) et de réaliser des scénarios d'opportunités de démarrage du projet.

### **6.2.2. La faisabilité ou phase « A »**

C'est une phase itérative qui a pour but d'étudier plusieurs solutions ou concepts techniques dont la faisabilité devra être démontrée. On profitera de cette phase pour évaluer les risques, et faire un état des points critiques par solution. On estimera également, pour chaque solution, les performances, les coûts et les délais. Remarque : la phase compétitive, lorsqu'elle existe, se situe dans la phase A. Elle permet à l'entreprise de répondre à un appel d'offre. Une équipe dédiée est désignée pour conduire cette phase et pour élaborer une proposition technique et financière. La direction, après analyse des différentes solutions, fera le choix de l'offre « contractuelle » qui sera remise au client. La phase compétitive suit les étapes suivantes :

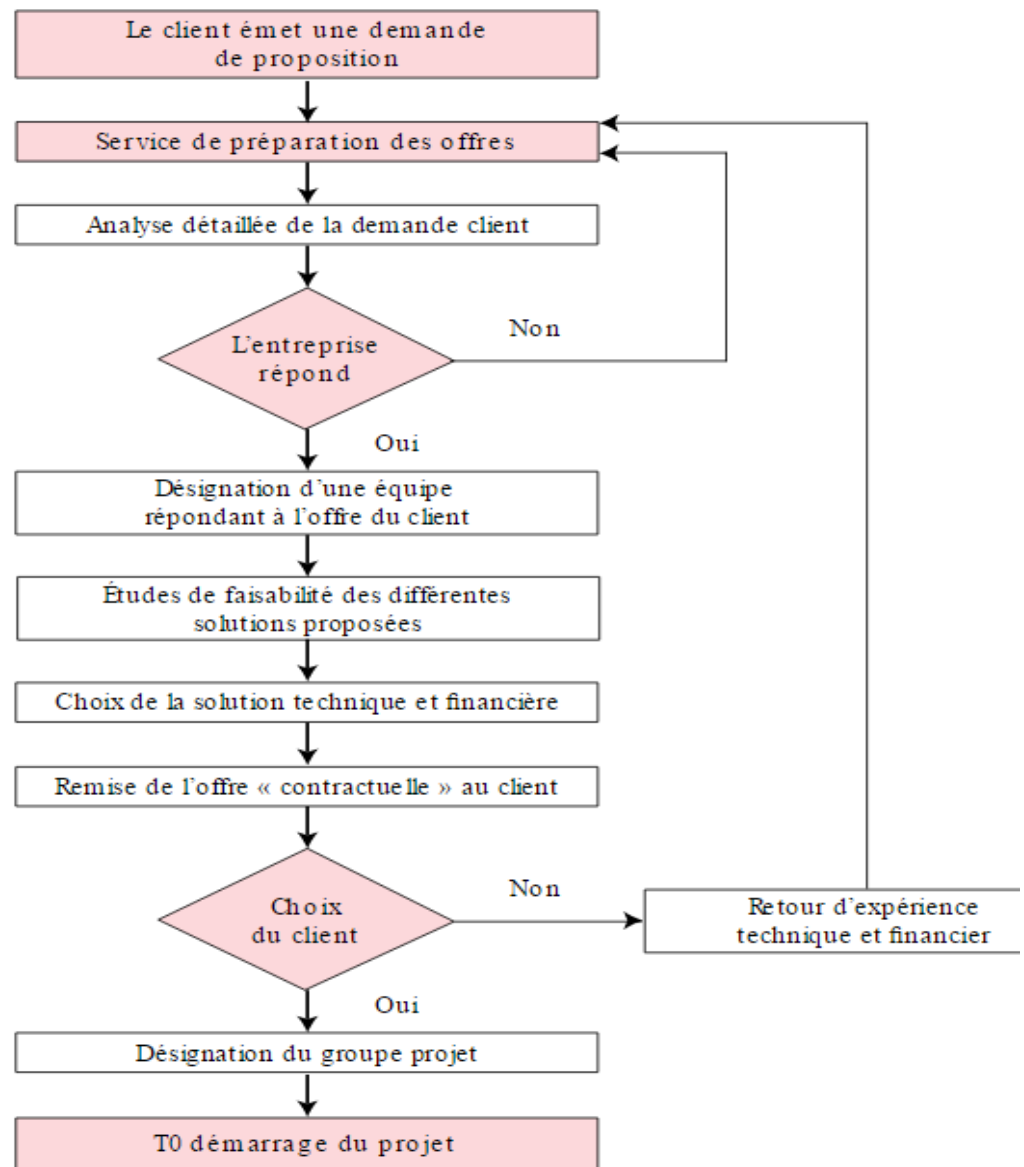


Figure 5.1 : Organigramme de la phase compétitive du projet

### 6.2.3. Le projet ou phase « B »

C'est une phase de définition préliminaire. On n'est plus dans une phase itérative, on fige la solution choisie parmi toutes les solutions proposées en phase A.

On établira :

- l'organigramme technique ;
- le planning ;
- la logique de développement du projet ;
- le plan qualité ;

- les spécifications techniques de besoin.

On consultera les fournisseurs (politique industrielle).

### **6.2.4. Le développement ou phase « C »**

C'est une phase de définition détaillée et de qualification de la solution retenue. On est dans la phase industrielle de développement.

On devra :

- choisir les industriels ;
- lancer les approvisionnements ;
- réaliser des prototypes ;
- faire des essais élémentaires de faisabilité et de mise au point ;
- faire des essais fonctionnels ;
- finaliser les spécifications de besoin ;
- finaliser les clauses techniques et qualité ;
- finaliser les dossiers de définition ;
- finaliser les dossiers de fabrication et de contrôle.

### **6.2.5. La série ou phase « D »**

C'est la phase de réalisation, d'intégration et d'acceptation des exemplaires de série.

On mettra en place :

- les procédures de gestion des évolutions techniques ;
- les procédures de dérogations ;
- le traitement des anomalies ;
- la formation des utilisateurs ;

### **6.2.6. L'exploitation ou phase « E »**

On est dans la phase utilisateur. Les produits livrés sont en phase opérationnelle. Les utilisateurs sont formés.

L'industriel devra mettre en place une structure industrielle permettant :

- le transfert de responsabilité ;
- la traçabilité des exemplaires livrés ;
- le service après-vente ;
- la maintenance ;
- le retour d'expérience (analyse des pannes, anomalies et incidents...).

### **6.2.7. Le démantèlement ou phase « F »**

Dans certains cas, on doit prévoir une phase dite de démantèlement ou retrait de service ou encore de déconstruction.

On établira le plan de retrait de service qui correspond à l'organisation technique des tâches de déconstruction du système avec récupération et destruction de produits. Si cette étape est connue en début de projet, elle sera étudiée en phase « C ».

Phases	Désignation	Objectif	État du projet
Phase 0	Présomption de faisabilité	Cadrage du projet	Origine
Phase A	Faisabilité	Itération des concepts	Fonctionnel
Phase B	Projet	Choix de la solution	Spécifié
Phase C	Développement	Études détaillées	Défini
Phase D	Série	Réalisation	Réalisé
Phase E	Exploitation	Après-vente	Vivant
Phase F	Démantèlement	Retrait de service	Déconstruit

**Tableau 6.1 : Synthèse d'enchaînement des phases d'un projet**

### 6.3. Les revues

#### 6.3.1. Définition

Emprunté à l'anglais review, le mot revue est, du point de vue qualité, un «examen entrepris pour déterminer la pertinence de ce qui est examiné, son adéquation et son efficacité à atteindre des objectifs définis (NF EN ISO 9000) ».

#### 6.3.2. Principe

Les changements de phase sont autorisés par le client (maître d'ouvrage) et subordonnés à la tenue avec succès, d'une revue projet.

Phases	Désignation	Revue
Phase 0	Présomption de faisabilité	Revue de mission
Phase A	Faisabilité	Revue de faisabilité
Phase B	Projet	Revue de conception préliminaire
Phase C	Développement	Revue de conception détaillée – Revue de qualification
Phase D	Série	Revue d'acceptation
Phase E	Exploitation	Revue spécifique définie dans les clauses contractuelles

**Tableau 7.1 : les phases du projet par à port au maître d'ouvrage**

#### 6.3.3. Déroulement

Le groupe de revue est constitué de personnes qualifiées, désignées par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre. Des experts pourront être sollicités ponctuellement, si besoin, sur des points jugés critiques. Le groupe de revue a pour mission, à partir de la documentation communiquée par l'industriel :

- de conduire avec méthode une analyse technique approfondie et détaillée des travaux réalisés ;
- de vérifier si les objectifs assignés sont atteints ;
- d'engager des actions (préventives ou correctives) ;
- d'émettre en fin de revue des recommandations, des préconisations (conseils ou orientation).

À l'issue de cette revue, le maître d'ouvrage autorisera le maître d'œuvre, en fonction des recommandations émises, à changer de phase et débloquera les financements associés.

### 6.3.4. Cycle « créativité - savoir »

Le déroulement d'un projet est constitué, comme nous l'avons vu précédemment, d'une succession de phases qui ont des contenus différents et des durées différentes. Nous pouvons constater :

- qu'en début de projet, on a peu de connaissances, mais une grande liberté de création ;
- qu'en fin de projet, on a accumulé une grande quantité de connaissances, mais que l'on n'a plus de liberté de création.

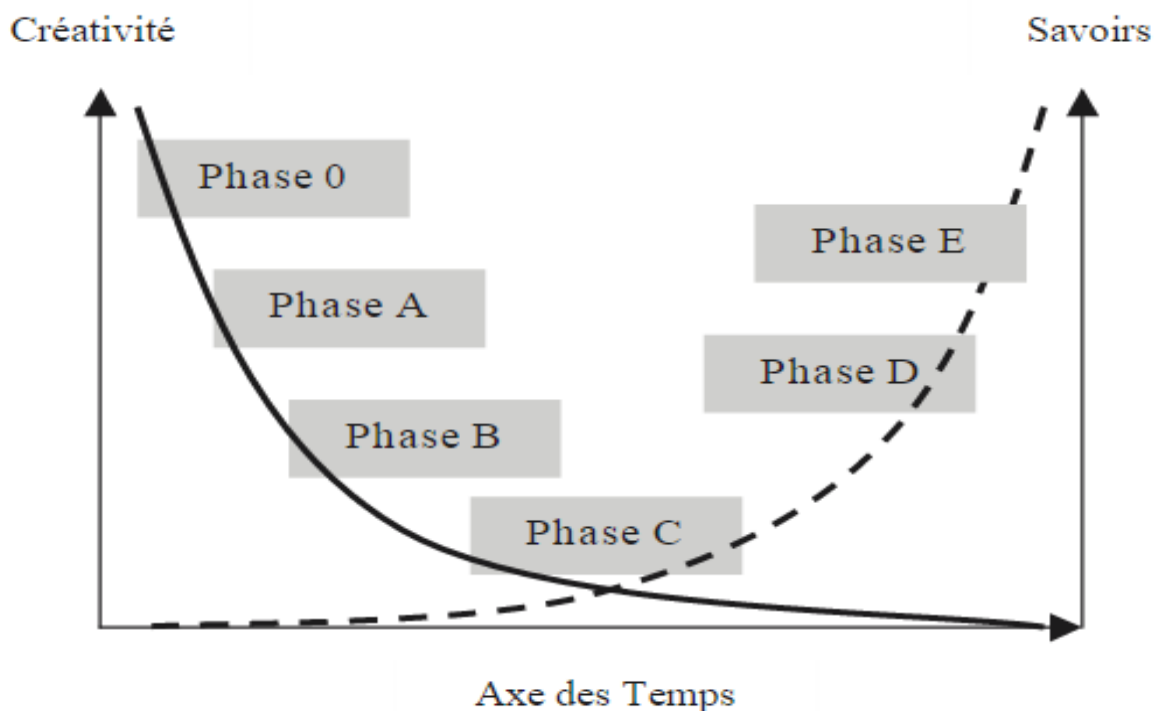


Figure 6.1 : Cycle de vie d'un projet



## 6.3.5. Synthèse du cycle de vie d'un projet

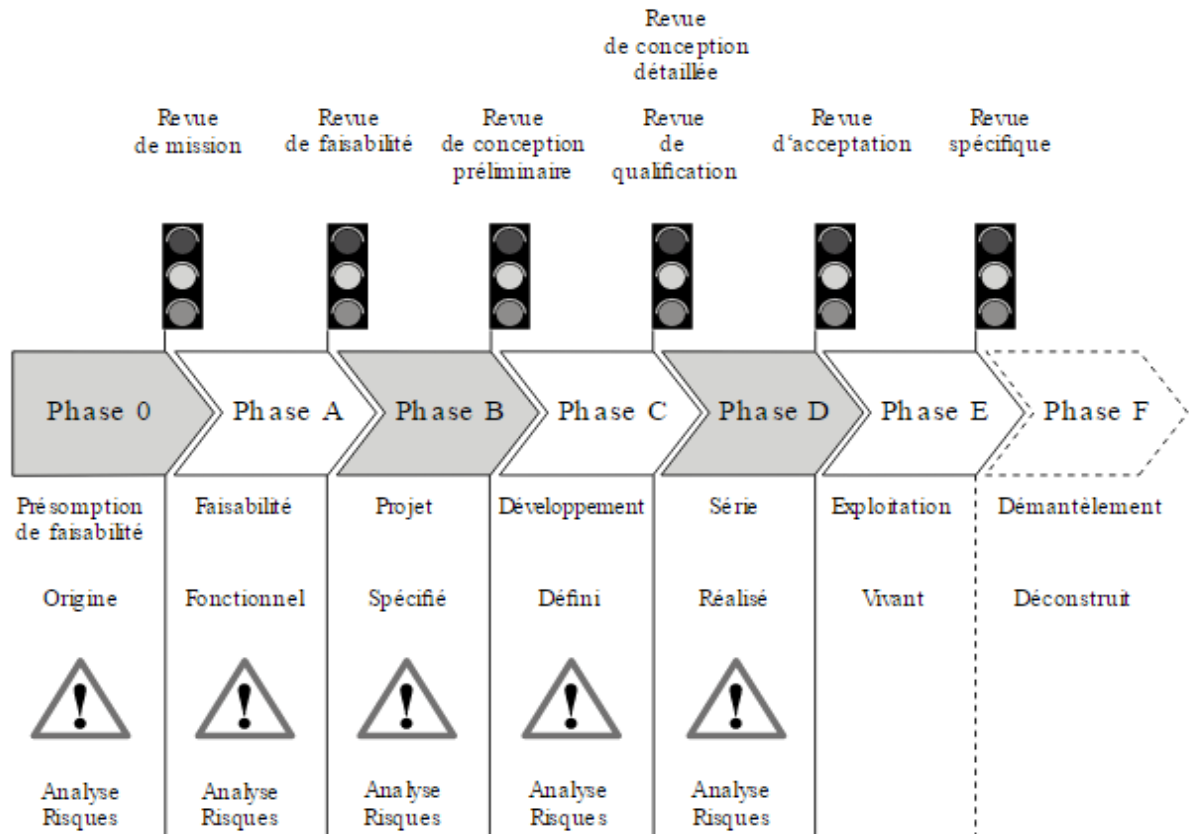


Figure 7.1 : Synthèse du cycle de vie d'un projet

## 7. Le domaine de projet

« Un projet n'est rien d'autre qu'un rêve avec une échéance. »

On parle indifféremment de projet, de programme ou de produit sans en connaître précisément leur sens. On évoque de la même façon la gestion de projet, le management de projet ou le management par projet sans imaginer de réelles différences entre ces méthodes. Or il y a des différences importantes qu'il convient de préciser en ce début de première partie.

### 7.1. Programme

La terminologie de grand programme ou de programme sous-tend un ensemble de projets ou une famille de projets. On parle de programme nucléaire, de programme ferroviaire, de programme autoroutier ou de programme spatial... Un programme est donc un ensemble de projets. Le chef de programme regroupe sous son autorité des chefs de projet.

### 7.2. Affaire

La notion d'affaire a une connotation économique. Elle associe au projet les engagements contractuels liant le client à l'entreprise.

Le terme affaire intègre : la réponse à l'appel d'offres, la phase de négociation, la réalisation du projet et la phase d'exploitation opérationnelle.

### 7.3. Projet

- Projet : « ouvrage »

Le projet dit « ouvrage » est relatif à un projet unique ou non récurrent qui s'adresse à un client unique (en cela il s'oppose au projet produit). Le projet « ouvrage » est à rapprocher du « hard Project » qui existe par lui-même et qui est un bien livrable. On est souvent, dans ce cas, dans le domaine du projet architectural qui s'inscrit dans la durée : un ouvrage d'art (pont, tunnel, autoroute...), un bâtiment (bibliothèque, musée...).

- Projet : « organisationnel »

On opposera à la notion de « hard Project » le « soft Project » qui caractérise notamment le projet organisationnel dont la notion de livrable est moins tangible à savoir : la numérotation à 10 chiffres, le passage à l'an 2000, l'organisation des jeux olympiques, le changement de règle comptable...

- Projet : « de société »

La notion de projet de société s'adresse à des valeurs de référence qui engagent la société sur un long terme. On citera : le passage à l'euro, le projet de Constitution européenne ou encore un projet politique.

- Projet : « produit »

Le projet dit « produit » est relatif à un projet qui sera réalisé en plusieurs exemplaires ou en série. C'est un projet dit récurrent qui s'adresse à plusieurs clients. On est souvent, dans ce cas, dans le domaine industriel du produit qui suit un cycle (introduction, expansion, maturité et déclin). Il est donc par nature éphémère : avions, automobiles, ordinateurs, médicaments, parfums... On peut caractériser les trois familles de projet comme suit :

	Ouvrage	Organisationnel	Société	Produit
Type	Non récurrent	Non récurrent	Non récurrent	Récurrent
Projet	Dur	Mou	Mou	Dur
Livrable	Bien matériel	Bien non matériel	Bien non matériel	Bien matériel
Client	Unique	Pluriel	Pluriel	Pluriel
Durée	Pérenne	Éphémère	Pérenne	Éphémère

**Tableau 8.1 : les trois familles de projet**

### 7.4. Produit

Le produit est un sous-ensemble du projet. Un projet comprend plusieurs produits. Le chef de projet regroupe sous son autorité des chefs de produit. 5 Sous-produit Le sous-produit est un sous-ensemble du produit. Un produit comprend plusieurs sous-produits.

### 7.5. Gestion de projet

La gestion de projet est la terminologie utilisée pour caractériser l'ensemble des outils de gestion qui doivent être mis à la disposition du groupe de projet pour conduire le projet, en termes :

- de performances techniques ;
- de contrôle des coûts ;
- de qualité ;
- de maîtrise des délais.

La gestion de projet est une approche méthodologique qui permet au chef de projet de piloter le projet en ayant à tout instant la meilleure visibilité de l'avancement du projet et de ses points critiques.

### 7.6. Direction de projet

La direction de projet a pour mission de donner des objectifs et de fournir les moyens associés pour mettre en œuvre le projet. Ces objectifs sont d'ordre :

- stratégiques ;
- politiques ;
- organisationnels ;
- humains.

### 7.7. Management par projet

Lorsque l'on évoque le management par projet, on est dans le domaine organisationnel de l'entreprise orienté projet. En choisissant de mettre en place ce type d'organisation, on passe alors d'une organisation dite classique « verticale » à une organisation de type « transversale ». Cette organisation de type « contractuel » qui donne au chef de projet, nouveau leader, un rôle central, permet :

- D'offrir une grande réactivité vers le client ;
- de faire circuler l'information ;
- de favoriser la communication ;
- de responsabiliser l'ensemble des acteurs du projet ;
- de valoriser les métiers projet<sup>4</sup>.

## 8. Le triangle d'or du projet

Les trois paramètres PCD (Performance – Coûts – Délais), qui caractérisent le projet, permettent de piloter le projet pour le déclarer, in fine, conforme aux objectifs contractuels et au cahier des charges.

On est dans une approche industrielle et économique de la réussite du projet. On ne doit pas ignorer dans cette démarche industrielle que la réelle réussite d'un projet est la satisfaction du client final, l'utilisateur de cette réalisation.

### 8.1. Triptyque PCD

Le triptyque – performance, coûts, délais – caractérise le projet.

La réussite du projet passe par la maîtrise de ces trois paramètres indissociables qui seront quantifiés et traduits en objectifs à tous les niveaux de responsabilité du projet (système, sous-système et produits).

Ils seront déclinés vers les responsables qui devront, sur toute la durée du projet, les analyser, à partir d'indicateurs pertinents, pour prendre les mesures de management qui s'imposent dans une démarche d'anticipation.

Cette approche peut être assimilée à l'approche de la « qualité globale »<sup>5</sup> qui réunit :

- P : la qualité technique et technologique (performance) ;
- C : la qualité financière (maîtrise des coûts) ;
- D : la qualité temporelle (maîtrise des délais).

### 8.2. Variation autour des critères PCD

Un projet peut être considéré comme réussi, lorsqu'à sa date de mise à disposition au client, les trois critères Performance – Coûts – Délais sont conformes aux objectifs contractuels de démarrage.

En dehors de ces deux situations extrêmes :

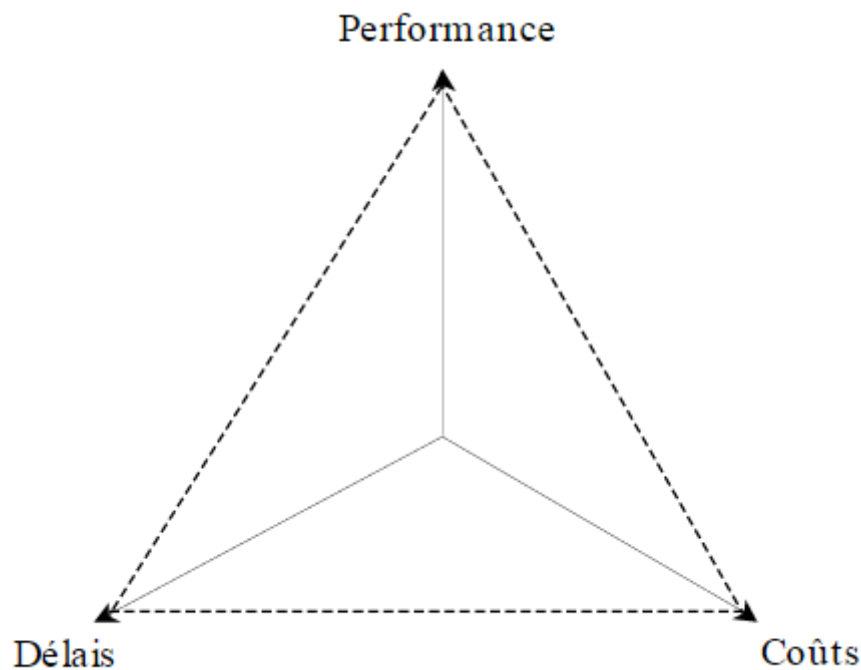
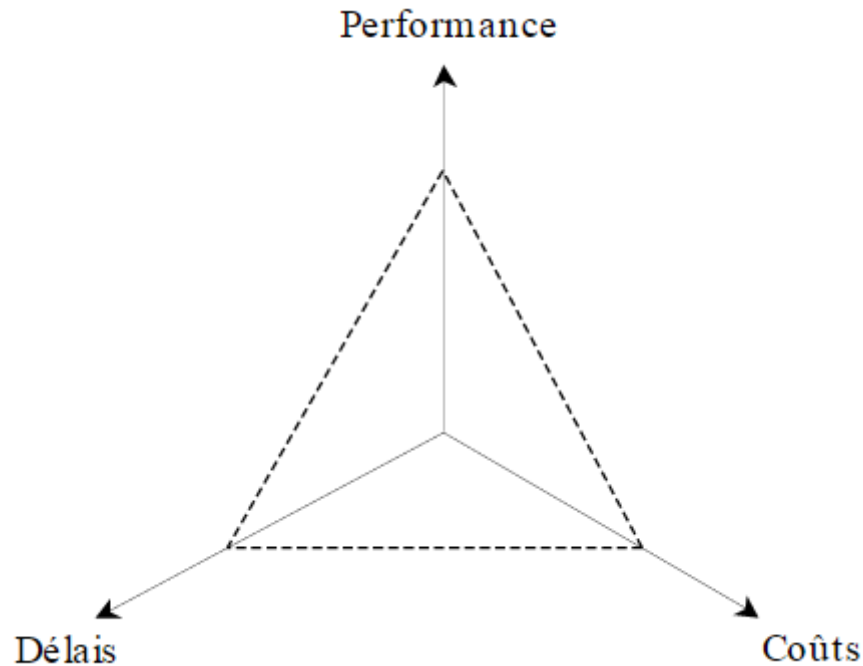


Figure 8.1 : Réalisation tous les objectifs PCD (produit techniquement maîtrisé)

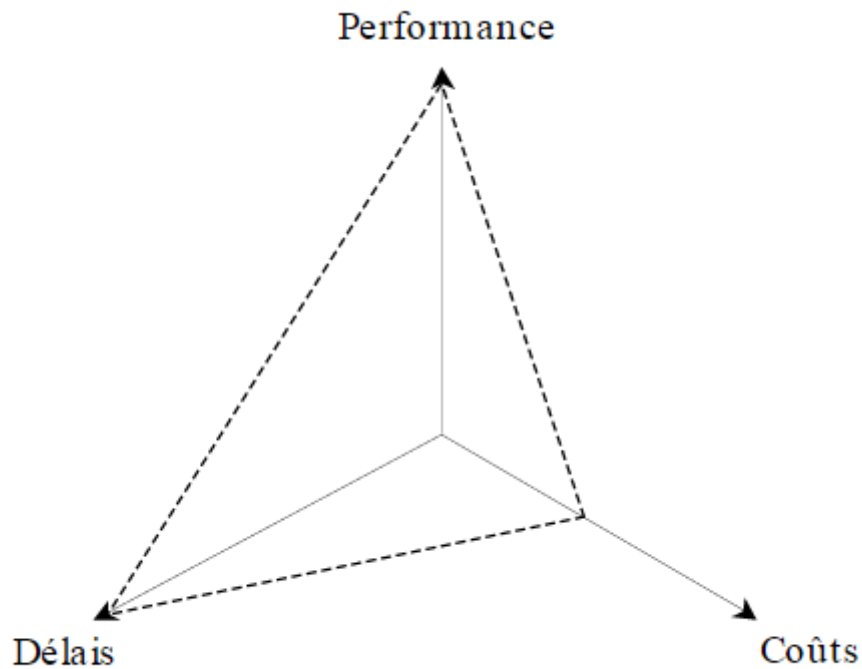


**Figure 9.1 : Aucun des objectifs PCD n'est atteint**

On peut envisager, entre ces deux cas, une multitude de situations possibles. On retiendra les deux cas les plus courants.

### 8.2.1. Non-respect des coûts

Si un projet rencontre au cours de son développement des difficultés techniques, qui apparaissent tôt dans son cycle de vie, il pourra alors être livré, dans les délais, grâce à la mise en œuvre de moyens techniques et humains supplémentaires. On aura donc, dans cette hypothèse, atteint les objectifs de qualité technique et de délais, mais pas l'objectif de coût qui se traduira par un dépassement budgétaire dû au surcoût engendré par le financement de moyens supplémentaires, non budgété en début d'affaire.



**Figure 10.1 : Non-respect des coûts**

### 8.2.2. Non-respect des délais et des coûts

Si un projet rencontre des difficultés techniques, qui apparaissent tard dans son cycle de vie, il ne pourra pas être livré dans les délais. Dans ce cas, des surcoûts dus au financement des équipes sur une durée plus longue, et au paiement de pénalités financières, pour non livraison au client du projet dans les délais prévus par le contrat seront à prévoir. On aura donc atteint les objectifs de qualité technique au titre de la performance attendue, mais, ni les objectifs de délais ni ceux de coût

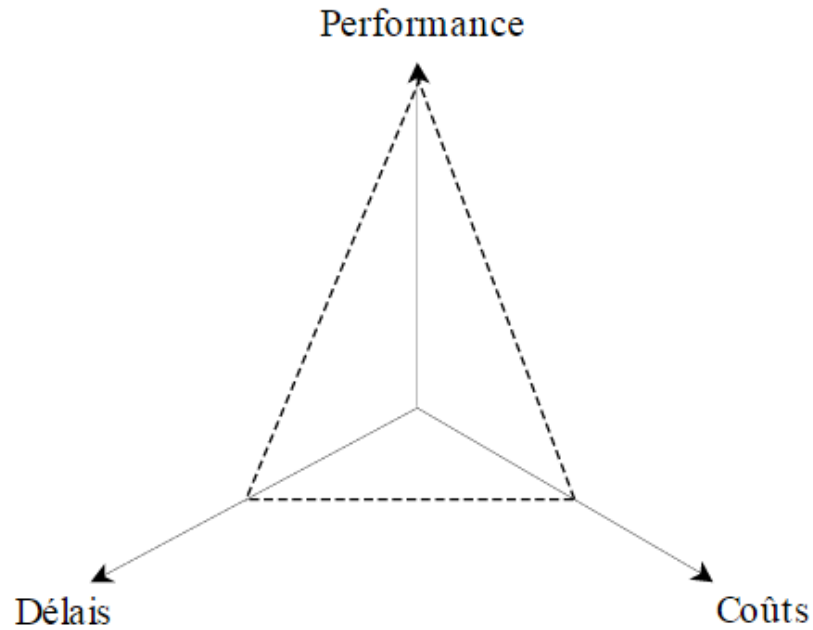


Figure 11.1 : Non-respect des délais et des coûts

### 8.3. La Non-qualité dans un projet

#### 8.3.1. Non-respect des paramètres PCD

Comme nous l'avons vu précédemment, le respect des paramètres PCD caractérise la réussite d'un projet. Le non-respect des paramètres PCD engendrent des conséquences très préjudiciables ou irrémédiables au bon déroulement du projet. Dans ce cas, on est dans une problématique de « non-qualité ».

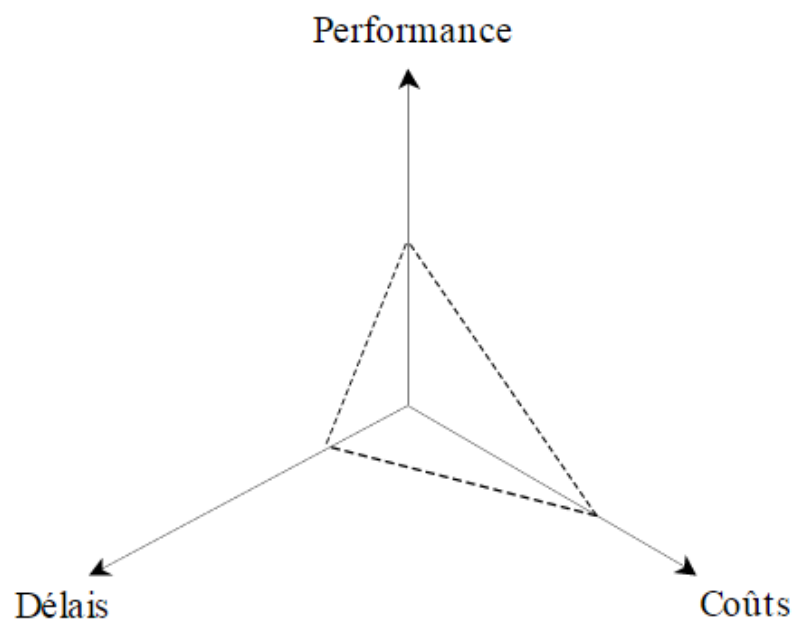
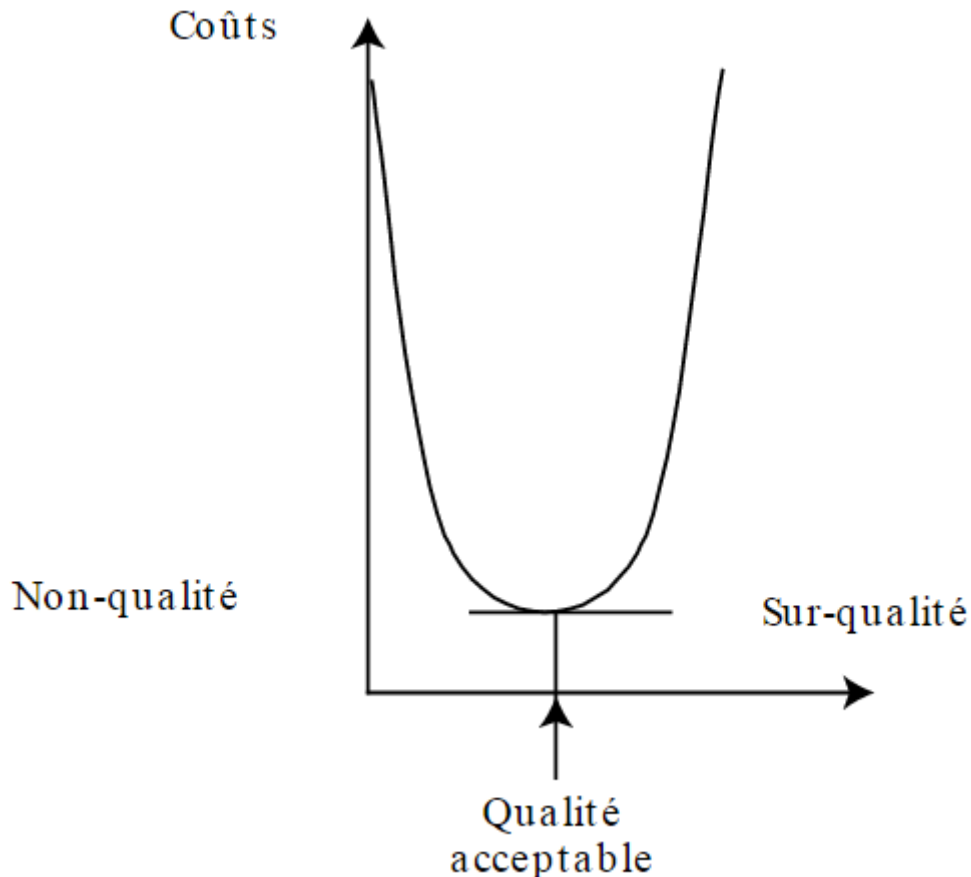


Figure 12.1 : Non-respect des paramètres PCD

L'opposé de la « qualité » est la « non-qualité » qui représente un coût qui s'avère généralement plus coûteux que de « faire bien » du premier coup. Le coût de la non-qualité est d'autant plus important qu'il est détecté tardivement dans le cycle de vie du projet. Le juste équilibre permettant d'éliminer au maximum la non-qualité en y consacrant un budget raisonnable est toujours difficile à trouver. La courbe, ci-contre, montre bien cet équilibre entre la « non-qualité » qui est coûteuse et la « sur-qualité » qui est coûteuse et inutile. La qualité dite acceptable est entre ces extrêmes.



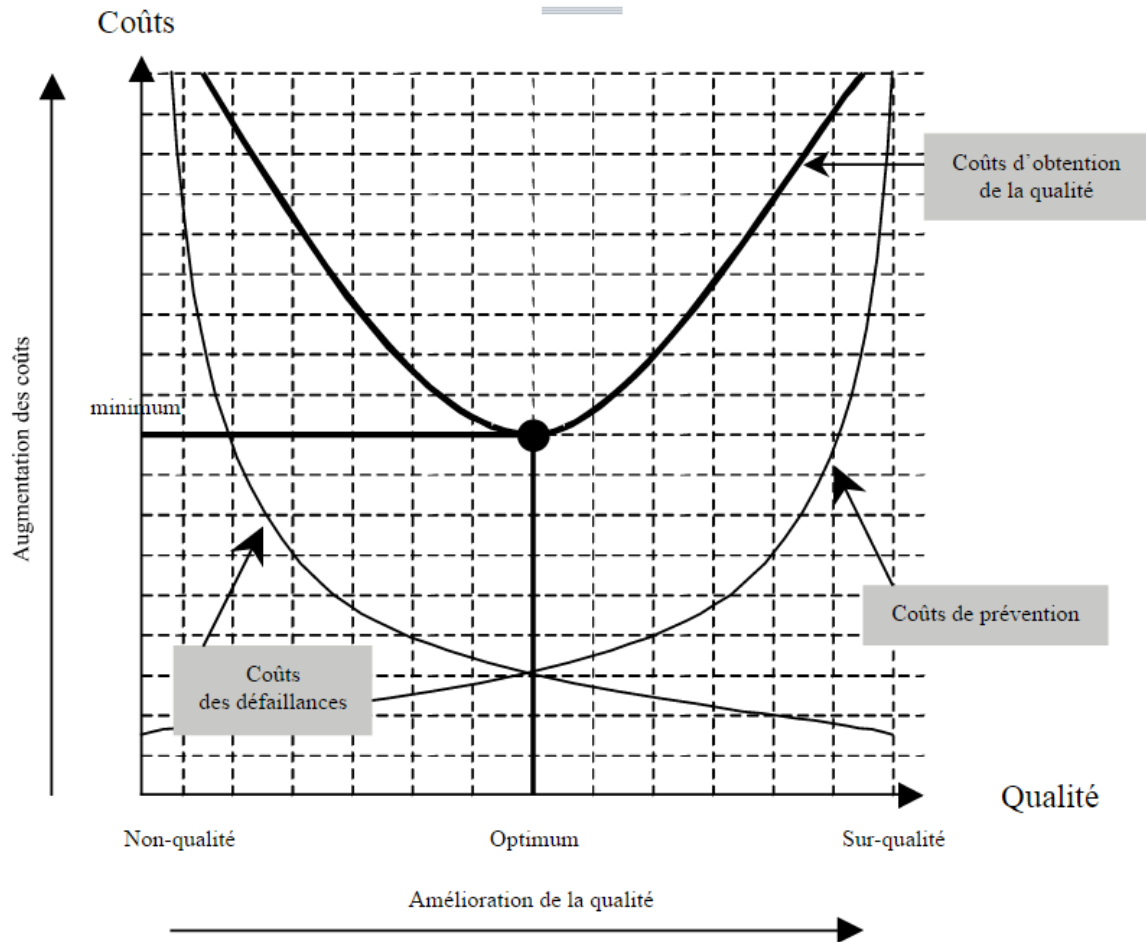
**Figure 13.1 : La Non-qualité dans un projet**

### 8.3.2. Caractériser la « sur-qualité » et la « non-qualité »

La courbe, ci-contre, établit une relation entre qualité et coûts. La courbe des coûts de prévention correspond à l'effort d'investissement dans la qualité pouvant conduire à un niveau de qualité supérieur au niveau de qualité requis, c'est la « sur-qualité ».

La courbe des coûts des défaillances correspond aux coûts de la « non-qualité » qui est la somme des coûts résultant des dysfonctionnements internes et externes. En combinant ces deux courbes de coûts on obtient une courbe en « U » correspondant au coût d'obtention de la qualité (COQ).





**Figure 14.1 : La courbe suivante établit une relation entre qualité et coûts**

## 9. Le plan directeur de projet ou plan de management (PDP)

En début de projet, le chef de projet doit élaborer, même en version incomplète, un plan de management qui constitue l'exposé des directives concernant la méthode qu'il envisage d'utiliser. Ce plan appelé PDM ou PDP (ou encore PMP) a pour but la recherche d'un certain consensus entre les différents intervenants afin d'avoir une vision commune sur le projet par la vision globale qu'il présente.

### 9.1. L'organigramme des tâches (OT) ou WBS (work breakdown structure)

Le WBS est un outil de construction de projet. Il a pour but de décrire sous forme arborescente l'ensemble du projet en offrant une vision globale des tâches à réaliser.

Il permet aussi de :

- donner une vision du projet commune à tous les acteurs ;
- organiser et maîtriser les tâches à effectuer ;
- décrire et gérer les budgets alloués ;
- décrire et maîtriser le produit pendant son développement ;
- maîtriser la documentation du projet.

L'organigramme technique du projet peut se décliner de plusieurs manières :

- organigramme technique (structure OTP ou WBS — quoi) ;
- organigramme fonctionnel (structure OBS — métiers de l'entreprise — qui) ;
- structure de coûts (CBS) ;

- décomposition par ressources (RBS) ;
- plan de comptes (ABS).

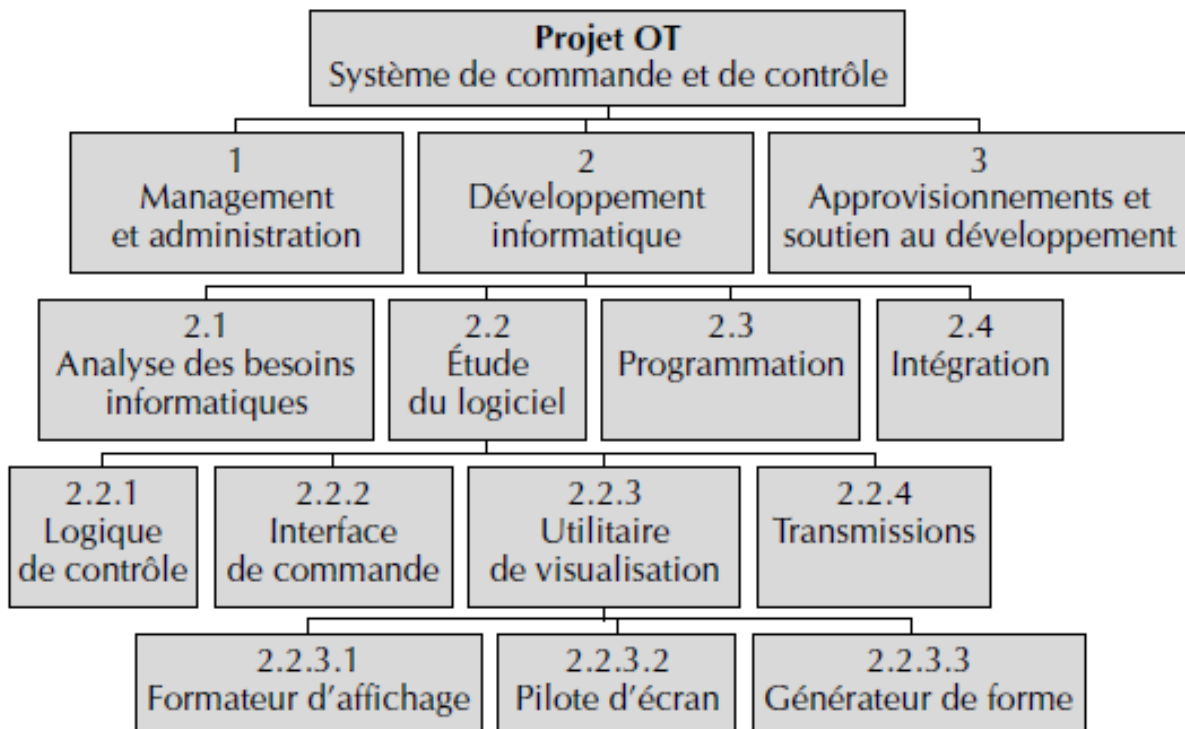


Figure 15.1 : exemple de WBS

## 9.2. Les structures de pilotage

Un projet se construit en tenant compte des structures de responsabilités mises en place pour permettre une plus grande réactivité face à la problématique technique ou méthodologique qui le sous-tend. Une structure de responsabilités mise en place peut s'avérer nécessaire pour organiser les procédures de suivi, de circulation des informations, de décision, nécessaires à un reporting adéquat. En d'autres termes, la structure sera fonction de la spécificité du projet.

### 9.2.1. La structure avec facilitateur de projet

Dans cette structure, le facilitateur est force de propositions pour le chef de projet et les intervenants sur le projet. Il n'a aucun pouvoir, ni fonctionnel, ni hiérarchique, mais fait des suggestions et des propositions d'avancement en fonction de cas passés connus de lui. Attention, toutefois, car dans certaines organisations il est aussi la « voix » de la direction générale.

Dans la plupart des cas, le chef de projet aura besoin d'un facilitateur de projet, notamment pour l'aider à mieux comprendre l'environnement du projet, et éventuellement pour constituer un groupe d'appui en cas de conflit au sein de l'équipe projet.

Dans la pratique anglo-saxonne, il y a une formalisation du rôle du facilitateur qu'on appelle le « sponsor », et il peut être nommé sur le projet pour aider à une meilleure progression par ses propositions. Bien souvent, il s'agit d'une personne de

l'entreprise qui, par son expérience et sa connaissance du système, permettra au chef de projet de saisir les enjeux des acteurs par une meilleure connaissance des logiques individuelles de pouvoir qui s'y conjuguent. Cependant, le chef de projet évitera de lui confier un rôle opérationnel dans le projet pour asseoir sa méthode et son leadership sur l'équipe projet : c'est une structure bien adaptée à des projets peu complexes dont les enjeux sont relativement faibles.

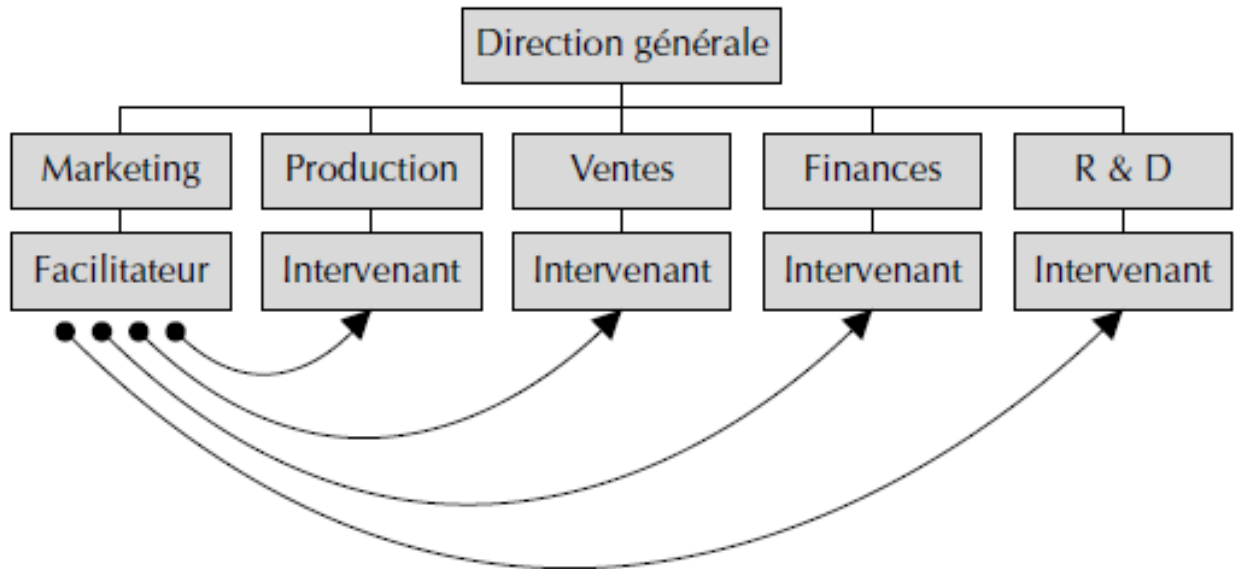


Figure 16.1 : structure par facilitateur de tâche

### 9.2.2. La structure avec coordonnateur de projet

Au sein d'une organisation avec coordonnateur de projet, il y a nécessité d'une consolidation des informations relatives au projet par le biais d'une personne dédiée. Le coordonnateur de projet sert de courroie de transmission entre les différents intervenants sur le projet et le chef de projet dont le pilotage requiert des indicateurs de suivi régulièrement actualisés.

Ce type de structure s'avère particulièrement efficace en cas de situation conflictuelle entre le chef de projet et des membres de son équipe. Dans ce cas, le coordonnateur remonte les informations en capitalisant sur les différents métiers impactés par le projet : il peut en devenir expert. Cependant la structure avec coordonnateur se justifie aussi en cas de surcharge de l'activité du chef de projet qui fait appel à un tiers afin d'assurer la coordination des opérations, les réunions d'avancement, pour se focaliser sur les aspects techniques du projet. C'est une particulièrement adaptée à des projets peu complexes, dans un environnement où les enjeux des projets sont moins importants que ceux liés au bon fonctionnement des directions spécialisées. Dans certaines organisations qui ont choisi un mode de fonctionnement par projet, le coordonnateur peut prendre l'appellation de « promoteur » de projet, et son rôle sera moins d'assister le chef de projet que de faire vivre le projet au sein de l'entreprise, afin d'éviter la tentation de la catégorisation afférente aux projets de longue durée. Dans ce cas, le coordonnateur est la personne chargée de relier tous les projets au sein d'une architecture ou schéma directeur global. Dans le domaine des systèmes d'information, c'est le DSI ou l'architecte des systèmes d'information qui assurera ce rôle.

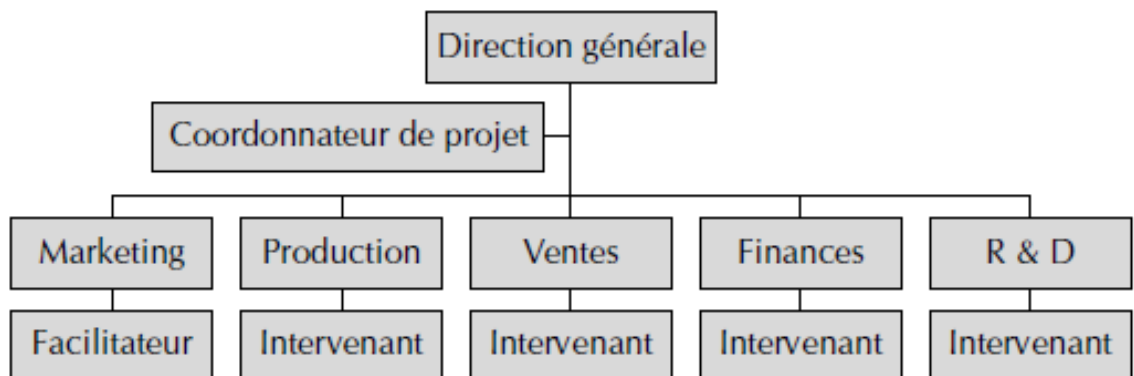


Figure 17.1 : structure avec coordonnateur de projet

### 9.2.3. La structure matricielle

Cette structure a connu son apogée dans les années 80-90 lorsque le management de projet s'imposait aux entreprises industrielles comme la solution miracle à toutes leurs réalisations techniques, notamment à cause de la réactivité afférente aux enjeux concurrentiels.

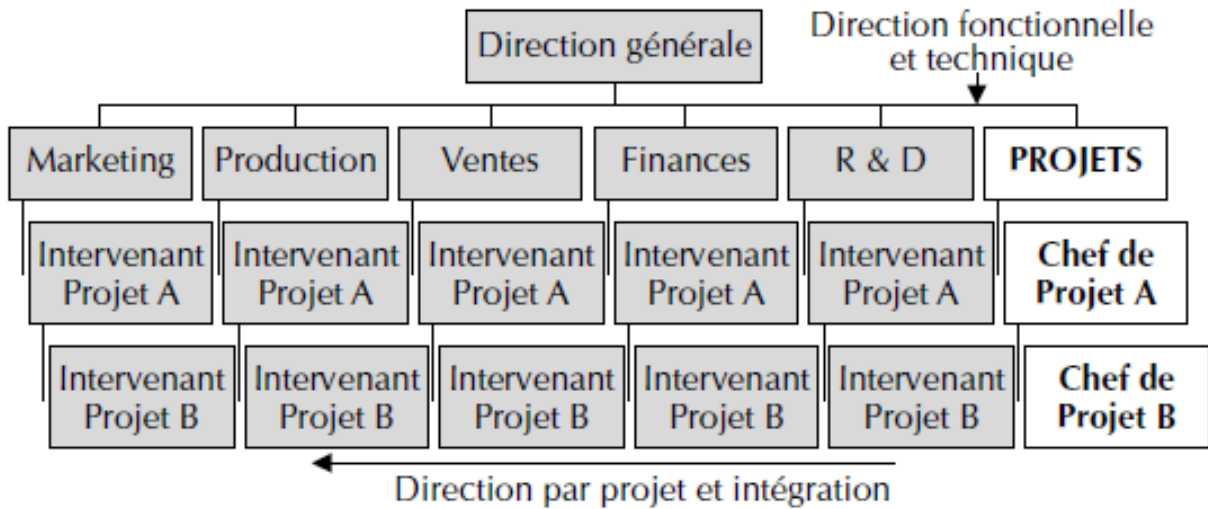
Plusieurs aspects la caractérisent :

- C'est une structure qui concerne des entreprises habituées au fonctionnement en mode projet, notamment à cause de la rupture qu'induit le projet au sein des organisations formelles. En effet, le projet génère un bouleversement des pratiques transactionnelles de l'entreprise. À cet égard, il désorganise son fonctionnement quotidien par le prélèvement de ressources disponibles au sein des services.
- Cette organisation se justifie par l'insuffisance de ressources disponibles au sein de l'entreprise, soit parce qu'elles sont affectées à d'autres tâches, soit par manque de compétences internes.
- Elle induit naturellement un partage de responsabilités dans le management des personnes.

Ainsi, l'une des particularités de la structure matricielle vient du fait que les services sont obligés de se partager la disponibilité des ressources. Ainsi, le pouvoir hiérarchique et fonctionnel est laissé au responsable du service d'origine de la ressource alors que le chef de projet n'a sur elle qu'une autorité temporaire.

Cette situation porte en germe des conflits de compétences et de responsabilités si elle est mal coordonnée par la maîtrise d'ouvrage qui, en sa qualité de promoteur du projet, se doit de définir les priorités pour l'entreprise.

L'autre particularité de la structure matricielle tient au taux de disponibilité de la ressource sur le projet. Ainsi est-il courant de devoir travailler avec des taux de 20 %, 50 %, 80 %, qui préfigurent les difficultés de planification du chef de projet ou du planificateur. Rappelons que la gestion des ressources est la partie la plus difficile de la planification et que l'insuffisance des ressources ne peut qu'alimenter cette problématique ; d'où le recours fréquent à des prestataires externes pour combler le déficit de disponibilité des ressources.



**Figure 18.1 : structure matriciel**

## 10. Management des risques du projet

Le management des risques du projet comprend les processus concernés par la conduite de la planification du management des risques, l'identification des risques, l'analyse des risques, les réponses aux risques et la surveillance et maîtrise du projet.

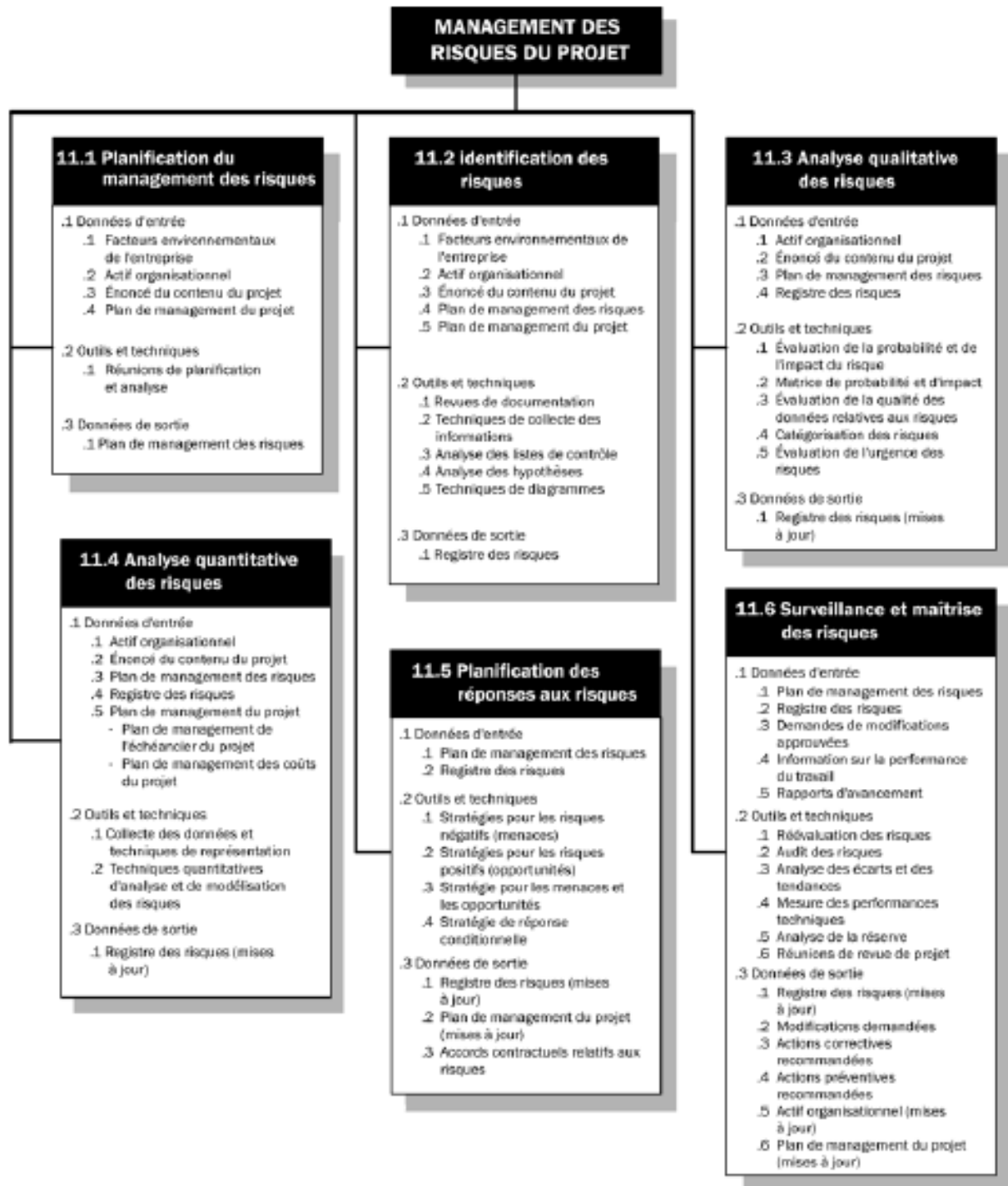
La plupart de ces processus sont mis à jour tout au long du projet. Les objectifs du management des risques du projet sont d'augmenter la probabilité et l'impact des événements positifs et de diminuer la probabilité et l'impact des événements défavorables au projet.

La figure suivante présente une vue d'ensemble des processus de management des risques du projet, et la figure 11-2 un diagramme de flux de ces processus avec leurs données d'entrée et de sortie, ainsi que des processus connexes d'autres domaines de connaissance. Les processus de management des risques du projet sont :

- 1- Planification du management des risques : ce processus permet de décider comment approcher, planifier et exécuter les activités de management des risques d'un projet.
- 2- Identification des risques : ce processus détermine quels risques pourraient avoir un impact sur le projet et documente leurs caractéristiques.
- 3- Analyse qualitative des risques : ce processus consiste à hiérarchiser les risques pour une analyse ou une action ultérieure en évaluant et en combinant leur probabilité d'occurrence et leur impact.
- 4- Analyse quantitative des risques : ce processus consiste à effectuer l'analyse chiffrée des effets des risques identifiés sur l'ensemble des objectifs du projet.
- 5- Planification des réponses aux risques : ce processus permet d'élaborer des options et des actions pour améliorer les opportunités favorables aux objectifs du projet et réduire les menaces à leur encontre.
- 6- Surveillance et maîtrise des risques : ce processus consiste à suivre les risques identifiés, surveiller les risques résiduels, identifier les risques nouveaux, exécuter les plans de réponse aux risques et évaluer leur efficacité au long du cycle de vie du projet.

Ces processus interagissent entre eux ainsi qu'avec les processus des autres domaines de connaissance. Chaque processus peut mettre en jeu l'effort d'une ou plusieurs personnes ou d'un ou plusieurs groupes de personnes, selon les besoins du projet. Chacun est exécuté au moins une fois au cours de chaque projet et intervient dans une ou plusieurs phases du projet

si celui-ci est divisé en plusieurs phases. Bien que les processus soient présentés ici comme des composants distincts avec des interfaces bien définies.



**Figure 20.1 :vue d'ensemble du management de risque de projet**

Le risque du projet trouve son origine dans l'incertitude présente dans tout projet. Les risques connus sont ceux qui ont été identifiés et analysés, et il peut être possible de planifier des réponses à ces risques en utilisant les processus décrits si dessus. Le management de risques inconnus ne pouvant se faire de manière proactive, l'équipe de projet peut, par prudence,

affecter une provision générale en couverture de tels risques ainsi que des risques connus pour lesquels il ne serait pas rentable, voire impossible d'élaborer une réponse proactive.

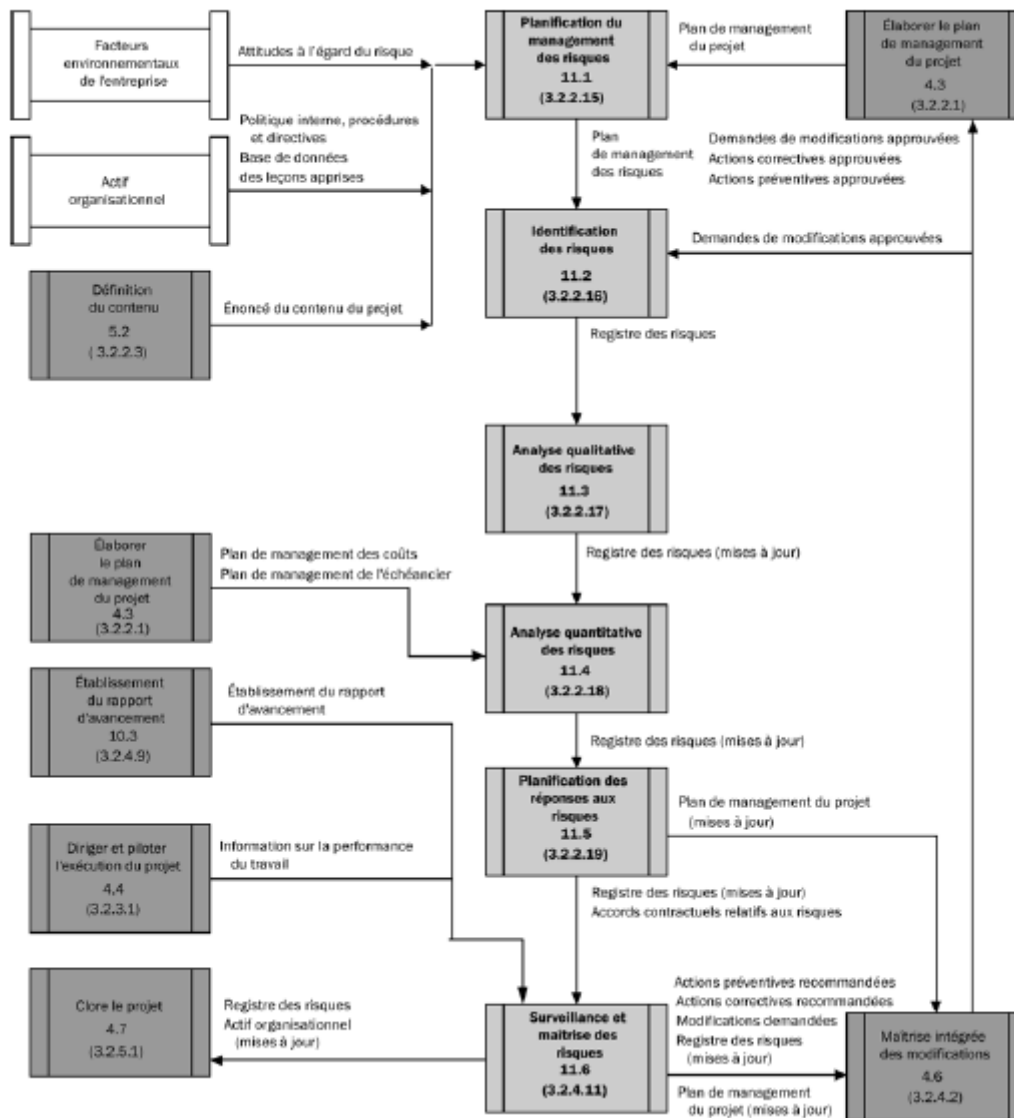
Les organisations perçoivent le risque comme une menace à la réussite du projet ou comme une opportunité d'améliorer ses chances de succès. Les risques qui constituent une menace pour le projet peuvent être acceptés si le risque s'équilibre avec le gain qui peut en être tiré avec une possibilité de dépassement, est un risque que l'on prend pour achever le projet plus tôt. Les risques qui sont des opportunités, tels qu'une accélération du travail rendue possible en affectant du personnel supplémentaire, peuvent être pris pour profiter aux objectifs du projet.

Les personnes et, par extension, les organisations ont des attitudes à l'égard du risque qui influencent à la fois l'exactitude de leur perception des risques et la manière dont ils y répondent. Les attitudes par rapport aux risques devraient être explicitées autant que possible. Il conviendrait d'élaborer une approche cohérente du risque conforme aux exigences de l'organisation pour chaque projet, et la communication concernant le risque et son traitement devrait se faire de manière ouverte et honnête.

Les réponses aux risques reflètent l'équilibre perçu par une organisation entre la prise de risque et son évitement.

Pour réussir, l'organisation devrait s'engager à traiter le management des risques de manière proactive et cohérente tout au long du projet.





**Figure 21.1 : Diagramme de flux des processus de management des risques du projet**

Remarque :

Les interactions et les flux de données entre les processus ne sont pas tous indiqués.

## 10.1. Planification du management des risques

Une planification prudente et explicite améliore les chances de succès des cinq autres processus de management des risques. La planification du management des risques est le processus qui permet de décider comment aborder et conduire les activités de management des risques du projet. La planification des processus de management des risques est importante pour s'assurer que le niveau, le type et la visibilité du management des risques sont proportionnés à la fois au risque et à l'importance du projet pour l'organisation, afin de fournir les ressources et le temps suffisants aux activités de management des risques et d'établir une base convenue pour évaluer les risques. Le processus de planification du



management des risques devrait être achevé tôt pendant la planification de projet puisqu'il est crucial à la bonne exécution des autres processus décrits dans ce chapitre.

### 10.1.1. Planification du management des risques : données d'entrée

1. Facteurs environnementaux de l'entreprise  
Les attitudes à l'égard du risque et la tolérance au risque des organisations et des personnes impliquées dans le projet influencent le plan de management du projet. Ces attitudes et cette tolérance peuvent être exprimées dans des déclarations de politique interne ou se révéler dans les actions.
2. Les organisations peuvent avoir des approches prédéterminées du management des risques telles que des catégories de risques, une définition commune des concepts et des termes, des modèles standards, des rôles et des responsabilités définis, ainsi que des niveaux d'autorité pour la prise de décision.
3. Énoncé du contenu du projet
4. Plan de management du projet

### 10.1.2. Planification du management des risques : outils et techniques

Réunions de planification et analyse

Les équipes de projet tiennent des réunions de planification pour élaborer le plan de management des risques. Les participants à ces réunions peuvent inclure le chef de projet, des membres de l'équipe de projet et des parties prenantes sélectionnés, tout membre de l'organisation ayant une responsabilité de planification des risques et d'activités d'exécution des réponses aux risques, ainsi que d'autres personnes selon les besoins.

Les plans de base pour mener les activités de management des risques sont définis lors de ces réunions. Les éléments de coût des risques et les activités de l'échéancier seront élaborés pour être inclus respectivement dans le budget et l'échéancier du projet. Les responsabilités des risques seront attribuées. Des modèles généraux d'organisation pour les catégories de risques et les définitions de termes tels que les niveaux de risque, la probabilité par type de risque, l'impact par type d'objectif et la matrice de probabilité et d'impact seront adaptés au projet spécifique. Les données de sortie de ces activités seront récapitulées dans le plan de management des risques.

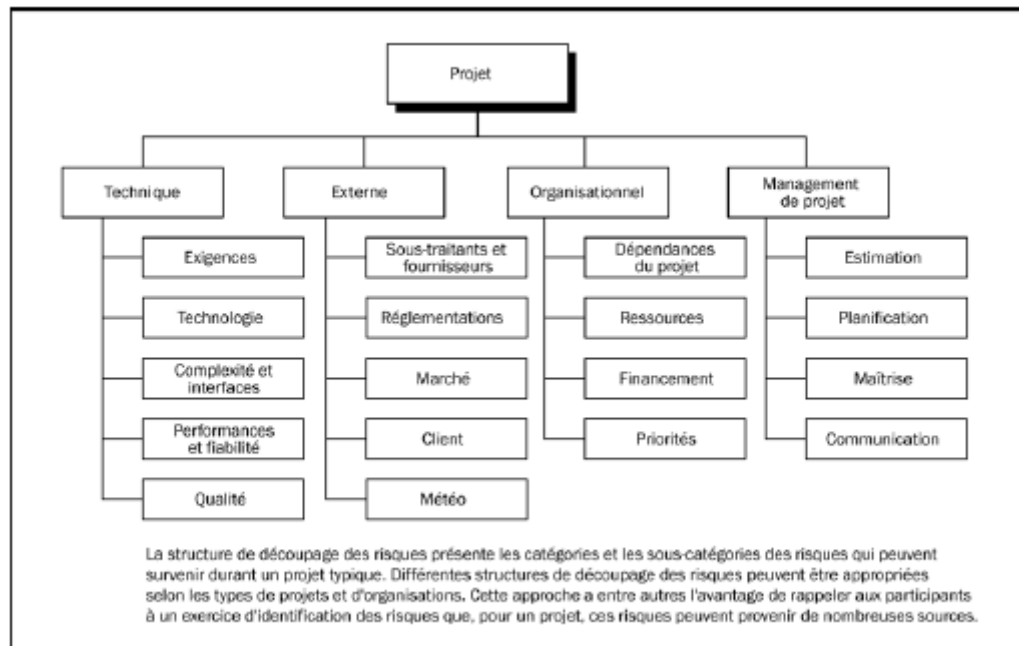
### 10.1.3. Planification du management des risques : données de sortie

Plan de management des risques

Le plan de management des risques décrit comment le management des risques sera structuré et exécuté dans le projet. Il devient un sous-ensemble du plan de management du projet. Le plan de management des risques comprend les éléments qui suivent.

- **Méthodologie.** Elle définit les approches, les outils et les sources de données pouvant être utilisés pour exécuter le management des risques dans le projet.
- **Rôles et responsabilités.** Ils définissent qui dirige, soutient et adhère à l'équipe de management des risques pour chaque type d'activité dans le plan de management des risques, affectent des personnes à ces rôles, et clarifient leurs responsabilités.
- **Budget.** Il affecte les ressources et estime les coûts nécessaires au management des risques afin de les inclure dans la référence de base du coût du projet.
- **Calendrier.** Il définit quand et à quelle fréquence le processus de management des risques sera effectué durant l'ensemble du cycle de vie du projet, et établit les activités de management des risques à inclure dans l'échéancier du projet.

- Catégories de risques. Elles fournissent une structure qui assure un processus complet pour identifier systématiquement les risques à un niveau cohérent de détail, et contribuent à l'efficacité et à la qualité de l'identification des risques.
- Définitions de la probabilité et de l'impact des risques. La qualité et la crédibilité du processus *Analyse qualitative des risques* exigent que différents niveaux de probabilité et d'impact des risques soient définis. Les définitions générales des niveaux de probabilité et d'impact sont adaptées à chaque projet pendant le processus *Planification du management des risques* afin d'être utilisées dans le processus *Analyse qualitative des risques*.



**Figure 21.1 : Exemple de structure de découpage des risques**

- Matrice de probabilité et d'impact. Les risques sont classés par priorité en fonction de l'incidence qu'ils peuvent avoir sur l'atteinte des objectifs du projet. L'approche habituelle pour hiérarchiser les risques consiste à utiliser une table de conversion ou une matrice de probabilité et d'impact. Les combinaisons spécifiques de probabilité et d'impact qui conduisent à évaluer un risque comme ayant une importance « fort », « modérée », ou « faible » sont habituellement fixées par l'organisation, la même importance étant alors affectée à ce risque pour planifier les réponses aux risques.
- Tolérances révisées des parties prenantes. Les tolérances des parties prenantes peuvent être révisées dans le processus Planification du management des risques selon la manière dont elles s'appliquent au projet en question.
- Formats des rapports. Ils décrivent le contenu et le format du registre des risques ainsi que de tous autres rapports nécessaires sur les risques. Ces formats définissent comment les résultats des processus de management des risques seront documentés, analysés et communiqués.
- Suivi. Le suivi documente comment toutes les facettes des activités concernant les risques sont enregistrées pour servir au projet actuel, aux besoins futurs et aux leçons apprises.

Il précise si les processus de management des risques seront soumis à un audit, et de quelle manière.

# Chapitre 1 :



Les activités de planification sont sans doute les plus difficiles et les plus critiques pour le chef de projet : en effet, à partir de son estimation initiale, il engage son équipe, son organisation, son client... et lui-même.

### 1. Définition

- Planification

La planification des projets consiste à déterminer logiquement l'ensemble des tâches à effectuer au cours d'un projet.

#### 1.1. pourquoi planifier ?

- Un plan est avant tout un outil d'aide à la décision. Le plan initial éclaire les décideurs sur l'investissement à engager : ce que le projet va coûter, la date à laquelle on disposera du produit final, la façon dont, grossièrement, va se dérouler le projet, les personnes qui vont y être associées... Du plan peuvent dépendre d'autres activités : la fixation d'objectifs commerciaux, le vote d'un budget, la communication sur le nouveau produit, le plan de formation, la future organisation des utilisateurs, l'exploitation du produit...
- Un plan rassure : il donne un cadre de référence pour avancer. Imaginons un automobiliste en partance pour Marseille depuis Paris : il sait a priori s'il va passer par Lyon ou Clermont-Ferrand, il a estimé la durée et le coût indicatifs de son parcours, en fonction de son choix de prendre l'autoroute ou la route nationale. Il est en mesure de donner son heure d'arrivée approximative. Mais son plan de route n'est pas figé : si, sur son chemin, il rencontre des embouteillages, il pourra suivre un itinéraire de délestage ; s'il ressent de la fatigue, il pourra décider de faire une halte à mi-parcours et de reprendre la route le lendemain.
- Le plan, avec les échéances principales, permet au client de programmer ses actions futures en fonction des dates de livraisons prévisionnelles et de planifier sa disponibilité pour les tests ou les validations.
- Enfin, il rassure la hiérarchie sur les modalités de conduite de projet et prépare la gestion des ressources et les modalités de contrôle.
- Dans une démarche prédictive, il « rassure », parce qu'on demande au chef de projet de s'engager sur ce plan, permettant ainsi à chacun de s'y référer si besoin.
- Un plan est un outil de pilotage : grâce à ce « plan de vol », le chef de projet met en place les instruments de mesure qui l'aideront à savoir si le projet avance dans de bonnes conditions pour atteindre l'objectif. Si, d'aventure, le plan initial n'est pas bon, il fait précisément ressortir les écarts qui nécessiteront de lancer des actions correctives (prédictif) ou d'apporter des adaptations (agile). L'élaboration du plan permet de poser un certain nombre de questions, par exemple sur les technologies ou le processus utilisés, ou encore le profil des collaborateurs, et par conséquent d'identifier des risques potentiels, non détectés au départ.
- Un plan est un support de communication : le plan donne les moyens de discuter, de négocier le périmètre, les coûts, les délais et les engagements des uns et des autres. Il donne à toutes les parties prenantes une visibilité sur la prospective du projet ; s'y référer donnera une visibilité sur son (bon) déroulement.

Pourtant, Dwight David Eisenhower n'a-t-il pas dit : « Les plans ne sont rien ; c'est la planification qui compte. » ?

Sans plan, personne ne sait quand ni comment l'objectif sera atteint ; les dates ne sont ni précises ni respectées par la suite ; la gestion est approximative, les décisions souvent prises dans l'urgence ; les ressources ne sont pas efficacement allouées ; les engagements ne sont pas fixés ni honorés, les budgets sont dépassés. Au final, le client n'est pas satisfait et le projet risque d'échouer. La question n'est donc pas de savoir si l'on établit ou pas un plan, mais : « Quelle stratégie de planification doit-on adopter ? » et « Comment mettre en œuvre cette stratégie de planification ? ».

Les réponses à ces deux questions sont précisément très différentes, selon que l'on suit une approche classique ou une approche agile.

### 1.2. Définir sa stratégie de planification

La vision présentée précédemment résume le problème, le besoin, l'orientation générale du projet, en précisant là où nous sommes et là où nous voulons aller.

Les deux étapes suivantes consistent, d'une part, à évaluer les moyens, c'est-à-dire l'enveloppe globale du projet pour atteindre l'objectif et, d'autre part, à planifier « le chemin », les étapes, pour y parvenir.

Quelle que soit l'approche adoptée, la première étape est incontournable parce que nous devons définir un budget ; celui-ci sera négocié, adapté... mais il reste un élément fondamental pour notre hiérarchie ou nos clients qui décident et arbitrent des budgets de moins en moins disponibles. Les techniques sont diverses, plus ou moins scientifiques, mais présentent toutes un intérêt selon le contexte du projet.

La seconde étape est différente selon l'approche adoptée : l'une, très prédictive, considère le plan initial comme la référence qui est aussitôt détaillée pour constituer un engagement de l'équipe ; l'autre, plus empirique, donne au plan initial une valeur moins contractuelle ; c'est une base qui sera affinée au fur et à mesure de l'avancement du projet.

## 2. Les approche de planification

### 2.1. L'approche prédictive : tout planifier au début

Des efforts considérables sont souvent déployés pour établir un plan aussi détaillé que possible incluant les activités, leur séquençement, leur durée, leur coût. Dans cettedémarche, on considère que plus grande est la maîtrise du travail à effectuer, du temps et des ressources, plus le succès du projet est assuré ; le succès se mesurera, en effet, à la conformité du résultat au plan initial : une fois tous les éléments intégrés au plan, ceux-ci ne doivent, si possible, plus bouger. Le chef de projet dédiera une bonne part de sontemps au respect et à la mise en œuvre de ce plan, et il combattra la résistance à toutchangement.

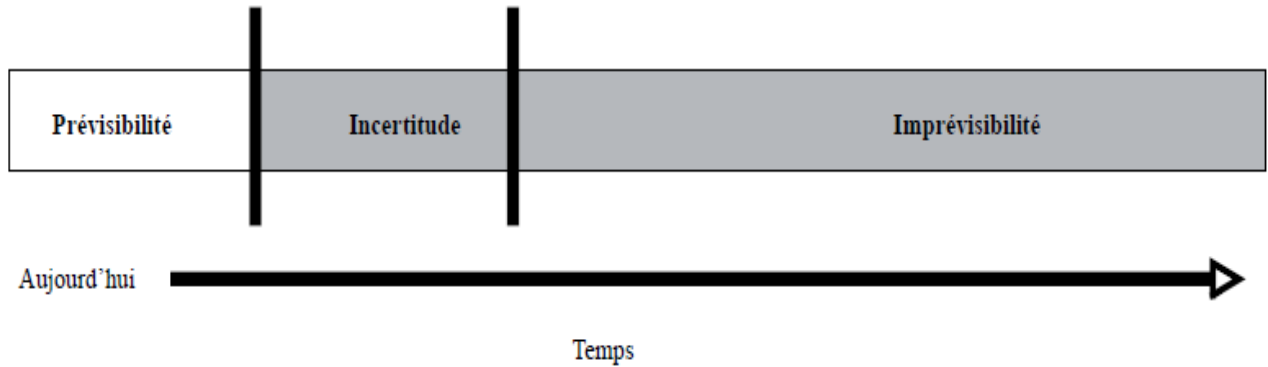
Plus modérément, comme rien ne se passe jamais exactement comme on l'a prévu, le plan peut être mis à jour, en tenant compte des analyses régulièrement faites sur l'avancement du travail réalisé et des projections sur le travail qui reste à faire, ou encore d'un changement pouvant intervenir dans l'environnement du projet : technologie, finance, concurrence, stratégie de l'entreprise...

Même dans un cycle traditionnel, on ne fait pas un planning détaillé pour tout le projet mais seulement un planning directeur des phases et un planning détaillé de la phase qui suit. En revanche, on cherche bien à figer tout le besoin au plus tôt.

### 2.2. L'approche adaptative : planifier au fil de l'eau

On a vu que dans une approche classique le projet est un « monolithe ». Dans une approche agile, le projet est envisagé comme une évolution permanente face aux incertitudes, aux contingences du projet, au feedback souhaitable du client.

Considérant que l'horizon est plus ou moins prévisible, une zone de bonne prévisibilité s'étale de quelques heures environ à un mois au maximum ; au-delà, la prévisibilité devient incertaine, puis totalement impossible.



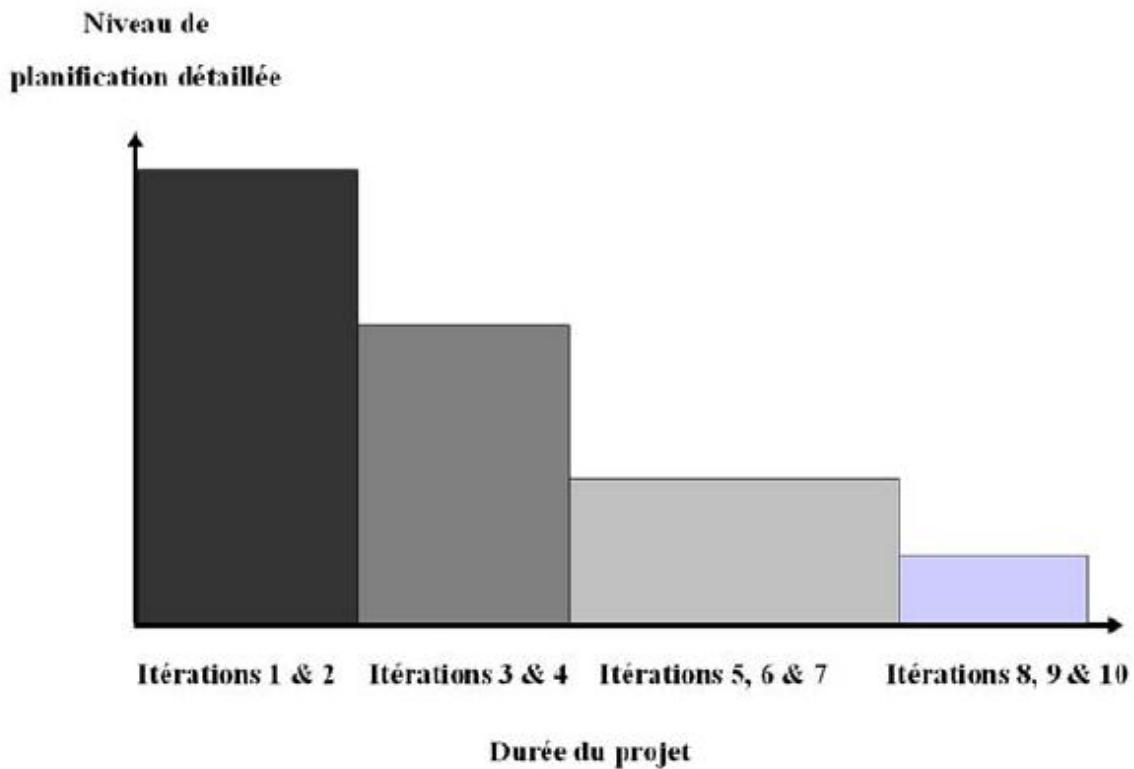
**Figure 1.2 : La ligne de prévisibilité**

Fort de ce constat, comment établir un plan détaillé fiable en n'ayant qu'une visibilité partielle voire nulle au-delà d'un certain seuil ? Beaucoup de temps risque d'être consacré à un plan hypothétique et spéculatif qu'il faudra inévitablement mettre à jour.

Le chef de projet doit donc accepter cette incertitude et le fait de ne pas pouvoir tout

- prévoir ; son humilité face à l'inconnu lui donne conscience que l'apprentissage et la maîtrise du projet seront croissants avec l'avancement du projet ; la fiabilité des estimations augmentera avec les enseignements tirés des premières itérations.

Dans ces conditions de visibilité réduite à court terme, le principe de développement itératif prend toute sa valeur : on avance pas à pas, on ne planifie que l'étape à venir et, en fonction des résultats de cette étape et des enseignements tirés, on planifiera l'étape suivante.



**Figure 2.2 : planification au fil de l'eau**

Cette approche par étapes présente l'avantage de ne consacrer l'effort de planification qu'à l'étape qui démarre, sans perte inutile de temps pour élaborer un planning détaillé à long terme totalement hypothétique.

En résumé, dans un projet agile, on considère que l'on a une enveloppe préliminaire et qu'à partir de là, plusieurs stratégies de développement sont possibles : achat de progiciel, recours partiel ou total à la sous-traitance, équipes parallèles. Lorsque le budget est consommé, on arrête les développements, mais le client a un produit fini, peut-être incomplet, mais qui comprend les fonctionnalités les plus importantes.

Quelle que soit la stratégie adoptée dans la mise en œuvre de la stratégie de planification, l'estimation globale d'une enveloppe est indispensable.

### **3. Définir une enveloppe globale**

L'estimation de l'enveloppe globale est déterminante, en premier lieu, dans les phases préalables, pour évaluer l'opportunité de démarrer ou pas le projet et en second lieu pour donner un cadre général à une planification plus détaillée.

La planification d'un projet débute par une estimation globale, et ce, quelle que soit l'approche retenue. Ce sont les techniques utilisées qui varient.

#### **3.1. Avec une démarche prédictive**

##### **3.1.1. Une démarche en trois étapes**

La démarche se déroule généralement en trois étapes : l'estimation de la taille du projet, la prise en compte de ses spécificités et l'estimation de la charge.

C'est la formule retenue par Steve McConnell, « Count, Compute, Judge », dans son ouvrage sur les techniques d'estimation.



- Estimer la taille

Estimer la taille du projet, c'est lui donner un dimensionnement approximatif, d'autant moins précis qu'au départ, les besoins exprimés sont eux-mêmes rarement précis ; on voit même le cas où l'on demande de fournir une estimation initiale à partir d'un simple briefing ou d'une brève conversation, qui aura, de surcroît, valeur contractuelle !

Le réflexe est de procéder par analogie, c'est-à-dire en se référant à un projet similaire, comparable en taille ou bien de faire appel au jugement d'un ou plusieurs experts, des approches assez empiriques, mais l'on peut également s'appuyer sur des techniques plus « Scientifiques », celles-ci sont basées sur la capitalisation des données de projets précédents (s'ils existent) et la quantification des composantes du produit à développer : le nombre de classes, le nombre d'écrans, le nombre de pages, le nombre de tables, le nombre de fonctionnalités ou de fonctions, le nombre de cas d'utilisation... qui seront ensuite convertis en unités abstraites, des points.

Ce nombre de points donne une indication de la taille du projet. C'est le « Count » de McConnell.

- Prendre en compte les spécificités du projet

Estimer la charge de deux projets identiques en taille n'aboutira évidemment pas au même résultat.

Chaque projet a un contexte différent, des ressources plus ou moins expérimentées, des exigences plus ou moins contraignantes, des facteurs techniques et d'environnement qui vont influencer sur l'enveloppe finale.

Voilà pourquoi ces éléments contextuels sont des facteurs d'influence à prendre en compte dans la démarche d'estimation pour ajuster le nombre de points déterminés précédemment. Une bonne analyse des risques aura été préalablement menée pour enrichir la démarche.

- Estimer la charge

Après avoir déterminé la taille du projet et identifié les facteurs d'influence, il s'agit d'estimer la charge, c'est-à-dire la quantité de travail à fournir pour livrer le produit final.

Exprimée en jours/homme (autrement dit, l'équivalent du travail effectué par une ressource en une journée), elle est indépendante de la durée du projet.

### Attention

Ne pas confondre charge et durée. Si l'effort nécessaire pour une tâche est estimé à 5 jours/homme, sa durée peut varier selon le nombre de ressources affectées à cette tâche : 5 jours si une seule personne travaille à plein temps, 1 jour si 5 personnes travaillent en parallèle le même jour sur cette tâche, deux semaines si une seule personne y travaille à mi-temps.

Le calcul de la charge à partir de la taille du projet s'appuie essentiellement sur les données capitalisées sur les précédents projets et sur des modèles disponibles, dont les algorithmes prennent en compte la taille et les facteurs d'influence. Ces modèles sont fournis par des méthodes comme : Cocomo, Points de fonctions, Points de cas d'utilisation... dont les principes généraux sont décrits ci-après. C'est le « Compute » de McConnell.

### 3.1.2. Choisir sa technique d'estimation

Plus ou moins scientifiques, les techniques de macro-estimation sont, pour certaines, anciennes, et s'appliquent précisément pour calculer cette estimation initiale.

### 3.1.2.1. La méthode Cocomo

Cocomo est un acronyme de CONstructiveCOstMOdel, méthode d'estimation développée par Barry Boehm.

Le principe en est de calculer l'effort nécessaire en fonction du nombre de lignes de code (taille) et de la productivité des ressources (facteurs d'influence). Avec l'avènement des nouvelles technologies et de la réutilisation des composants est apparue Cocomo2, méthode mieux adaptée qui propose deux modèles à utiliser, l'un avant de connaître l'architecture définitive, l'autre une fois l'architecture générale définie. Cocomo2 utilise également comme donnée d'entrée les points de fonction (voir ci-après).

Les facteurs d'influence sont classés par catégorie : facteurs d'échelle, urgence, flexibilité de développement, risque, cohésion d'équipe et maturité du processus. Cocomo est la référence en matière d'estimation, mais reste assez complexe à mettre en œuvre. Basée sur le nombre de lignes de code, on comprend aisément que ce concept ne soit pas parlant pour les utilisateurs, et donc ne facilite pas les discussions et les négociations ; en outre, il est difficile d'utiliser cette unité dans le cas de nouvelles applications et de les comparer avec d'autres applications précédemment développées avec différents langages, le cas échéant.

Comme alternative au nombre de lignes de code, elle peut également prendre en données d'entrée le nombre de points de fonction.

### 3.1.2.2. La technique des points de fonction

Mise au point à la fin des années 1970 chez IBM, cette méthode est indépendante des technologies et langages utilisés ; elle a vocation à mesurer la taille des projets d'un point de vue strictement fonctionnel, celui de l'utilisateur.

#### ➤ Calcul de la taille du projet

Pour calculer la taille d'un projet et obtenir un nombre de points de fonction non ajustés ou bruts (Gross Function Points, GFP), il convient de recenser toutes les fonctions attendues :

- Les fonctions entrées : une fonction entrée introduit de nouvelles données dans le système (exemple : saisie d'une nouvelle commande).
- Les fonctions sorties : une fonction sortie est une fonction dont le résultat est une restitution de données calculées (exemple : consultation du chiffre d'affaires cumulé par client).
- Les fonctions interrogations : une requête, sans calcul de données (exemple : affichage d'une commande), est une fonction interrogation.
- Les fonctions interface : les fonctions interface recensent les fonctions d'échange de données en import ou en export avec d'autres systèmes externes.

Une fois cette liste de fonctions établie, les données logiques – les entités participantes – qui sont créées, utilisées ou gérées par le système, sont également recensées.

Chaque fonction ou entité est qualifiée en termes de complexité (faible, moyenne, haute) ; à chaque type de fonction est associé un nombre de points, selon son niveau de complexité.

Type fonction	Degré de complexité		
	Faible	Moyen	Haut
Entrée	3	4	6
Sortie	4	5	7
Interrogation	3	4	6
Interface	5	7	10
Données logiques	7	10	15

**Tableau 1.2 : nombre des points de fonction par type de fonction et niveau de complexité**

En additionnant le nombre de points de fonction pour chaque combinaison fonction/ niveau de complexité, on obtient ainsi un nombre global de points de fonction bruts (GFP).

➤ Prise en compte des facteurs d'influence

Le principe de l'étape suivante est de pondérer le nombre de GFP par la prise en compte de quatorze paramètres d'environnement en fonction de leur influence ; le degré d'influence est valorisé entre 0 et 5 :

- communication entre les données ;
- traitements distribués ;
- performance requise ;
- intensité d'utilisation du matériel ;
- taux de transaction ;
- mise à jour interactive ;
- convivialité d'exécution ;
- mise à jour en temps réel ;
- complexité des traitements ;
- réutilisation du code ;
- facilité d'installation ;
- facilité d'exploitation ;
- multisites ;
- flexibilité.

Afin de déterminer le nombre de points de fonction ajustés ou nets (Net Function Points, NFP), on prend en compte un facteur d'influence global (Influence Coefficient, IC) calculé selon la formule :

$$IC = 0,65 + [0,01 * \text{Somme}(14 \text{ valeurs des facteurs})]$$

Et l'on en déduit :

$$NFP = GFP \times IC$$

➤ Calcul de la charge du projet

Le calcul de l'effort de développement (ED) s'obtient grâce au nombre d'heures (NH) que prend le développement d'un point de fonction ; ce chiffre a été déterminé précédemment, à l'issue d'un projet achevé. Sa valeur, c'est-à-dire le nombre d'heures nécessaires pour la conception, l'implémentation et le test, est variable selon la taille ou l'expérience de l'équipe et son environnement de développement ; c'est à chacun, à partir des données capitalisées sur des projets achevés, de déterminer ce nombre (entre 6 et 12). En multipliant la valeur du point par le nombre de points, on obtient la charge globale.

$$ED = NFP \times NH$$

Largement documentée, la méthode des points de fonction est aujourd'hui devenue un standard supporté par l'International Function Point Users Group (IFPUG). Elle nécessite toutefois quelques jours de formation pour une bonne prise en mains.

L'avantage de cette méthode est qu'elle analyse les fonctionnalités à un niveau de granularité plus fin que la méthode des cas d'utilisation, décrite ci-après, et peut donc être utilisée en relais, lorsque les activités d'analyse et conception sont bien avancées, pour fiabiliser l'estimation globale. Elle nécessite toutefois un dénombrement des entités, des fonctions et des interfaces, autrement dit un travail préalable assez avancé ; par exemple, sur un projet d'une durée de deux à trois ans, la charge nécessaire pour déterminer l'enveloppe globale a représenté de quinze jours à un mois.

### 3.1.2.3. La technique des points de cas d'utilisation

Dérivée de la méthode des points de fonction, elle a été mise au point en 1993. Basée sur la même démarche décrite précédemment, elle permet de calculer l'effort nécessaire à l'implémentation des cas d'utilisation (UC) recensés sur un projet.

#### ➤ Calcul de la taille du projet

Pour évaluer la taille du projet, deux éléments sont à prendre en considération : la complexité des UC eux-mêmes et la complexité de l'interface dont les acteurs sont dotés pour déterminer un nombre de points de cas d'utilisation non ajustés (Unadjusted Use Case Points, UUCP)

Chaque UC se voit associer (tableau 10) un nombre de points en fonction de sa complexité, qui se définit selon le nombre de transactions contenues dans les différents scénarios (une transaction est une étape de l'UC ou un événement).

Complexité de l'UC	Nombre de transactions	Poids (en points)
Simple	3 ou moins	5
Moyenne	Entre 4 ou 7	10
Haute	Plus de 7	15

**Tableau 2.2 : Complexité des UC**

La somme des poids affectés à chaque UC constitue le poids des UC non ajustés (Unadjusted Use Case Weight, UUCW).

Chaque acteur impliqué dans un UC – qu'il s'agisse d'une personne, d'un programme ou d'un autre système –, doit être qualifié en fonction de la complexité de son interface (tableau 11).

Type d'acteur	Type d'interface	Poids (en points)
Simple	Autre système via API	1
Moyenne	Autre système via protocole Personne via interface texte	2
Haute	Personne via interface graphique	3

**Tableau 3.2 : complexité des acteurs**

La somme des poids affectés aux différents acteurs donne le poids des acteurs non ajustés (UnadjustedActorWeight, UAW).

À ce stade, nous disposons des deux paramètres pour évaluer le nombre de points de cas d'utilisation non ajustés, UUCP :

$$UUCP = UUCW + UAW$$

➤ Prise en compte des facteurs d'influence

Treize facteurs techniques et huit facteurs d'environnement sont à considérer pour évaluer le contexte du projet. Le principe en est, là encore, d'évaluer chaque facteur en fonction de sa pertinence dans le projet, sur une échelle de 0 (non pertinent) à 5 (très important) :

Facteurs techniques	Facteurs d'environnement
Système distribué	Maîtrise du processus de développement
Objectifs de performance	Maîtrise du domaine fonctionnel
Efficacité élevée d'utilisation en ligne pour l'utilisateur	Expérience des technologies objet
Traitement interne complexe	Forte capacité de l'analyste
Réutilisabilité du code	Motivation de l'équipe
Facilité d'installation	Stabilité des exigences
Ergonomie générale	Membres de l'équipe à temps partiel
Portabilité	Complexité du langage de programmation
Simplicité, évolutivité	
Application multithread concurrente	
Exigences de sécurité	
Accès direct offert à d'autres systèmes	
Nécessité d'un système d'aide pour la formation des utilisateurs	

**Tableau 4.2 : les facteurs d'influence**

Le facteur technique global (TechnicalComplexity Factor, TCF) est calculé ainsi :

$$\text{TCF} = 0,6 + [0,01 \times (\text{somme des 13 valeurs des facteurs})]$$

Le facteur d'environnement global (EnvironmentalComplexity Factor, ECF) est calculé ainsi :

$$\text{ECF} = 1,4 + [-0,03 \times (\text{somme des 8 valeurs des facteurs})]$$

Pour obtenir un nombre de points de cas d'utilisation ajustés (Use Case Points, UCP), il suffit d'appliquer au nombre de points de cas d'utilisation non ajustés, calculés préalablement, les facteurs d'influence déterminés précédemment :

$$\text{UCP} = \text{UUCP} \times \text{TCF} \times \text{ECF}$$

### ➤ Calcul de la charge du projet

La méthode propose un facteur de productivité (Productivity Factor, PF) de 20 heures par point de cas d'utilisation, mais peut varier entre 15 et 30 selon le niveau global de complexité du projet ; là encore, il convient d'analyser les projets achevés et de déterminer, dans chaque organisation, le ratio entre le nombre de points de cas d'utilisation et les heures consommées réellement pour tous les implémenter.

Elle propose également de déterminer un coefficient (CM) correspondant au management de l'équipe selon sa taille : 1 si l'équipe est réduite à une personne, 1,1 si elle est comprise entre 3 et 5 personnes, 1,2 si elle est comprise entre 6 et 10 personnes...

On peut alors en déduire l'effort de développement (ED) :

$$\text{ED} = \text{UCP} \times \text{PF} \times \text{CM}$$

Exemple :

UCP estimé : 180 points

PF : 28, compte tenu de la complexité globale du projet

CM : 1,2 car on dispose d'une équipe de 9 personnes

ED =  $180 \times 28 \times 1,2 = 6\,048$  heures, soient 864 jours/homme, en considérant que les ressources travaillent réellement 7 heures par jour.

Si cette méthode est recommandée par le Processus unifié, dont l'une des six bonnes pratiques est le développement piloté par les cas d'utilisation, elle suppose que le modèle des UC soit créé tôt dans le projet. Et cela peut représenter un travail préalable important, reportant d'autant le démarrage des développements, ce qui n'est pas compatible avec l'esprit agile. Cependant, une itération 0 ou une phase d'exploration (XP) peuvent être dédiées à l'estimation de cette enveloppe globale.

Elle suppose, en outre, une granularité homogène des UC, pas toujours obtenue d'un projet à l'autre, notamment si plusieurs rédacteurs procèdent à leur description.

### 3.2. Avec une démarche agile

Nuancée par rapport aux méthodes présentées ci-après, une démarche agile ne corrèle pas l'estimation de la taille et le calcul de la charge ; en effet, prudemment, puisqu'on ne connaît pas la vitesse de l'équipe, on calcule un nombre de points abstrait et on calibre arbitrairement une vitesse ; ce n'est qu'ensuite, après les premières itérations, que l'on calculera les charges restantes avec une vitesse mieux maîtrisée.

### 3.2.1. La technique des story point

La technique des story points présente une méthode relative : les story points sont une unité de mesure de la taille d'une user story ; ce qui est important c'est sa valeur relative plus que sa valeur absolue. Cela signifie que si une story A vaut 5 points et une story B vaut 10 points, B nécessite le double d'effort pour être développée.

La somme des points de toutes les stories nous donne une estimation de la taille globale du projet, même si elles ne sont encore que grossièrement détaillées. Et, ce qui compte, c'est la comparaison de deux stories ou le poids d'une story dans l'ensemble.

Comment évaluer le nombre de points par story ?

On sélectionne la story qui semble la plus petite et on lui affecte un poids de 1 ; il s'agit, ensuite, d'estimer le poids des autres stories en leur affectant un nombre allant de 1 à 10, par comparaison avec la première (la story B vaut le double ou le triple de la story A, etc.).

On peut aussi se référer à la suite de Fibonacci(1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55...), si l'on considère que l'effort nécessaire ou la complexité augmente plus rapidement que la taille de la story.

Chaque équipe doit définir son échelle de valeur, qui peut varier selon la granularité des stories, qui s'affinent au fur et à mesure.

Il faut ensuite convertir ce nombre de points abstrait en jour. Pour cela, il s'agit de connaître la productivité de l'équipe ; on dénomme cette productivité la *vélocité*, qui est la somme des story points qu'une équipe est capable de développer durant une itération; si l'équipe a une *vélocité* de 15, elle aura développé trois stories d'une valeur de 5 points ou cinq stories d'une valeur de 3 points.

À la base, la *vélocité* est la charge de travail que peut supporter une équipe dans une itération. À partir du calcul de la *vélocité* de l'équipe, hypothétique au début puis plus réaliste à l'issue d'une première itération, on re-calibre cette *vélocité*.

#### Exemple

Si la taille du projet est estimée à 100 story points et que la *vélocité* de l'équipe est estimée à 10 points pour une itération de deux semaines, on peut en déduire que le projet durera dix itérations de deux semaines, soit vingt semaines.

On peut déduire le nombre d'itérations, et donc la durée du projet, en divisant la taille globale du projet par la *vélocité*.

Cette approche simple fonctionne sur de nombreux projets agiles. La mesure de la *vélocité* présente l'avantage de pouvoir détecter très tôt un retard éventuel si finalement la *vélocité* est plus faible que prévue, sans impacter l'estimation de la taille des stories.

L'estimation de la taille des stories peut, quant à elle, évoluer, avec une connaissance plus approfondie du besoin du client et si elle se révèle plus complexe que prévue. On ajuste l'une indépendamment de l'autre.

Là encore, les données du passé sont essentielles, car elles sont une référence ; si une user story correspond à la création d'un formulaire et que l'on a déjà développé un formulaire d'inscription sur un projet précédent, il sera plus facile de calibrer la taille de cette story, puisqu'on l'a déjà fait ; c'est un point de repère pour réduire les hypothèses.

### 3.2.2. La technique des idealdays

Le temps idéal (ideal time) est le temps nécessaire à la réalisation d'une tâche sans interruption de travail, avec toutes les ressources requises. Le temps écoulé (elapsed time) est le temps réellement constaté sur une horloge ou un calendrier durant la réalisation de la tâche. On constate toujours, en effet, un écart entre ces deux mesures, parce qu'une ressource a,



chaque jour, des tâches additionnelles (répondre à un e-mail ou un appel téléphonique, se documenter, valider une fonctionnalité avec le client...) qui allongent le temps estimé idéalement.

L'estimation de la taille du projet en temps idéal suppose que l'on évalue le nombre d'idéaldays pour développer toutes les user stories, sans qu'aucune interruption ne vienne perturber le travail. Avec la vélocité de l'équipe, on est en mesure de déduire la durée du projet, comme avec la technique des story points.

Cette technique fonctionne sans problème avec une équipe qui se connaît bien et qui a l'habitude de travailler ensemble; sa vertu est que l'on accepte les « surcharges pondérales » non prévues, ces tâches invisibles qui allongent systématiquement le délai et qui ne sont pas toujours prises en compte dans une planification classique.

#### 4. Fiabiliser sa démarche d'estimation

Les estimations résultent d'une démarche plus ou moins empirique qui s'appuie sur différentes techniques, selon l'approche retenue.

Elles forment la base pour des discussions, des négociations, des compromis à faire entre contenu, coût et délai. Mais notre engagement est subordonné à l'exactitude des estimations, qui dépendent de la qualité des données d'entrée (clarté du besoin, vélocité de l'équipe, facteurs de risques...), des données capitalisées et comprenant une part inéluctable de subjectivité. L'estimation exacte ne sera définitivement connue qu'à la fin du projet !

Et pourtant, ceux à qui s'adressent ces estimations acceptent difficilement leur inexactitude, sans comprendre que le développement logiciel est un cheminement heuristique.

Alors, faut-il consacrer un effort important aux estimations ? On constate, comme l'illustre la figure 16, qu'il n'y a pas de corrélation systématique entre le temps consommé sur les estimations et la qualité de ces estimations.

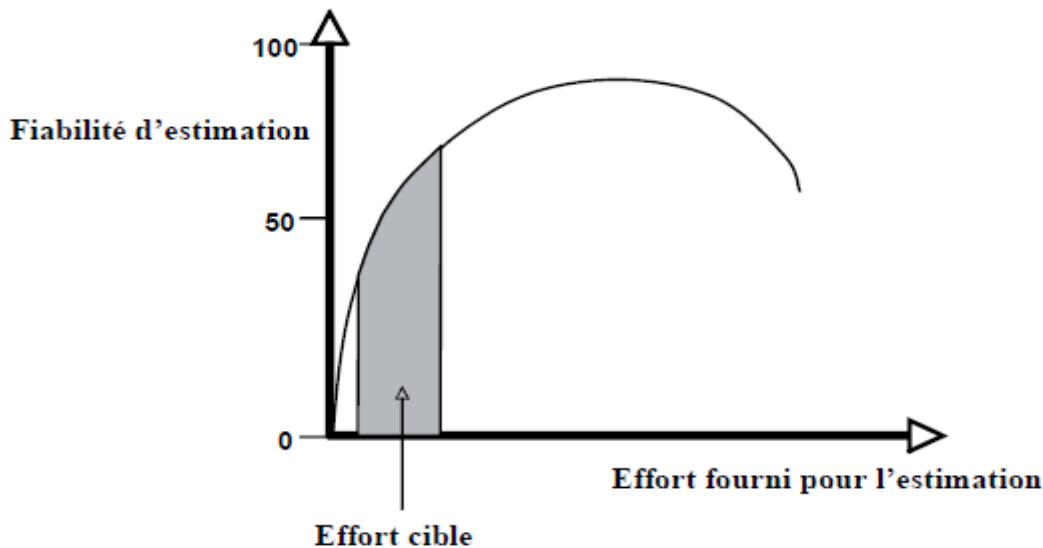


Figure 3.2 : effort fournie pour l'estimation et fiabilité des estimations

On constate sur ce schéma, d'une part, que la fiabilité totale de l'estimation n'est jamais atteinte, quel que soit l'effort fourni, d'autre part, qu'avec un effort limité, on peut atteindre un niveau de fiabilité satisfaisant (plus de 50 %). La fiabilité peut même décroître avec un effort trop important !



En acceptant l'incertitude, les équipes agiles privilégient l'effort pour produire régulièrement des versions intermédiaires de l'application, et ainsi fiabiliser leurs estimations, basées sur le retour d'expérience. Elles considèrent l'estimation initiale comme une enveloppe, à partir de laquelle on peut se mettre d'accord sur un coût et un délai ; sur la base de cette enveloppe, on adapte le contenu au fil des itérations en fonction de ce qu'il est pertinent de développer.

Pour compenser cette incertitude, on peut tenter de fiabiliser l'estimation, en adoptant une démarche collaborative ; les estimations ne doivent pas reposer sur les épaules d'un seul expert. Et elles doivent, de préférence, être effectuées par l'équipe qui réalisera les développements. La pratique collaborative, présentée ici, facilite les travaux d'estimation : c'est celle de la Wide Band Delphi, renvoyant par ailleurs au « Judge » de McConnell.

### 4.1. La Wide Band Delphi (WBD)

Indépendamment de la technique d'estimation utilisée, il est fortement recommandé de recourir à la démarche WBD.

Trois experts sont réunis et se voient confier l'estimation d'un projet, d'une itération ou d'un lot fonctionnel ; le client, présent si possible, décrit son besoin et répond aux questions des experts. Puis chacun procède individuellement à son estimation, en utilisant la technique qu'il souhaite. À l'issue du temps alloué, les parties se retrouvent pour mettre leurs résultats en commun : un facilitateur recueille anonymement chaque estimation et publie une moyenne des valeurs collectées. Chaque expert positionne et compare son estimation avec la moyenne. Une discussion s'engage alors entre les experts sur les hypothèses de chacun, les expériences sur les technologies ou projets similaires, les options retenues... dans le but de faire émerger l'estimation la plus fiable, qui prendrait en compte le maximum d'éléments objectifs. À la fin de la discussion, chaque expert, influencé ou pas, convaincu ou pas par les arguments de ses pairs, procède à une nouvelle estimation ; la moyenne de cette nouvelle estimation est, à nouveau, mise en commun par le facilitateur au cours d'un deuxième round. Au final, au terme de deux ou trois sessions, si nécessaire, le modérateur applique aux dernières valeurs recueillies, la formule suivante :

$$[P + (4 \times I) + O] / 6$$

Où P = estimation pessimiste, I = estimation intermédiaire, celle considérée comme la plus probable, et O = estimation optimiste, pour obtenir l'estimation la plus représentative et la plus consensuelle.

### 4.2. Application numérique

Estimons le trajet domicile/travail pour un collaborateur : cela lui prend en général entre 30 et 45 minutes, mais il arrive que, certains jours, 20 minutes suffisent. L'estimation la plus fiable de la durée de son trajet est :

$$[45 + (4 \times 30) + 20] / 6 = 31 \text{ minutes}$$

Cette démarche présente l'avantage d'apporter un éclairage différent selon l'expérience de chacun, proposant donc une approche différente du projet à estimer ; elle est consensuelle et favorise la convergence vers l'estimation la plus fiable. Elle intègre au final le feeling et l'expérience des personnes. Elle démontre que l'intelligence du groupe est supérieure à la somme des intelligences individuelles et que le partage d'informations fiabilise l'estimation. (C'est le principe de « la sagesse des foules », the Wisdom of Crowds.)

Une fois le projet ou l'itération estimée (e) en charge, il s'agit de planifier. Ce qui caractérise une démarche de planification classique, c'est que le planning est basé sur les travaux à réaliser, à la différence des méthodes agiles, qui organisent, pour leur part, la planification autour des fonctionnalités.

### 5. Planifier avec une démarche prédictive

Une démarche classique, prédictive, s'organise autour de sept étapes

#### 5.1. Estimer le délai

Là encore, l'expérience et les informations capitalisées donnent une référence pour déduire la durée d'un projet à partir de sa charge. À défaut d'informations disponibles, Steve McConnell propose une formule pour déterminer la durée du projet en mois :

$$\text{Délai en mois} = 2,5 \times (\text{charge})^{*1/3}$$

#### Exemple

Si la charge calculée en mois/homme est de 41, la durée nominale est de  $2,5 \times 41^{1/3} = 8,6$  mois ; si l'on réduit au maximum de 25 %, on obtient une durée minimale de 6,5 mois calendaires.

Certains proposent de faire varier le coefficient entre 2 et 3 ; par son usage et son ajustement à chaque contexte, la formule pourra être appliquée par chaque organisation.

Le délai ainsi obtenu peut bien entendu varier en fonction du nombre de ressources que l'on affecte au projet ; mais ce n'est pas parce que l'on affecte le double de personnes que le projet dure deux fois moins longtemps ! Des tâches incompressibles et une surcharge liée à l'animation de ces ressources supplémentaires doivent être prises en considération.

Steve McConnell préconise de ne jamais réduire la durée de plus de 25 % par rapport au premier résultat calculé.

Dans le cas où le délai est imposé et non négociable (cas de l'application d'une réglementation à échéance fixe, par exemple), si la durée calculée est supérieure au délai disponible, le contenu du projet devra être revu à la baisse, ou c'est la stratégie de développement qui devra être modifiée afin d'acheter sur étagère un composant.

#### 5.2. estimer le coût

Dans le calcul du coût d'un projet rentrent de nombreux facteurs : les charges de réalisation, c'est le coût de la main-d'œuvre auquel il faut ajouter les acquisitions ou locations de matériels et logiciels, les déplacements, les télécommunications, les formations, les frais généraux...

Si l'on ne considère que le coût de la main-d'œuvre, le coût global du projet sera obtenu en multipliant le nombre de jours/homme calculés (voir plus haut paragraphe « Définir une enveloppe globale ») par un taux journalier moyen (TJM), qui équivaut au coût moyen d'une ressource par jour.

$$\text{Coût du projet} = \text{nombre jours/homme} \times \text{TJM}$$

On peut affiner le coût total du projet en utilisant un taux journalier spécifique à chaque profil de ressource, une fois la répartition de la charge par profil effectuée.

### 5.3. Recenser les activités

Dans une démarche classique, c'est la liste des livrables qui permet de construire une structure de découpage du projet (SDP) ; cette SDP subdivise, de façon hiérarchique, le travail du projet en groupes d'activités, actions à mener pour aboutir à un résultat, puis en activités, dont la granularité diminue au fur et à mesure que l'on descend les niveaux de la pyramide. Le résultat des activités correspond aux livrables à produire. Une SDP peut être organisée librement : par phase du projet, par lot fonctionnel ou technique, par zone géographique si le projet concerne plusieurs pays, par unité organisationnelle (département ou service d'une organisation)

Selon le niveau d'avancement du projet et le niveau de connaissances, la précision des activités est variable : le travail à court terme peut être plus détaillé que les activités prévues à long terme

Construire une SDP présente toutefois l'inconvénient de devoir très tôt structurer la stratégie de développement autour de la conception du produit, puis de décomposer les activités à un niveau de détail trop fin. En outre, cette SDP est rarement reproductible d'un projet à l'autre, la capitalisation en est donc difficile

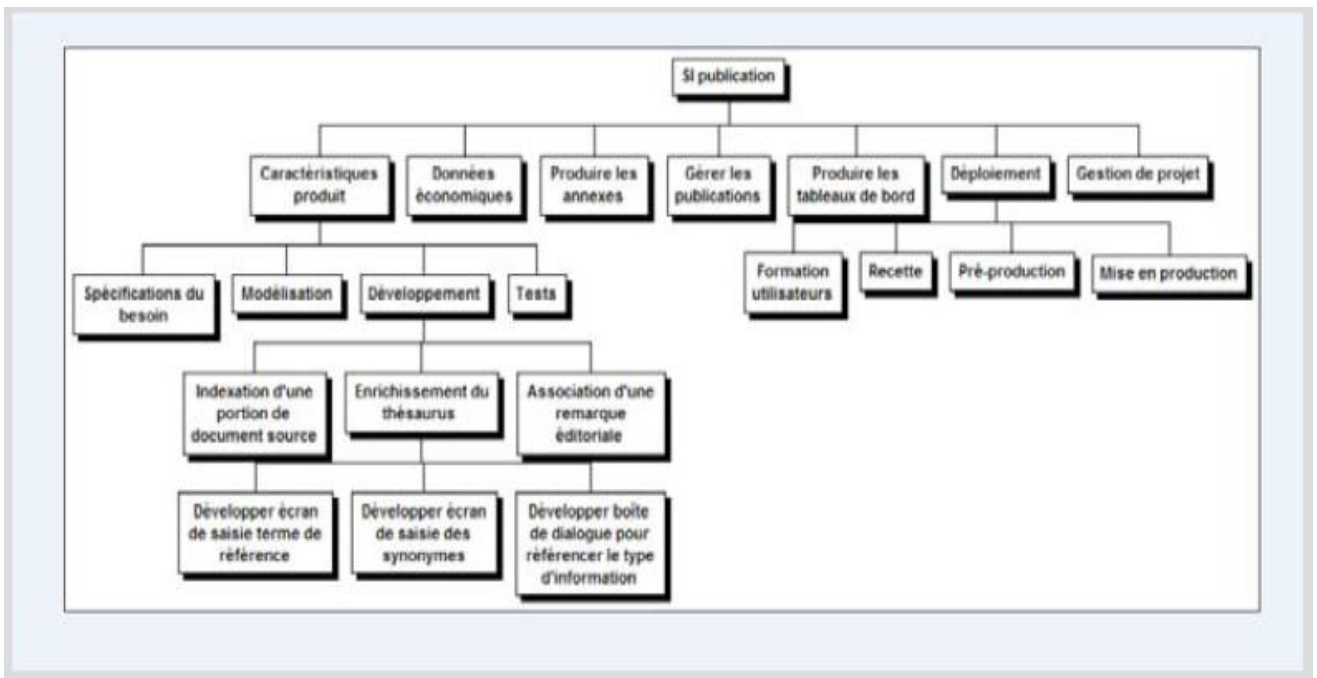


Figure 4.2 : exemple de structure de découpage d'un projet (SDP)

Le processus unifié propose une SDP générique, organisée autour des phases, puis des disciplines et enfin des activités (figure 18). Ainsi, à chaque projet, on retrouve toujours les mêmes phases (inception, élaboration...), les mêmes disciplines (exigences, analyse & conception, implémentation, tests...) : une bonne partie de la SDP est donc réutilisable sur tous les projets, pour un gain de temps et d'efficacité évident. Il peut être intéressant de mener

une réflexion, au niveau d'une organisation, sur la SDP standard applicable à la majorité des projets, plus ou moins allégée en fonction de leur taille.

Phase	Discipline	Activité
<b>Inception</b>		
	Exigences	
	Analyse & Conception	
	Implémentation	
	Test	
	Déploiement	
	Gestion de configuration et des changements	
	Project Management	
		Initialiser le projet
		Organiser l'équipe
		Planifier le projet
		Identifier les risques
	Environnement	
<b>Elaboration</b>		
	Exigences	
	Analyse & Conception	
	Implémentation	
	Test	
	Déploiement	
	Gestion de configuration et des changements	
	Project Management	
		Suivre l'avancement du projet
		Revoir la liste des risques
		Organiser revue
		Planifier l'itération suivante
		Évaluer l'itération courante
	Environnement	
<b>Construction</b>		
<b>Transition</b>		

**Figure 5.2 : exemple d'une SPD générique**

L'exemple est présenté ici sous forme de liste hiérarchique laquelle peut être très facilement reproduite sous forme de SDP, chaque colonne correspondant à un niveau de la hiérarchie.

### 5.4. Calculer la durée des activités

Il s'agit pour chaque activité d'estimer sa durée de réalisation.

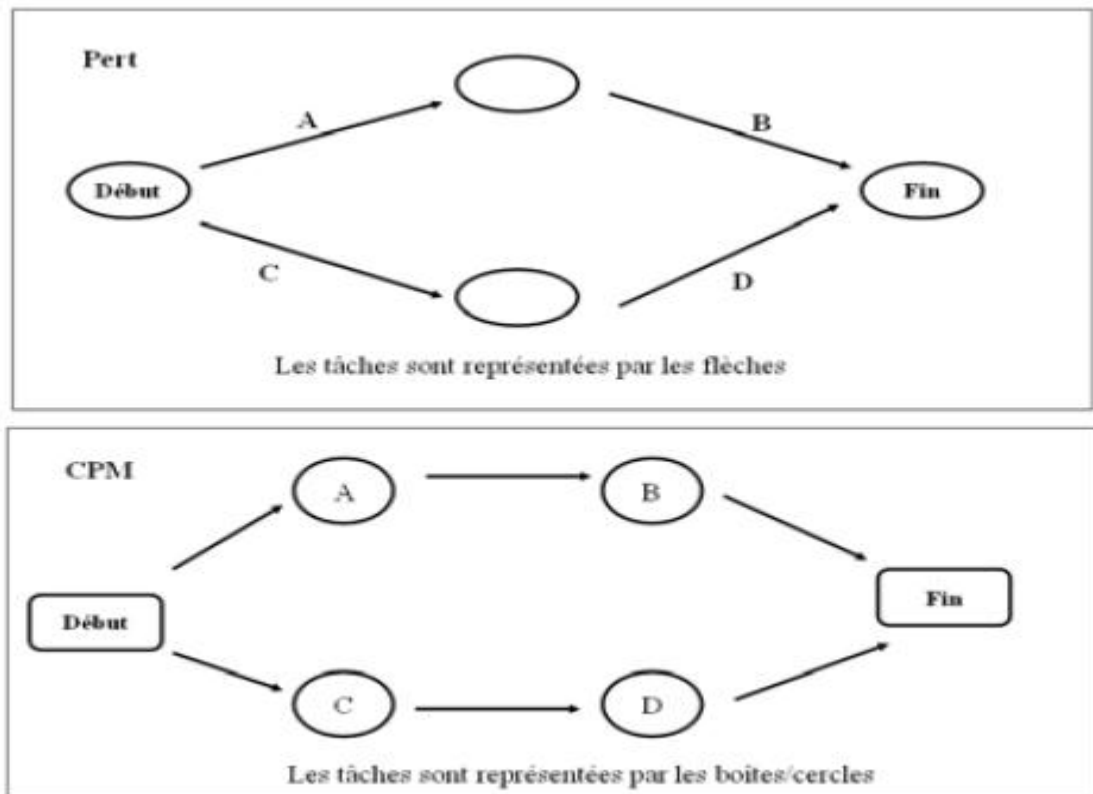
La durée est déterminée en calculant l'effort de travail requis pour réaliser l'activité et la quantité de ressources affectées à sa réalisation. Exemple : estimation de l'effort : 2 jours/homme, durée : 1 jour si deux ressources y sont affectées, et 2 jours si une seule ressource la prend en charge.

Il est important de considérer les activités indépendamment les unes des autres et d'adopter une démarche collaborative, en associant ceux qui vont réaliser le travail. Il peut être utile de garder la trace du raisonnement qui a mené à cette estimation.

### 5.5. Ordonnancer les activités

Une fois les activités identifiées et estimées, elles font l'objet d'un ordonnancement, c'est-à-dire que l'on détermine les relations entre les activités, les unes précédant les autres. Le diagramme de réseau du projet représente visuellement les enchaînements et les dépendances entre les activités ordonnancées.

Deux types de diagrammes de réseau peuvent être mis en œuvre : soit les activités sont représentées par des cases (nœuds) et reliées par des flèches, soit les activités sont représentées par des flèches reliées à des nœuds. La figure 19 illustre ces deux différentes représentations : PERT ou CPM.



**Figure 6.2 : les diagrammes de réseau**

Le diagramme de réseau permet de calculer le chemin critique. On définit le chemin critique comme étant la succession d'activités, sur le réseau, où tout retard pris par une activité entraînera irrémédiablement un retard sur l'ensemble du projet. On définit également le chemin critique comme étant la suite d'activités à marge nulle.

C'est aussi le chemin le plus long et il détermine la durée totale du projet.

### 5.6. Etablir le planning

Lorsque les activités sont identifiées, quantifiées et ordonnancées, il convient de les placer dans un calendrier en traçant un diagramme de Gantt (figure 20).

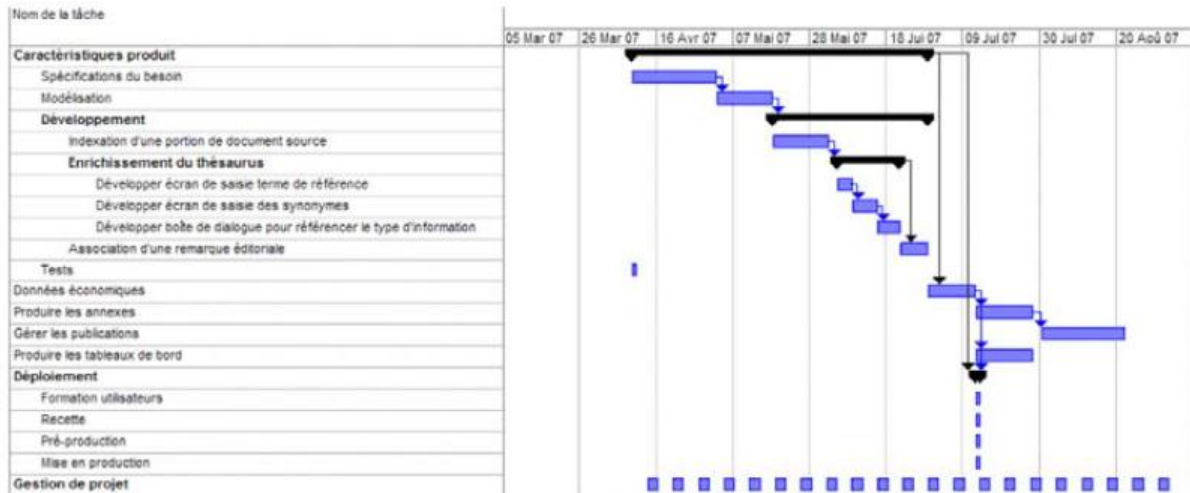


Figure 7.2 : Exemple digramme de Gantt

### 5.7. Ajuster le planning

Si l'on souhaite raccourcir le délai total de réalisation du projet, pour respecter des contraintes ou des dates imposées, on peut envisager de mettre des ressources supplémentaires pour effectuer les activités en un temps réduit ou paralléliser certaines activités.

En tout état de cause, une analyse du diagramme de réseau et des simulations sur sa configuration finale font appel aux compétences techniques et à l'expérience du chef de projet.

Le planning ainsi établi constitue la référence qui servira de base au suivi de l'avancement du projet. Il peut néanmoins être amené à évoluer au fur et à mesure que le travail progresse et que les événements à risque apparaissent ou disparaissent.

Ce planning élaboré a priori, reposant sur des activités, elles-mêmes basées sur les livrables attendus, est considéré comme inadapté par les défenseurs des méthodes agiles : en effet, quel crédit apporter à la mesure d'un avancement qui ne s'appuie pas sur la visibilité de fonctionnalités opérationnelles ? L'avancement du projet se mesure uniquement au nombre d'activités achevées ; or, cela apporte peu ou pas de valeur au client : celui-ci veut voir des fonctionnalités opérationnelles !

Par ailleurs, comment dresser une liste d'activités, et donc définir le « comment faire ? » avant même de connaître en détail le « quoi faire ? ». La réalité de notre métier est que l'on apprend en faisant.

Un autre phénomène est constaté : les activités ainsi planifiées avec une date de début et une date de fin finissent rarement avant l'échéance prévue. C'est la loi de Parkinson, qui indique que le travail s'étend toujours pour occuper tout le temps alloué : ainsi, si une tâche est planifiée pour durer deux jours, implicitement, le collaborateur est autorisé à consommer les deux jours. Il hésitera à finir plus tôt car il risquerait de se voir imposer ensuite la même productivité sur les tâches suivantes.

### 6. Planifier avec une démarche agile

Dans une approche agile, on distingue cinq niveaux de planification, ils correspondent aux différentes étapes qui rythment le projet : établissement de la vision, fixation des jalons, planification d'une release, planification d'une itération, planification quotidienne.

On ne croit pas aux plannings détaillés en amont, au contraire, on s'attache à avoir un niveau de détail adapté à notre niveau de visibilité et de prévisibilité (voir figure 21).

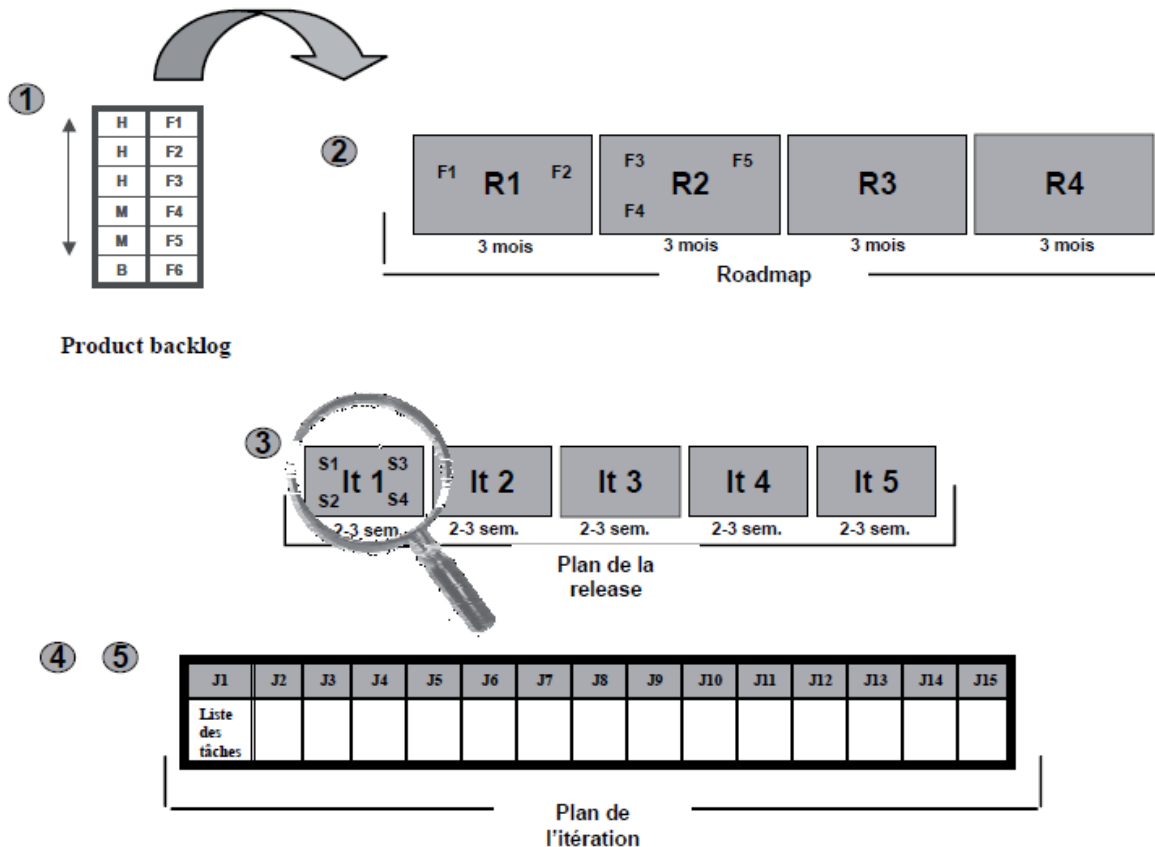


Figure 8.2 : les 5 niveaux de planification agile

#### 6.1. vision du produit ou projet

Il s'agit du niveau de planification global établi à partir de la vision du produit ou d'un productbacklog(liste détailler sur le produit) ; il correspond au plan initial ou enveloppe globale, évoqué précédemment, commun aux deux approches.

La vision indique la ligne d'arrivée.

Dans cette démarche, on veille avant tout à disposer d'une vision et d'un productbacklog (PB) priorisé par le client.

Rappelons que ce PB est la pièce maîtresse du dispositif : c'est le référentiel ou

« File d'attente » contenant les fonctionnalités attendues et toutes les exigences non fonctionnelles.



### 6.2. « roadmap » ou jalon

À l'intérieur de cette zone, entre aujourd'hui et la ligne d'arrivée, on pose des jalons intermédiaires ; l'approche par étapes qui caractérise les méthodes agiles prévoit de livrer des versions successives, en fonction des priorités définies par le client, chaque livraison constituant une release, une version majeure du produit.

Un release peut représenter plusieurs mois de travail (entre trois et six mois). Les fonctionnalités de haut niveau sont ventilées dans les différents releases en tenant compte des contraintes client, des événements marketing, une stratégie de l'entreprise, qui agissent comme un « moule ».

La visibilité à moyen terme est faible, les fonctionnalités sont donc positionnées à titre indicatif dans la roadmap, tout changement pouvant intervenir dans l'ordre de priorité des fonctionnalités du PB, en fonction du client et des résultats des premières itérations.

Les dates à l'intérieur ne sont pas nécessairement fixes ; ce sont les facteurs externes qui vont influencer sur la durée des releases.

### 6.3. plan de la release

Un release se définit par une date de début et une date de fin, un thème et une sélection de fonctionnalités à implémenter. À l'intérieur d'une release, on définit des itérations, auxquelles sont affectées les différentes stories.

Il est en effet souhaitable d'avoir, au cours d'un projet, des itérations de même longueur, afin de rythmer le projet et de faciliter ainsi la planification des réunions ou les validations pour toutes les parties prenantes. En outre, la vélocité, c'est-à-dire le nombre de story points développés par l'équipe au cours d'une itération, ne peut être calculée et réutilisée par l'équipe que sur des périodes comparables.

Planifier un release, cela revient par conséquent à ventiler des fonctionnalités dans des itérations dont la taille a été déterminée. Au préalable, il est souvent nécessaire de préciser ces fonctionnalités, voire de les découper pour les affecter efficacement et logiquement aux itérations ; cette répartition est fonction de la vélocité. Au cours d'une réunion de planification (release planning meeting), les fonctionnalités macroscopiques prioritaires sont alors détaillées en unités plus fines, qui sont estimées en nombre de points, selon leur complexité, et réparties sur les trois itérations de la release, en fonction de la vélocité de l'équipe.

On obtient ainsi le plan de la release (release plan), c'est-à-dire, pour cette première release, le nombre d'itérations, leurs dates de début et de fin, ainsi que les fonctionnalités que l'on envisage d'y développer, après calcul de la vélocité de l'équipe.

Ce plan de la release peut être mis à jour tout au long de la période, essentiellement à la fin de chaque itération, si la vélocité estimée de l'équipe se révèle être erronée ou si le client modifie ses priorités.

En conclusion, à la fin de ces réunions, le chef de projet devrait amener l'équipe à analyser si la réunion a été un succès ou pas : ce qui a bien fonctionné durant la réunion et ce qu'il faudrait changer pour la prochaine réunion. Ces rétrospectives, intégrées à la réunion, aident les équipes à améliorer leur processus de planification.

### 6.4. plan de l'itération

À l'intérieur des jalons de fin et début de l'itération, on définit ce que l'on va y faire. Lorsque l'itération débute, les stories retenues sont détaillées, à leur tour, pour estimer les activités à réaliser. Au sein d'une release, seule l'itération qui débute est planifiée en détail.

Il s'agit, à présent, lors d'une nouvelle réunion de planification (itération ou sprint planning meeting) avec l'ensemble de l'équipe et le représentant du client, de lister les activités



techniques (par exemple, implémenter les composants techniques, faire de la persistance en base de données...), nécessaires pour réaliser les stories affectées à l'itération.

Généralement, dans une première partie de cette réunion, quelques heures sont consacrées à la compréhension des attentes du client et à la définition des critères d'évaluation ; Les stories sont décrites sur des fiches bristol que l'on peut s'échanger et compléter facilement ; ensuite, dans une deuxième partie, l'équipe détaille les travaux à réaliser, recense les activités et estime le temps nécessaire à leur réalisation en heures (idealhours) ou en points.

Si le nombre total de points ainsi calculé correspond à la vélocité estimée de l'itération, l'équipe peut s'engager collectivement auprès du client sur le résultat à atteindre et l'achèvement des activités correspondantes.

À l'issue de cette réunion de planification, l'ensemble de l'équipe dispose d'un sprint ou iterationbacklog, c'est-à-dire un sous-ensemble du productbacklog initial qui ne comporte que les tâches des stories qui seront implémentées dans cette itération. Il résulte de la formalisation des échanges de la réunion qui ont souvent lieu autour d'un tableau blanc et de Post-it. Il est important de noter que dans le productbacklog on liste des fonctionnalités, alors que dans le sprint ou iterationbacklog, on bascule vers les activités correspondant aux fonctionnalités implémentées.

Avec le backlog de l'itération, l'équipe a son « plan de route » et peut ainsi démarrer les travaux.

### 6.5. cycle quotidien

Une équipe agile se réunit chaque jour pour suivre l'avancement de l'itération en cours : c'est le daily stand-up meeting – la mêlée ou Scrum –, rapide réunion de quinze minutes au cours de laquelle chaque membre de l'équipe fait le point sur ce qui a été fait la veille, ce qui va être fait le jour même et les éventuels blocages rencontrés (trois questions systématiques).

Si cette réunion n'est pas à proprement parler une réunion de planification, elle permet toutefois de réajuster très rapidement le planning, l'organisation ou la répartition des tâches pour la journée à venir, et prendre des décisions tactiques, sans attendre la fin de l'itération.

À partir du backlog de l'itération, l'équipe peut rapidement visualiser le planning de réalisation des tâches ; ce planning se présente sous forme d'un burndownchart, courbe idéale de réalisation du travail restant à faire (qui normalement décroît pour arriver à zéro en fin d'itération).

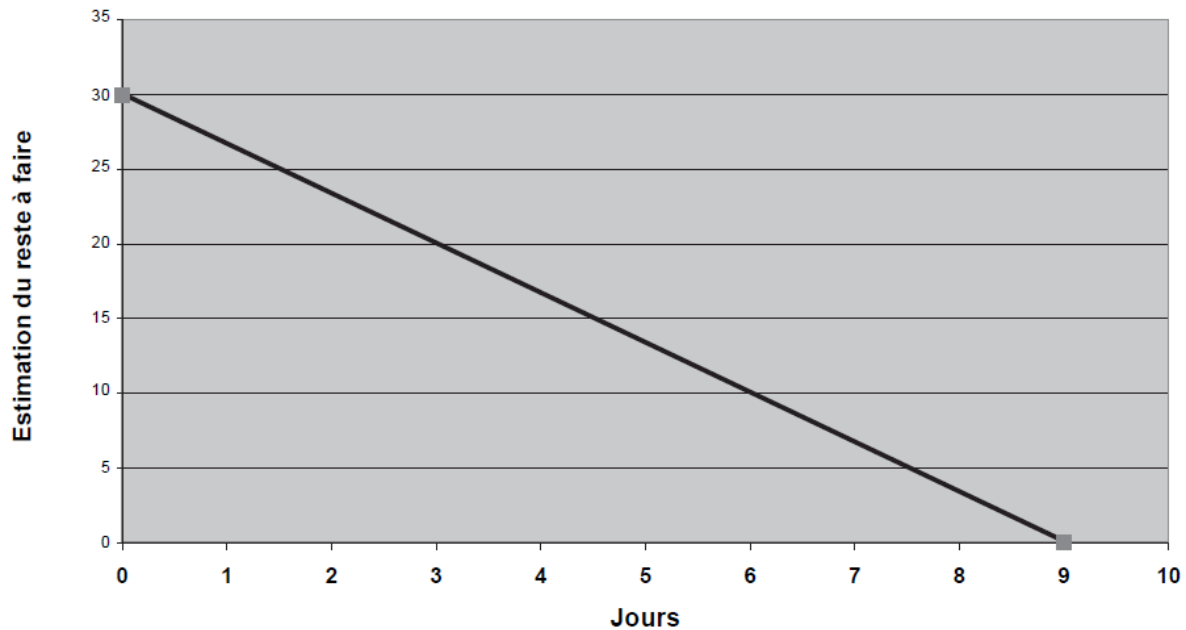


Figure 9.2 : exemple de brandownchart

## 7. Maîtrise des coûts : outils et techniques

### 7.1. Système de maîtrise des modifications des coûts

Un système de maîtrise des modifications des coûts, documenté dans le plan de management des coûts, définit les procédures à suivre pour modifier la référence de base des coûts.

Il comprend les formulaires, la documentation, les systèmes de suivi et les niveaux d'approbation nécessaires à l'autorisation des modifications.

### 7.2. Analyse de la mesure de performance

Les techniques de mesure de performance aident à estimer l'ampleur des écarts qui surviendront inévitablement. La technique de la valeur acquise permet, au niveau du budget initialement alloué, de comparer la valeur cumulée du coût budgété du travail effectué (acquis) d'une part au coût budgété du travail planifié, d'autre part au coût réel du travail effectué. Cette technique est particulièrement utile pour la maîtrise des coûts, le management des ressources et la production.

Cette technique consiste à élaborer les valeurs clés suivantes pour chaque activité de l'échéancier, lot de travail ou compte de contrôle :

- Valeur planifiée (VP). La valeur planifiée est le coût budgété du travail qu'il est prévu de réaliser pour une activité ou un composant de la structure de découpage du projet jusqu'à une date donnée.
- Valeur acquise (VA). La valeur acquise est le montant de travail budgété effectivement réalisé pour l'activité de l'échéancier ou le composant de la structure de découpage du projet au cours d'une période donnée.
- Coût réel (CR). Le coût réel est le coût total encouru pour effectuer le travail de l'activité de l'échéancier ou du composant de la structure de découpage du projet au cours d'une période donnée. Cette valeur CR doit correspondre, par sa définition et ce qu'elle recouvre, à ce qui a été budgété pour VP et VA

(Exemples : heures de main d'œuvre directe uniquement, coûts directs uniquement, ou tous les coûts y compris les coûts indirects).

- Coût estimé pour achèvement et coût final estimé. Voir l'élaboration du coût estimé pour achèvement et l'élaboration du coût final estimé, décrites dans la technique de prévision ci-dessous.

Les valeurs planifiée, acquise et réelle sont utilisées conjointement pour obtenir des mesures de performances qui permettent de déterminer si le travail effectué respecte ou non la planification à une date donnée. Les mesures le plus souvent employées sont l'écart de coût (EC) et l'écart de délais (ED).

Les variations des valeurs EC et ED tendent à diminuer à mesure que le projet approche de son achèvement en raison de l'effet de compensation résultant du cumul de travail effectué. Les valeurs prédéterminées d'écart acceptables, qui diminueront à mesure de l'avancement du projet vers son achèvement, peuvent être fixées dans le plan de management des coûts.

- Écart de coût (EC). L'écart de coût (EC) est égal à la valeur acquise (VA) moins le coût réel (CR). À la fin du projet, l'écart de coût correspond à la différence entre le budget à l'achèvement et le montant réellement dépensé.

$$EC = VA - CR$$

- Écart de délais (ED). L'écart de délais (ED) est égal à la valeur acquise (VA) moins la valeur planifiée (VP). Lorsque le projet sera achevé, l'écart de délais sera finalement égal à zéro car toutes les valeurs prévues auront été acquises.

$$ED = VA - VP$$

Ces deux valeurs EC et ED peuvent être converties en indicateurs d'efficacité afin de refléter les performances des coûts et de l'échéancier de n'importe quel projet.

- Indice de performance des coûts (IPC). Une valeur IPC inférieure à 1 indique un dépassement du coût par rapport aux estimations. Une valeur IPC supérieure à 1 indique que les coûts ont été inférieurs aux estimations. Cet indice est égal au quotient Valeur acquise (VA) sur Coût réel (CR). IPC est l'indicateur d'efficacité des coûts le plus couramment utilisé.

$$IPC = VA / CR$$

- IPC Cumulé (IPCC). L'indice IPC cumulé est largement utilisé pour prévoir le coût du projet à son achèvement. IPCC est égal à la somme des valeurs acquises périodiques (VAC) divisée par la somme des coûts réels individuels (CRC).

$$IPCC = VAC / CRC$$

- Indice de performance des délais (IPD). L'indice IPD est utilisé, en plus de l'état de l'échéancier (section 6.6.2.1), pour prévoir la date d'achèvement du projet ; il est aussi quelquefois utilisé conjointement à IPC pour prévoir les estimations d'achèvement du projet. Cet indice est égal au quotient Valeur acquise (VA) / Valeur planifiée (VP).

$$IPD = VA / VP$$

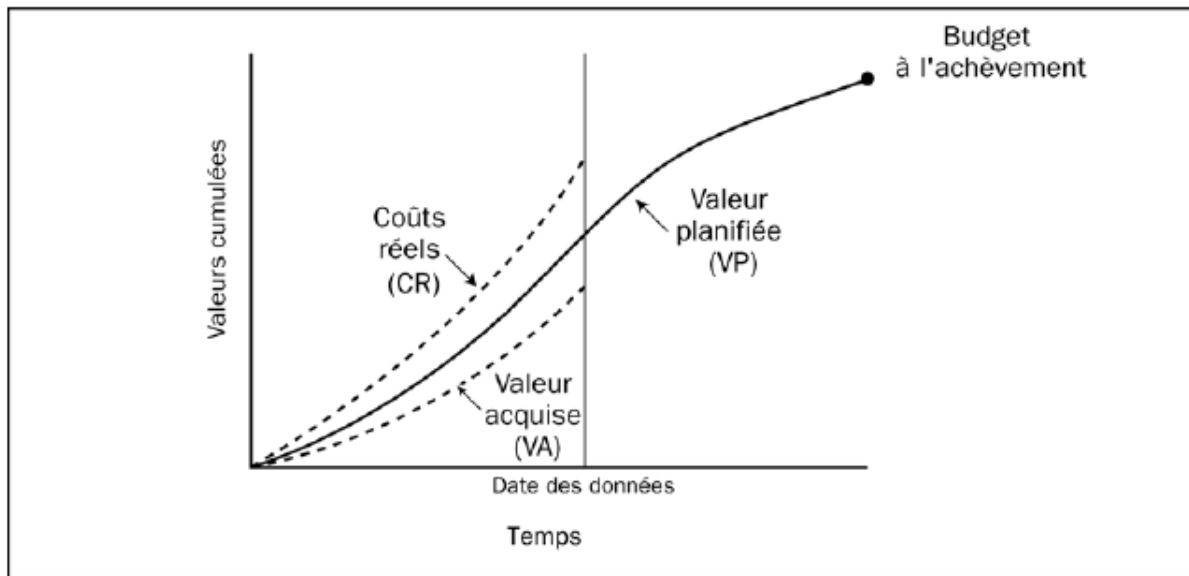


Figure 10.2 : Illustration graphique du rapport de performance

### 7.3. Prévision

La prévision consiste à effectuer des estimations ou des prédictions de situations à venir dans le déroulement du projet, à partir d'informations et de connaissances disponibles au moment où cette prévision est émise. Les prévisions sont générées, mises à jour et ré émises sur la base de l'information sur la performance du travail fournie à mesure de l'exécution et de l'avancement du projet.

L'information sur la performance du travail traite de la performance passée du projet et comprend tout élément susceptible d'avoir un impact sur ce projet à l'avenir, par exemple son coût final estimé et son coût estimé pour achèvement.

Dans la technique de la valeur acquise, les paramètres de budget à l'achèvement, de coût réel à ce jour (CRC) et d'indicateur d'efficacité IPC cumulé sont utilisés pour calculer le coût estimé pour achèvement et le coût final estimé ; ici le budget à l'achèvement est égal au total de la valeur planifiée à l'achèvement d'une activité de l'échéancier, d'un lot de travail, d'un compte de contrôle ou d'un autre composant de la structure de découpage du projet.

Budget à l'achèvement = VP cumulée à l'achèvement

Les techniques de prévision aident à évaluer le coût ou la quantité de travail nécessaire à l'achèvement d'activités de l'échéancier, que l'on appelle le coût final estimé.

La technique de prévision du coût estimé pour achèvement basée sur le fait que l'entreprise réalisatrice fournit ce coût estimé pour achèvement est la suivante :

- Coût estimé pour achèvement basé sur une nouvelle estimation. Le coût estimé pour achèvement est égal à l'estimation révisée du travail restant, déterminée par l'entreprise réalisatrice. Cette estimation pour achèvement plus précise et plus exhaustive est un coût estimé pour achèvement indépendant et non calculé pour tout le travail restant, et prend en compte la performance ou la production des ressources concernées en date de l'estimation. Une autre façon de calculer le coût estimé pour achèvement en utilisant les données de valeur acquise consiste à utiliser l'une des deux formules suivantes :
  - ✓ Coût estimé pour achèvement basé sur des écarts atypiques. Cette approche est le plus souvent utilisée lorsque les écarts actuels sont jugés atypiques et que l'équipe de management de projet estime que des écarts similaires ne

se reproduiront plus à l'avenir. Le coût estimé pour achèvement est égal au budget à l'achèvement moins la valeur acquise cumulée à ce jour (VAC).

Coût estimé pour achèvement = Budget à l'achèvement – VAC

- ✓ Coût estimé pour achèvement basé sur des écarts typiques. Cette approche utilise le plus souvent lorsque les écarts actuels sont jugés représentatifs des écarts futurs.

Le coût estimé pour achèvement est égal au budget à l'achèvement moins la valeur acquise cumulée VAC (la VP restante), le tout divisé par l'indice de performance des coûts cumulé IPCC.

Coût estimé pour achèvement = (Budget à l'achèvement - VAC) / IPCC

- Coût final estimé en utilisant une nouvelle estimation. Le coût final estimé est égal aux coûts réels à ce jour (CRC) plus le nouveau coût estimé pour achèvement fourni par l'entreprise réalisatrice. Cette approche est utilisée le plus souvent lorsque les performances passées ont démontré que les hypothèses d'estimation initiales étaient fondamentalement faussées ou qu'elles ne sont plus appropriées en raison d'un changement de conditions.

Coût final estimé = CRC + Coût estimé pour achèvement

Les deux techniques de prévision les plus courantes pour calculer le coût final estimé à l'aide des données de valeur acquise sont des variantes des techniques suivantes :

- Coût final estimé en utilisant le budget restant. Le coût final estimé est égal à CRC plus le budget nécessaire pour achever le travail restant, c'est-à-dire le budget à l'achèvement moins la valeur acquise (VA). Cette approche est le plus souvent utilisée lorsque les écarts actuels sont jugés atypiques et que l'équipe de management de projet estime que des écarts similaires ne se reproduiront plus à l'avenir.

Coût final estimé = CRC + Budget à l'achèvement – VA

- Coût final estimé en utilisant l'indice IPCC. Le coût final estimé est égal aux coûts réels à ce jour (CRC) plus le budget requis nécessaire pour achever le travail du projet restant, ce budget étant égal au budget à l'achèvement moins la valeur acquise (VA), modifié par un facteur de performance (souvent IPCC). Cette approche s'utilise le plus souvent lorsque les écarts actuels sont jugés représentatifs des écarts futurs.

Coût final estimé = CRC + ((Budget à l'achèvement – VA) / IPCC)

Chacune de ces approches peut convenir à un projet donné ; elle permet de signaler à l'équipe de management de projet que les prévisions du coût final estimé dépassent les tolérances acceptables.

### 7.4. Revues de la performance du projet

Les revues de performance comparent les performances de coût dans le temps, le coût des activités de l'échéancier ou des lots de travail par rapport au budget (coût supérieur ou inférieur à la valeur planifiée), les jalons à respecter et les jalons atteints.

Ces revues de performance sont des réunions organisées pour évaluer l'état et l'avancement des activités de l'échéancier, des lots de travail ou des postes de coût, et sont habituellement utilisées conjointement à une ou plusieurs techniques de rapport de performance ci-dessous :

- Analyse des écarts. L'analyse des écarts consiste à comparer les performances réelles du projet aux performances planifiées ou attendues. Les écarts de coûts et de délais sont les plus fréquemment analysés, mais souvent les écarts par rapport au plan sur le contenu, les ressources, la qualité et les risques du projet sont aussi importants, voire plus.
- Analyse de la tendance. L'analyse de la tendance consiste à examiner les performances du projet dans le temps pour déterminer si les performances s'améliorent ou se dégradent.
- Technique de la valeur acquise. La technique de la valeur acquise compare les performances planifiées aux performances réelles.

La réalisation d'un projet nécessite souvent une succession de tâches auxquelles s'attachent certaines contraintes :

- De temps : délais à respecter pour l'exécution des tâches ;
- D'antériorité : certaines tâches doivent s'exécuter avant d'autres ;
- De production : temps d'occupation du matériel ou des hommes qui l'utilisent..

Les techniques d'ordonnancement dans le cadre de la gestion d'un projet ont pour objectif de répondre au mieux aux besoins exprimés par un client, au meilleur coût et dans les meilleurs délais, en tenant compte des différentes contraintes.

### 1. Définition

- Ordonnancement

L'ordonnancement est le processus de définition de la tranche de temps durant laquelle chaque tâche sera exécutée, déterminant par-là les dates de départ et d'achèvement du projet.

### 2. Ordonnancement de projet

- Problème central de l'ordonnancement : ressources illimitées
- ✓ Définition
- ✓ Modélisation avec un graphe potentiels-taches
- ✓ Recherche d'ordonnancement admissible
  - Cas général : ressources limitées
- ✓ Problématique
- ✓ Résolution exacte
- ✓ Approche simple de résolution : algorithme de liste
  - Cas de ressources financières
- ✓ Problématique
- ✓ L'offre et la demande
- ✓ Algorithme de décalage

#### 2.1. Contexte

Un projet consiste en un ensemble de  $n$  tâches liées par des contraintes de succession ou de précédence

- Objectif

Calculer la durée minimale du projet, les ressources étant supposées illimitées :

Minimiser  $(t_{n+1} - t_0)$  sous les contraintes de potentiels

- ✓ Déterminer les dates de début au plus tôt et au plus tard des tâches
- ✓ Déterminer les tâches critiques

#### 2.2. Formulation mathématique

Déterminer  $(t_0, t_1, \dots, t_n, t_{n+1})$  de façon à

Minimiser  $(t_{n+1} - t_0)$

- ✓ Contraintes de potentiel :  $t_j - t_i \leq a_{ij}$
- ✓ Contraintes de non négativité :  $t_0, t_1, \dots, t_n, t_{n+1} \geq 0$

### 3. Les différentes méthodes d'ordonnancement

#### 3.1. Historique

L'ordonnancement du projet est une programmation de ses tâches et des ressources nécessaires à leur exécution, qui respecte les différentes contraintes de projet. L'ordonnancement est qualifié également de planification opérationnelle.

La plupart des méthodes ont été mises au point pour mener à bien l'effort de reconstruction après la seconde guerre mondiale.

La méthode « PERT » (Program Evaluation and Research Task ou Program Evaluation and Review Technic) a été mise au point lorsque les Etats-Unis ont entrepris de créer leur force d'attaque nucléaire (sous-marins et fusée Polaris). Il fallait aller vite pour rattraper le retard pris sur l'URSS. Ce projet était soumis à de nombreux problèmes techniques :

- délai fixe.
- coordination de 250 fournisseurs et 9000 sous-traitants.

Pour obtenir l'efficacité maximale des efforts de chacun pour l'agencement du projet, il fallait disposer d'une méthode systématique de **planification, de contrôle, et de correction**.

La création de la méthode PERT fut décidée dans ce but, et son utilisation ramena la durée du projet de six ans à deux ans et demi.

Dans le même temps pour les mêmes raisons d'autres méthodes ont fait leur apparition : réseaux de PERTI, méthode MPM (Méthode des Potentiels Métra) en France, diagrammes de GANTT, ou encore graphes « chemin de fer ».

### 4. La méthode PERT

#### 4.1. Principe de la méthode

Réduire la durée totale d'un projet par une analyse détaillée des tâches ou activités élémentaires et de leur enchaînement. On étudie les délais sans prendre en compte les charges.

#### 4.2. Notion de base

La méthode s'appuie en grande partie sur une représentation graphique qui permet de bâtir un « réseau PERT ».

Un réseau PERT est constitué par des tâches et des étapes

- **Étape** : commencement ou fin d'une tâche. Une étape n'a pas de durée. On symbolise une étape (ou « nœud ») sur le réseau par un cercle.
- **Tâche** : déroulement dans le temps d'une opération. Contrairement à l'étape, la tâche est pénalisante car elle demande toujours une certaine durée, des moyens (ou ressources) etc. Elle est symbolisée par un vecteur (ou arc orienté, ou liaison orientée) sur lequel seront indiqués l'action à effectuer et le temps estimé de réalisation de cette tâche.



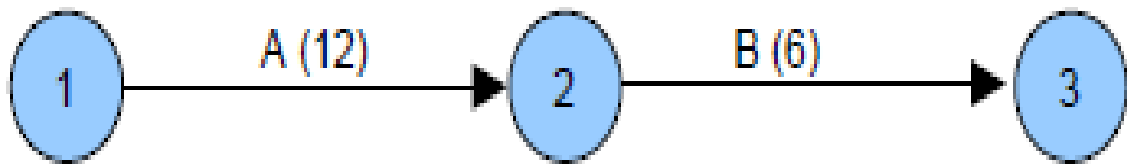


Figure 1.3: exemple de réseau

Remarque :

- ✓ La longueur des arcs n'est pas proportionnelle au temps d'exécution.
- ✓ Pour alléger la représentation, on ne note pas le nom complet de la tâche, mais une lettre ou code la représentant.

### 4.3. Représentation graphique des étapes et des tâches dans un réseau.

- Taches successives :

Exemple :

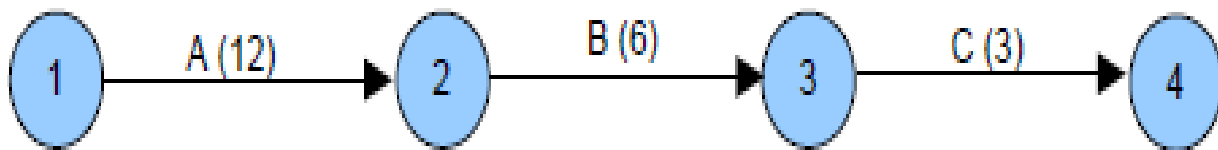


Figure 2.3 : représentation graphique

B ne peut commencer que si A est terminée (A précède B, ou A est antériorité de B).

C ne peut commencer que si A et B sont terminées (A et B précèdent C, ou A et B sont antériorité de C, ou A et B enclenchent C).

Remarque :

En fait B terminée suffit, sinon il y a redondance. La contrainte d'antériorité qui lie A à C n'a pas besoin d'être représentée.

- Taches simultanées : Elles peuvent commencer en même temps en partant d'une même étape.

Exemple :

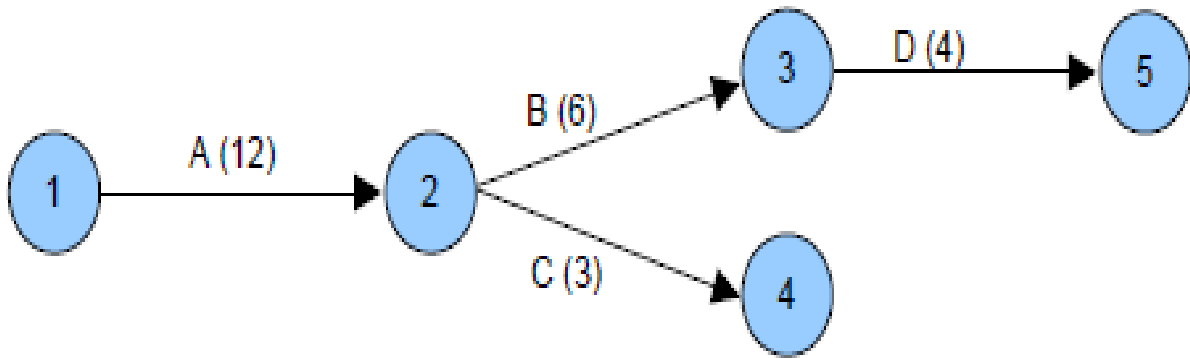


Figure 3.3. : Graphe représente des taches simultanées

D ne peut commencer que si B est terminée.

Si l'on souhaite que D ne commence que si B et C sont terminés :

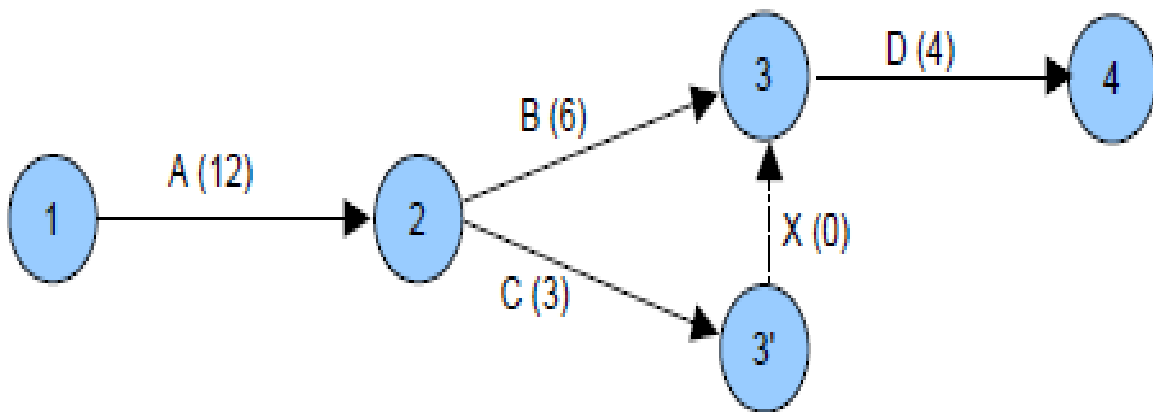


Figure 4.3 : graphe des taches simultanées

Du fait de la règle de construction qui interdit de faire se dérouler les deux Taches B et C simultanément, nous utilisons une tache x (0) dite « tache fictive » qui sert à représenter ce type de contraintes de liaison (contraintes d'antériorité).

Il s'agit d'une tache dont la durée et le cout sont nuls. On la représente en pointilles.

- Taches convergentes : Plusieurs taches peuvent se terminer sur une même étape.

Exemple :

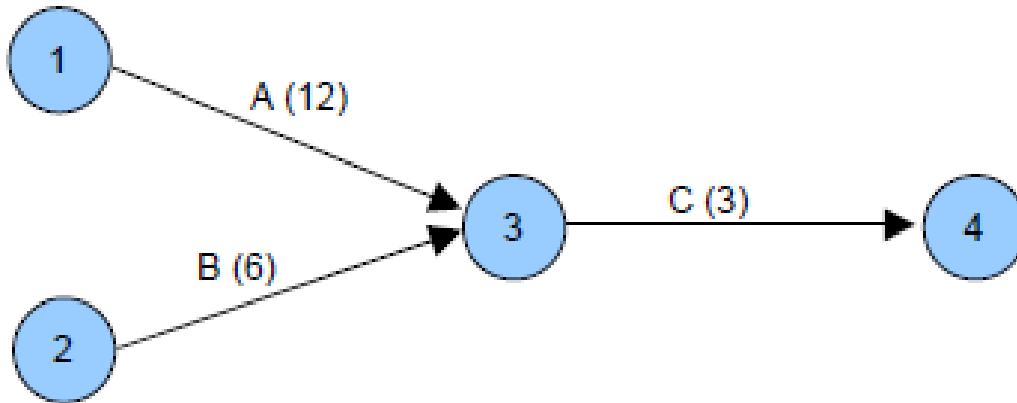


Figure 5.3 : graphe convergent

Ici, la tâche A (12) a une durée de 12 unités de temps, B(6) a une durée de 6 unités de temps. On ne constate que la tâche A dure plus longtemps que B. A est dite «**pénalisante**».

#### 4.4. Normalisation du graphe.

Si le graphe doit débuter par plusieurs tâches simultanées, il ne doit y avoir qu'une seule étape d'entrée (ou étape de début, ou étape de départ). Les étapes seront donc regroupées en une seule.

Exemple :

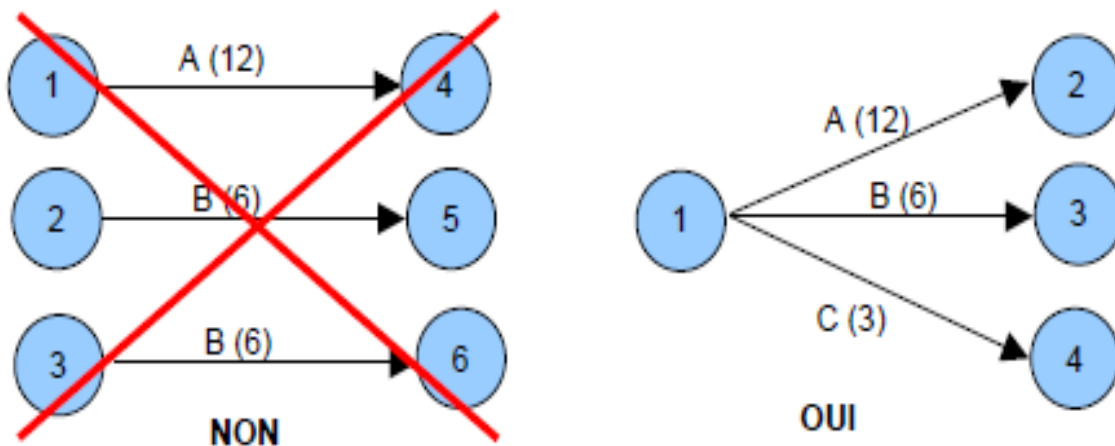


Figure 6.3 : normalisation du graphe type 1

Si le graphe se termine par plusieurs tâches (plusieurs étapes de sortie (ou de fin), il ne doit y avoir qu'une seule étape de sortie.

Exemple :

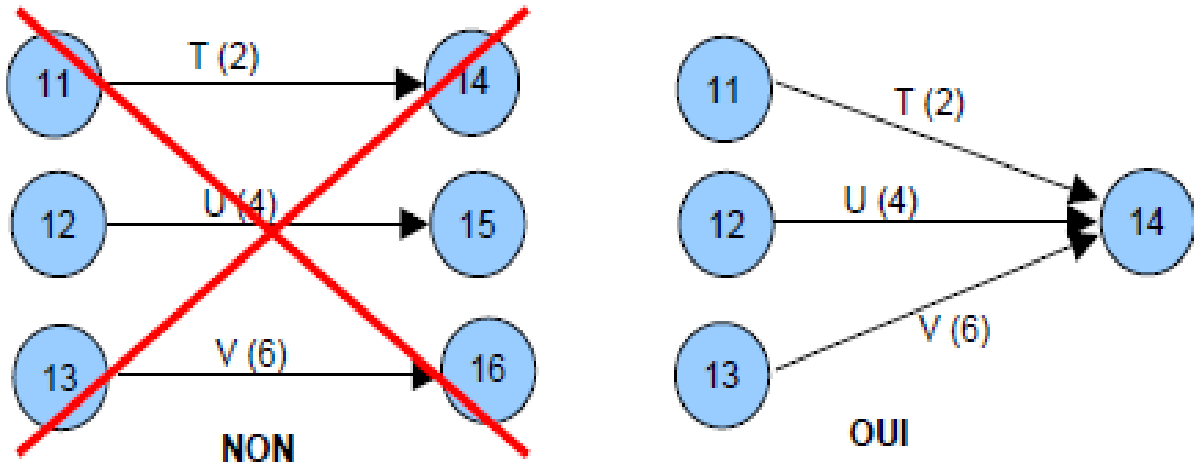


Figure 7.3 : normalisation de graphe type 2

### 4.5. Problèmes de dépendances :

A enclenche B, A enclenche D, C enclenche D.  
 Nous pouvons être tentés de dessiner le graphe suivant :

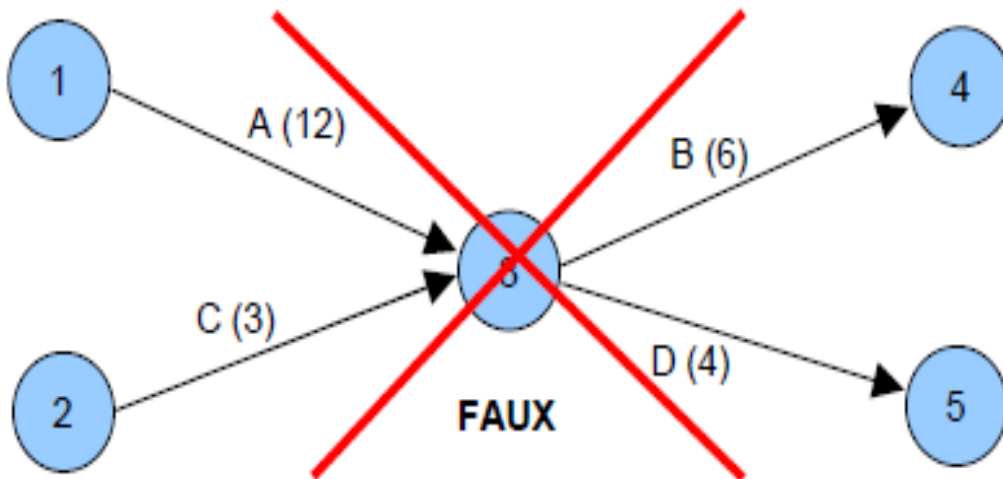


Figure 8.3 : graphe indique le problème de dépendances

Le graphe précédent est faux car cette construction signifie : A enclenche B, A enclenche D, C enclenche B, et C enclenche D.

Pour respecter les contraintes d'antériorités du projet, on introduit une tâche fictive comme suit :

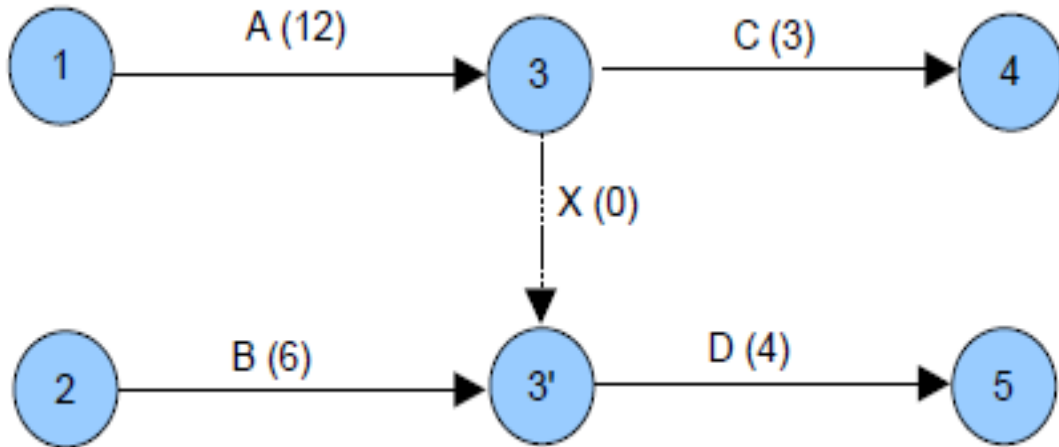


Figure 9.3 : graphe respecte les contraintes d'antériorités

#### 4.6. Représentation des étapes :

Les étapes ou « nœuds » peuvent être représentés de différentes façons selon les informations que l'on souhaite mettre en évidence.

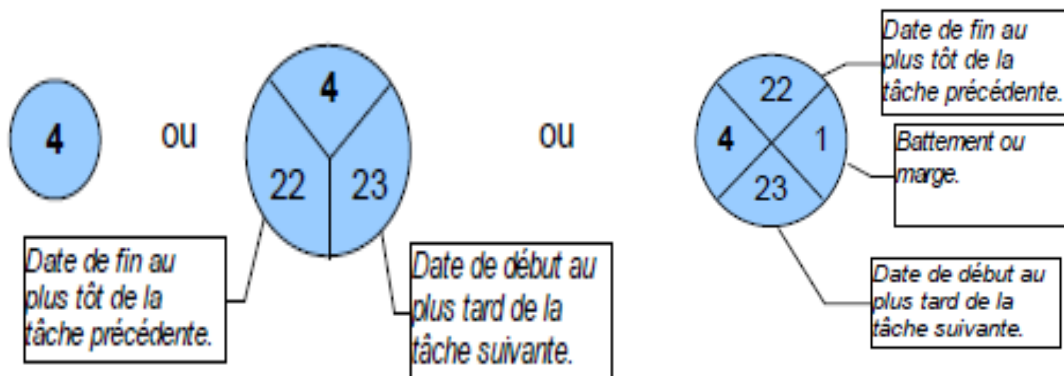


Figure 10.3 : différent représentation de l'étape

#### 4.7. Méthodologie de construction d'un réseau PERT.

- Etablir la liste des tâches (faire le partitionnement des tâches en fonction des ressources).
- Déterminer des antériorités : tâches immédiatement antérieures, et tâches antérieures.
- Déterminer les niveaux d'exécution ou rang des tâches (optionnel).
- Construire le réseau PERT.
- Calculer la durée du projet, les dates début et de fin des tâches. Déterminer le chemincritique. Mettre en évidence les marges.

Afin de construire le réseau, nous allons déterminer le rang (ou niveau) d'exécution de chaque tâche, c'est à dire la position chronologique qu'elle occupe au début de son exécution dans le projet.

Nous pouvons utiliser une matrice (ou grille) de dépouillement des données (dite : « matricede dépouillement par les sommets ») : On met une croix lorsqu'il y a une antériorité entre une tâche et une autre. On cherche s'il existe des croix dans l'une des colonnes. Si nous ne trouvons pas de croix dans certaines, cela signifie que les tâches repérées en haut des colonnes n'ont pas d'antériorité. Elles sont alors de rang 1. On note ces tâches, puis on barre les lignes horizontales correspondant à ces tâches et on réitère l'opération précédente. On détermine les tâches de rang 2 et ainsi de suite.

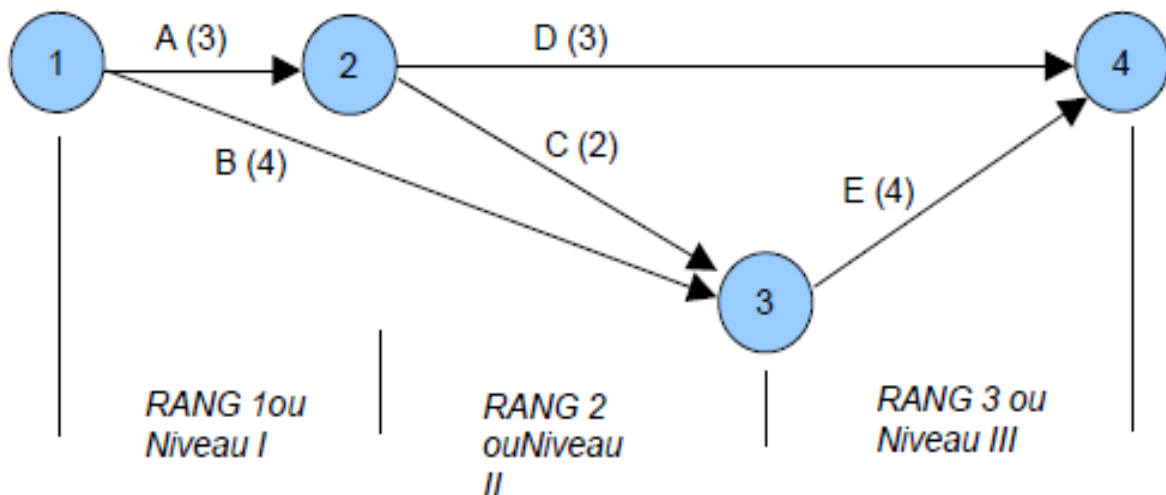
Les rangs (ou niveaux) déterminés permettent de positionner le début des différentes tâches lors de la construction du graphe.

Matrice (ou grille) de dépouillement :

→	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	Après
<b>A</b>			X	X		
<b>B</b>					X	
<b>C</b>					X	
<b>D</b>						
<b>E</b>						

**Tableau 1.3 : matrice de dépouillement**

Nous en déduisons le réseau PERT correspondant à l'application proposée :



**Figure 11.3 : réseaux de PERT**

### 4.8. Calculs sur le graphe :

La méthode PERT a pour but de planifier la durée d'un projet, aussi nous devons mener des calculs sur le graphe afin d'en déduire des renseignements sur son excitabilité.

#### 4.8.1. Les dates

La date au plus tôt est celle avant laquelle l'activité ne peut commencer, compte tenu des contraintes amont dans le temps.

La date au plus tard est celle après laquelle l'activité ne peut commencer sans modifier la durée totale du projet, compte tenu des travaux à réaliser après cette activité.

#### 4.8.2. Les marges

Une marge est un flottement, une certaine liberté de déplacer la tâche dans un intervalle donné. En planification l'on calcule la marge libre entre deux tâches et la marge totale d'une activité, c'est-à-dire la liberté dont on dispose sans empiéter sur la fin prévue du projet.

- La marge libre (ML) exprime le retard que peut prendre la fin d'une activité sans aucun impact sur la tâche immédiatement suivante, c'est-à-dire sans retarder aucune autre tâche. La formule de calcul est la suivante :

**Marge libre de n = Date de début au plus tôt de n + 1  
(Le plus précoce s'il y a plusieurs successeurs) – Date de fin au plus tôt de n**

- La marge totale (MT) est le retard possible de l'activité sans pénaliser la durée totale du projet :

**Marge totale de n = Date de fin au plus tard de n – Date de fin au plus tôt de n  
Ou Date de début au plus tard de n – Date de début au plus tôt de n**

Retenez que vous ne pouvez avoir de marge libre sur une activité si vous n'avez pas de marge totale !

#### 4.8.3. Les activités et chemins critiques

Une activité critique est une tâche sur laquelle l'on ne dispose d'aucune marge, c'est-à-dire dont la marge totale est égale à zéro.

Le chemin critique est la branche du réseau qui ne passe que par des activités critiques (activités les plus longues). Toutes les marges totales sur le chemin critique seront égales à zéro, ou avec la plus faible valeur chiffrée.

Un ou plusieurs chemins critiques sont possibles pour un projet et un retard sur un chemin critique entraîne naturellement l'allongement de la durée totale du projet.

#### 4.8.4. Les liaisons

Les liaisons sont les transitions entre les différentes activités du réseau. Elles représentent de fait des contraintes de logique que l'on s'impose pour respecter un ordonnancement temporel des tâches, soit à cause des contraintes techniques de réalisation, soit à cause des insuffisances de ressources. Dans tous les cas, elles induisent des liens d'antécédence et de succession entre tâches qui garantissent la

meilleure logique d'enchaînement et la cohérence du projet. On dénombre trois liaisons principales :

- FD = B ne peut commencer que quand A est terminée.
- DD = B ne peut commencer que quand A est commencée.
- FF = B ne peut terminer que quand A est terminée.
- DF = B ne peut terminer que quand A est commencée.

À chaque type de lien, on peut affecter un délai (positif ou négatif)

Exemple :

FD = -4, FF = +3.

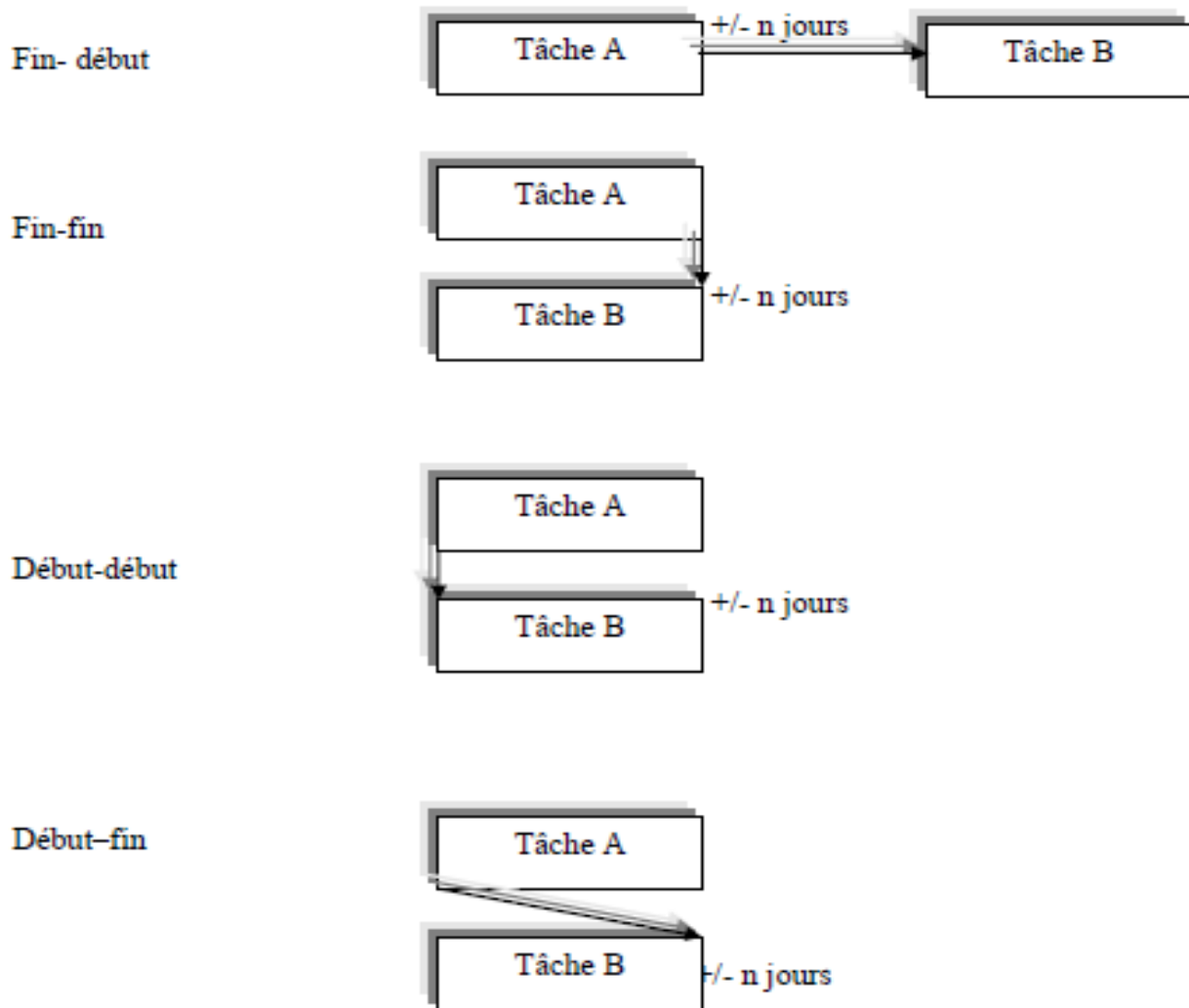


Figure 12.3 : les liaisons

## 5. La méthode des Potentiels Métra (M.P.M)

### 5.1. Principe de la méthode



Identique à la méthode PERT cette méthode permet de réduire la durée totale d'un projet. On étudie les délais sans prendre en compte les charges et les moyens disponibles.

### 5.2. Notions de base :

La méthode est une représentation graphique qui permet de bâtir un « réseau ». Ce réseau est constitué par des tâches (ou étapes).

- Tâche : Déroulement dans le temps d'une opération. La tâche est pénalisante car elle demande toujours une certaine durée, des moyens (ou ressources) et coûte de l'argent. Contrairement au réseau PERT, ici elle est symbolisée par un rectangle dans lequel seront indiqués l'action à effectuer et le temps estimé de réalisation de cette tâche, la date de début et de fin.
- Liaison orientées : Elles représentent les contraintes d'antériorités des tâches.

Exemple de réseau :

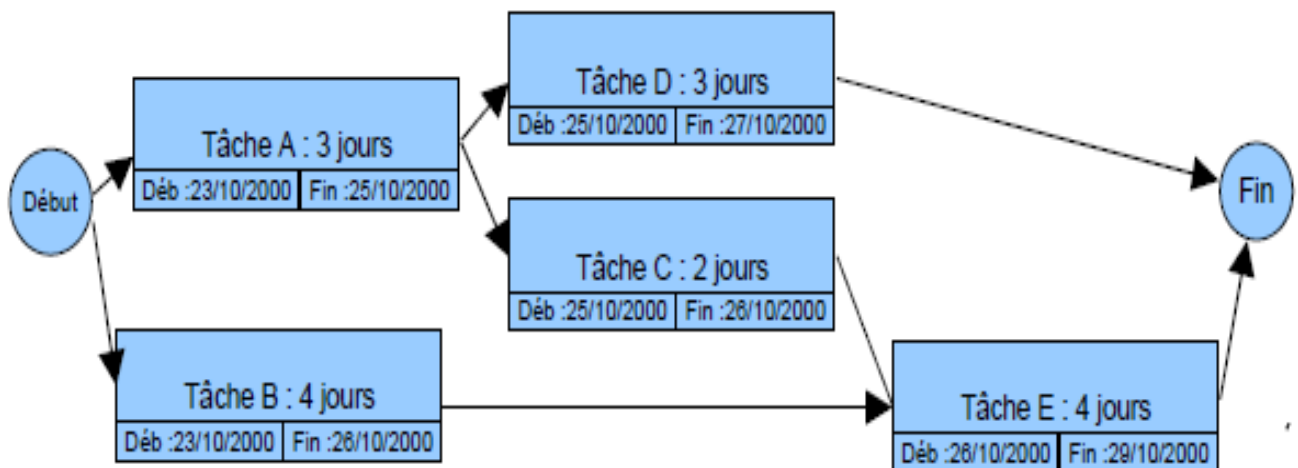


Figure 13.3 : exemple de réseaux de la méthode MPM

- Calculs sur le graphe :

La méthode MPM comme la Méthode PERT a pour but de planifier la durée d'un projet, aussi nous devons mener des calculs sur le graphe afin d'en déduire des renseignements sur son excitabilité.

### 5.3. Normalisation du graphe

Le graphe doit comporter un seul « début » et une seule « fin ». Il n'y a pas d'autres règles. C'est ce type de graphe qui est le plus souvent utilisé par les logiciels de planification (comme *Microsoft Project*).

### 5.4. Méthodologie de construction d'un réseau MPM.

- Etablir la liste des tâches (faire le partitionnement des tâches en fonction des ressources).
- Déterminer des antériorités : tâches immédiatement antérieures, et tâches antérieures.
- **Déterminer les niveaux d'exécution ou rang des tâches** (*très facile avec cette méthode*).
- Construire le réseau MPM.
- Calculer la durée du projet, les dates début et de fin des tâches. Déterminer le chemin critique. Impossible ici de mettre en évidence les marges.

### 6. Le PERT probabilisé

La durée des tâches est supposée fixe pour réaliser les études précédentes. Or, généralement, la durée d'une tâche n'est pas fixe et peut fluctuer. Le PERT probabilisé prend en compte l'incertitude, la fluctuation au niveau de la durée d'exécution des tâches.

On peut définir pour chaque tâche :

- La durée la plus optimiste : a ou D0
- La durée moyenne : m ou Dm
- La durée la plus pessimiste : b ou Dp

On en déduit alors la durée estimée la plus probable d'exécution de la tâche :

$$te = a + 4.m + b / 6 \quad \text{ou} \quad de = do + 4 .dm+ dp/ 6$$

Ce qui correspond à une distribution de probabilité du type b\* :

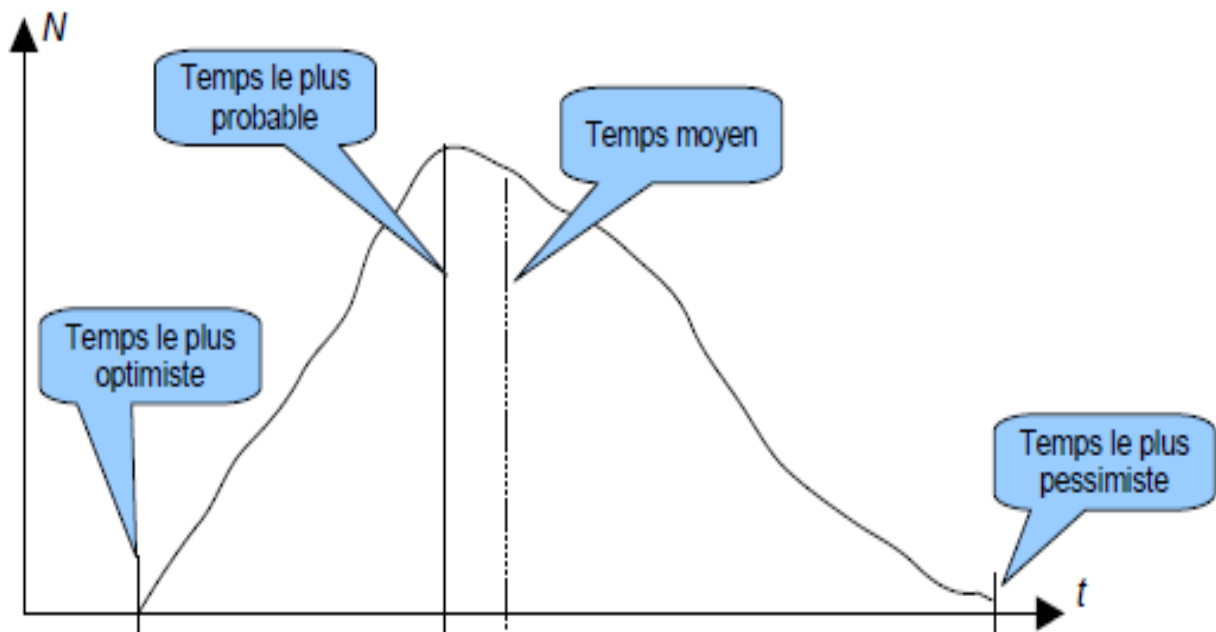


Figure 14.3 : graphe représente la méthode de PERT probabilisé

(b\*) : L'incertitude associée aux résultats d'un mesurage peut être regroupée en deux catégories en fonction des méthodes utilisées pour estimer leur valeur numérique :  
Les incertitudes standards de type A qui sont évaluées par des méthodes statistiques  
Les incertitudes standards de type B qui sont évaluées par d'autres méthodes.

NB : Aucun rapport avec les erreurs systématiques et aléatoires. Le mot standard signifie que l'on se réfère à une norme.

On détermine la variance pour chaque durée d'exécution de tâche, temps estime, soit :

$$V = (b-a)^2 / 36$$

On détermine les temps de début et de fin au plus tôt, soit :

$$F_{to} = C_{to} + t$$

On détermine les temps de début et de fin au plus tard, soit :

$$C_{ta} = F_{ta} - t$$

On détermine alors les écarts possibles :

$$E = C_{ta} - C_{to} = F_{ta} - F_{to}$$

Les tâches ayant un écart  $E = 0$  sont les tâches critiques dont le non-respect de la durée estimée risque de compromettre le projet.

On considère que la distribution concernant la durée de réalisation du projet suit une loi normale, ce qui nous permet d'écrire que la variance relative à l'ensemble du projet est égale à la somme des variances de chacune des tâches critiques :

$$V = V_a + V_b + V_c + \dots + V_n \quad Q^2 = Q_a^2 + Q_b^2 + Q_c^2 + \dots + Q_n^2$$

On en déduit alors l'écart type sur la durée du projet. On peut ainsi estimer la fiabilité de cette durée.

### 7. La méthode PERT- COST (PERT – Coût)

Les durées des tâches sont des paramètres sur lesquels l'entreprise peut agir. Dans de nombreux cas, à travers l'attribution de moyens supplémentaires, l'entreprise sera capable d'agir.

La gestion des coûts apparaît alors comme le corollaire de la gestion des temps et il devient concevable d'envisager la gestion du couple coût-durée.

La méthode qui s'y attache est appelée « PERT-COST » ou « PERT-COUT ».

#### 7.1. Méthodologie :

On associe à chaque tâche du projet :

- Un coût normal CN ou Co : coût le plus faible pour l'entreprise pour mener à bien la tâche avec le minimum de moyens.
- Un temps normal de réalisation  $t_n$  ou  $t_o$  : temps correspondant au coût normal, c'est-à-dire à l'utilisation de moyens minimaux.
- Un temps accéléré  $t_a$  ou  $t^*$  : temps minimum concevable pour réaliser la tâche, en lui accordant les moyens suffisants.
- Un coût accéléré CA : coût correspondant au temps minimum de réalisation

Si l'on admet l'hypothèse de relation linéaire du coût par rapport au temps de réalisation, on peut définir un coût marginal d'accélération « CMA » de la tâche.

$$CMA = CA - CN / tn - ta$$

Le « CMA » indique le coût supplémentaire associé à la réduction de la durée d'exécution de la tâche (exemple : 2000 DA / heure).

### 7.2. Problèmes pouvant être résolus :

Si l'objectif est défini a priori : Sur quelles tâches faut-il agir pour respecter l'objectif, avec le minimum de coûts supplémentaires ?

Comment définir cet objectif de date de fin de projet ? La réduction de la durée d'un projet n'est pas une fin en soi.

Elle doit se justifier par des avantages de diverses natures

(Nouveau client, concurrence, risque de perte de marche, ...) Il faut alors comparer ces avantages et les coûts associés aux différentes durées du projet obtenues.

La méthode « PERT-COST » est souvent empirique et est basée sur l'analyse du réseau PERT trace au préalable.

On cherche alors à diminuer la durée du projet en fonction de l'objectif avec un surcoût minimum.

## 8. Diagramme de GANTT

Le diagramme de GANTT est un graphique (chronogramme) qui consiste à placer les tâches chronologiquement en fonction des contraintes techniques de succession (Contraintes d'antériorités).

L'axe horizontal des abscisses représente le temps et l'axe vertical des ordonnées

Les tâches.

On représente chaque tâche par un segment de droite dont la longueur est

Proportionnelle à sa durée.

L'origine du segment est calée sur la date de début au plus tôt de l'opération « jalonnement au plus tôt » et l'extrémité du segment représente la fin de la tâche.

Ce type de graphe présente l'avantage d'être très facile à lire, mais présente l'inconvénient de ne pas représenter l'enchaînement des tâches.

Cette méthode est généralement utilisée en complément du réseau PERT ou MPM.

On trace le plus souvent le GANTT au plus tôt ou « Jalonnement au plus tôt » et éventuellement au plus tard « Jalonnement au plus tard ».

Le graphe fait apparaître les activités en ordonnées et la durée en abscisses ; chaque ligne représente une activité et chaque colonne une unité de temps.

En disposant d'une part de la durée des activités et d'autre part de l'enchaînement des activités dans le diagramme de réseau, il est aisé de déterminer pour chaque activité ses dates planifiées de début et de fin, à partir de la date de lancement du projet.

Certaines contraintes peuvent impacter le planning, interdisant le démarrage de telle activité avant telle date ou imposant l'achèvement d'une autre à une date requise.

Des jalons, points de contrôle, de décision ou de synchronisation, peuvent également être positionnés dans le planning.

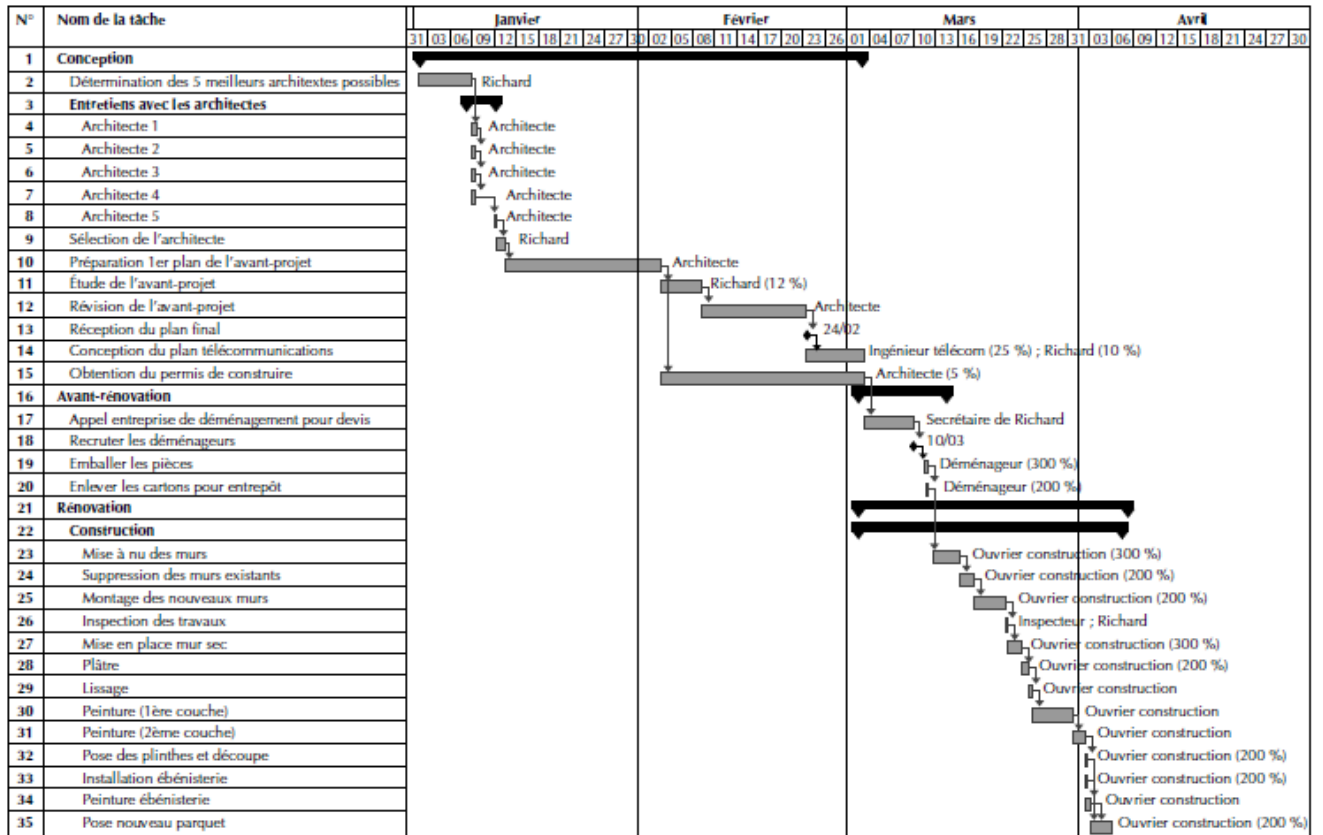


Figure 15.3 : Exemple d'un diagramme de GANTT

Remarques : Le diagramme de GANTT sera modifié au fur et à mesure de l'avancement du projet. Il faut mettre à jour ce diagramme régulièrement. Le chemin critique peut évoluer en fonction de l'avancement, du retard, ou de toute modification sur une tâche.

Les chemins «sub-critiques » ou « presque critiques » peuvent alors devenir critiques.

### 8.1. Le nivellement

La technique de nivellement consiste à maintenir le nombre de personnes travaillant simultanément sur le projet en dessous d'une certaine limite. On va donc, en générale, augmenter la durée de projet. Le nivellement vise l'ensemble des ressources du projet. Plusieurs raisons peuvent conduire à utiliser cette technique. Le nivellement évite d'avoir une taille d'équipe de projet trop importante par rapport à la durée totale de projet. Une première hypothèse de planification qui exploite au maximum le parallélisme peut conduire à une taille d'équipe risquant de générer des surcharges de coordination.

La disponibilité des ressources (personnes, matériel, locaux,...) peut être telle que l'on doit renoncer à utiliser toutes les possibilités d'exécuter des tâches en parallèles, telles qu'elles figurent un réseau. Le nivellement permet enfin d'étaler dans le temps les dépenses liées au projet.

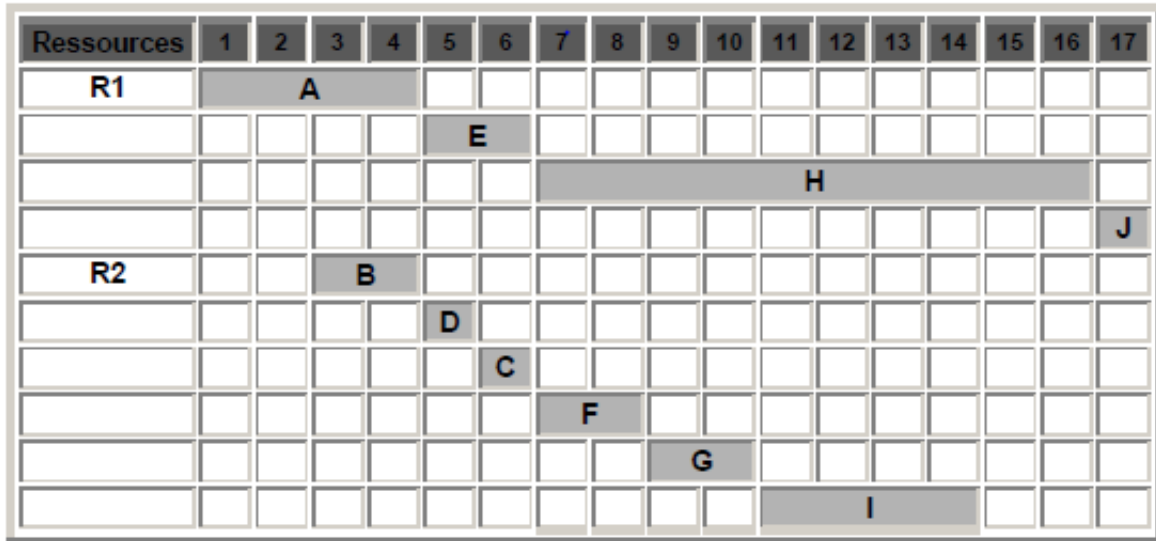


Figure 16.3 : digramme de GANTT avec nivellement

### 8.2. Le lissage

La technique du lissage consiste à repartir pour chaque ressource sa charge de travail, de telle façon qu'elle ne se trouve à aucun moment en surcharge ou en sous-charge.

On va jouer sur les marges pour décaler les tâches ici à la répartition de la charge affectée à chaque ressource. Une opération de lissage peut conduire à allonger les délais.

Les raisons du lissage sont le plus souvent des contraintes liées à l'utilisation des personnes. Parfois, on peut vouloir lisser à cause de la disponibilité réduite d'un matériel.

L'opération du lissage a fait que les délais d'achèvement du projet et se transforment dans les délais. Dans ce cadre c'est l'opération de négociation avec les contributeurs aux projets (les clients internes) ou le mandataire (le client externe) qui va aboutir à une accélération des tâches et la recherche des possibilités d'amélioration dans le premier cas ou acceptation du retard pour le second cas.

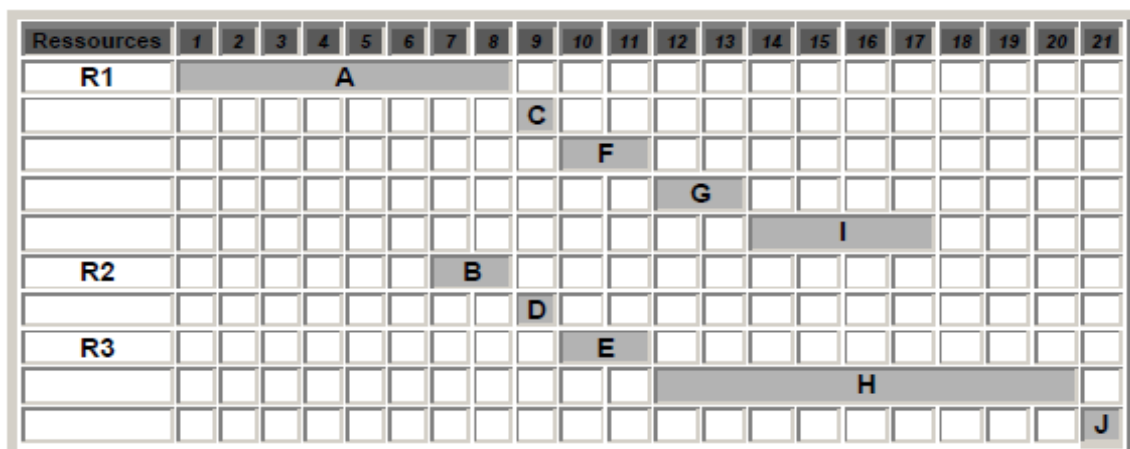


Figure 17.3 : diagramme de GANTT avec lissage

### 9. Autres méthodes associées à la planification :

Il existe beaucoup de méthodes permettant de planifier, organiser, gérer, des projets, des chantiers ou toute opération. Ces méthodes sont pour la plupart informatisées, mais nécessitent toujours une analyse.

L'optimisation des moyens mis en œuvre pour réaliser un projet nécessite de faire des hypothèses initiales et doit ensuite toujours faire face aux incertitudes, aléas, du monde réel.

Le «*management*» des ressources humaines et techniques doit alors permettre une réalisation satisfaisante du projet.

Il y a bien des «*recettes*», mais c'est le «*bon sens*», la maîtrise des moyens, et la rigueur méthodique qui favorisent cette réussite.

Voici encore quelques «*outils méthodes*» disponibles :

- Planning ou graphe «*chemin de fer*»,
- Gestion assistée par ordinateur (GMAO, GPAO),
- Méthode MRP, ...,
- Lissage des charges, analyse des charges et capacités,
- Méthode SMED,

#### 9.1. Planning ou graphe «*chemin de fer*» :

La planification **chemin de fer** est une représentation spatio-temporelle d'une planification. Il est utilisé en gestion de projet lorsque l'emplacement des tâches est important dans le processus d'ordonnancement

Les graphes «*chemin de fer*» sont très utilisés dans les travaux publics et le bâtiment. Ils font apparaître sur le même graphe les tâches, le temps, mais également le lieu.

Les diagrammes de représentation temporelle et spatiale sont plus clairs et plus concis pour les projets de construction linéaires que les diagrammes de Gantt.

Un planning Espace-temps renseigne sur les activités du chantier dans le temps et dans l'espace.

Il permet de représenter graphiquement l'avancement du projet en intégrant la notion de cadence et par rapport au Diagramme de Gantt la planification chemin de fer intègre l'emplacement des tâches. Il permet de mieux représenter les contraintes liées à l'emplacement.

Ceci rend plus facile et plus rapide la détection de collisions et permet ainsi de prendre à temps des mesures correctives.

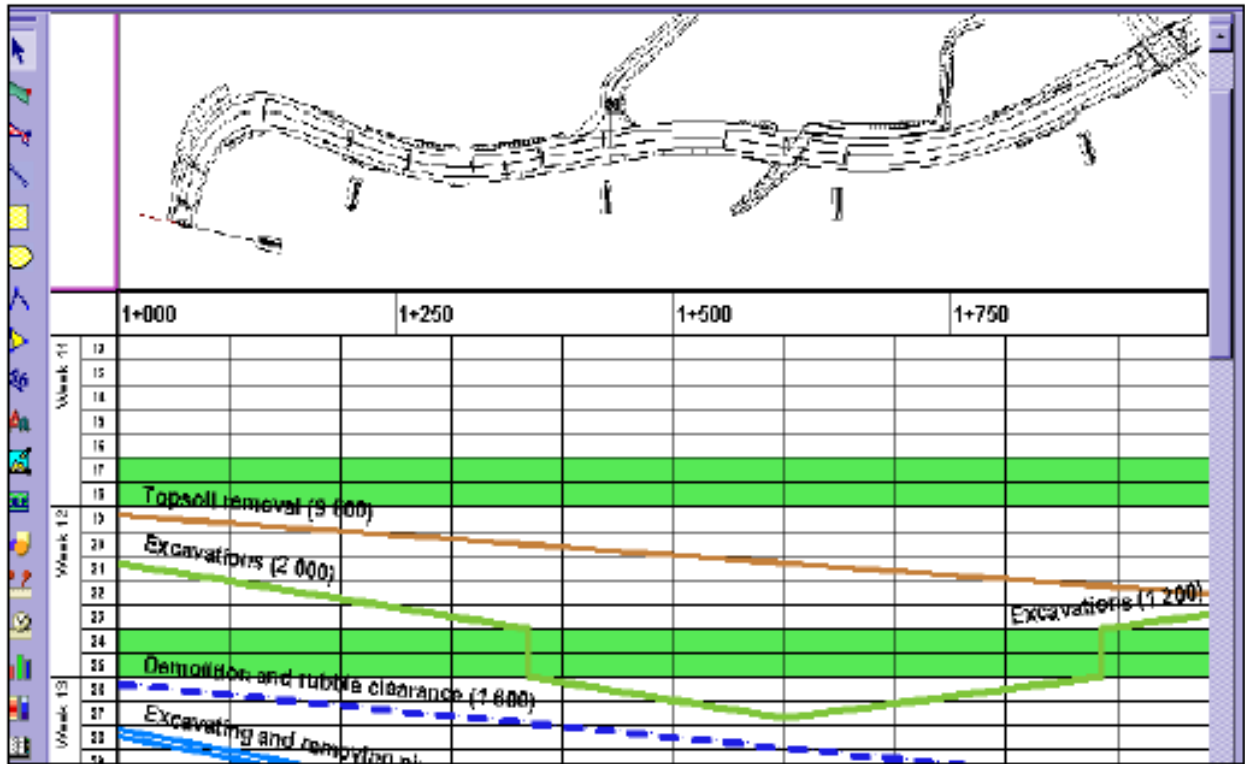


Figure 18.3 : construction d'une route sur le logiciel Tilos

Pour établir le graphique chemin de fer de ce travail, on portera :

- horizontalement l'échelle des temps,
- verticalement les lieux de travail,

Et chaque opération sera planée par un trait oblique s'étendant sur toute sa durée en face du lieu où elle sera effectuée, le sens du trait indiquant le sens d'exécution de la tâche.

Le croisement de plusieurs traits dans une case « espace-temps » montre qu'il s'ensuivra une gêne par suite de l'exécution simultanée de plusieurs tâches dans un même lieu.

On pourra alors examiner ces tâches simultanées afin de prendre les mesures correctives qui s'imposent, par

Exemple : -

- avancer certaines opérations pour lesquelles on dispose des moyens,
- retarder certaines tâches de courte durée sans influence sur les tâches ultérieures.

La réalisation peut également se suivre facilement par des traits continus traces au fur et à mesure de l'avancement du travail.

Ce graphique constitue donc un outil commode pour déceler les zones d'encombrement possible pouvant retarder l'exécution normale du travail.

### 9.2. Gestion assistée par ordinateur :

Les logiciels informatiques proposés dans le domaine de la gestion de projets sont nombreux, on peut aisément utiliser :

- GanttProject, un « gratuit » pour gérer de petits projets en semaines, ou en jours.
- Microsoft Project, le produit grand public pour gérer des projets.

Ces logiciels offrent toutes les possibilités de construction de planning prévisionnel, et surtout de suivi et de modification du projet en cours. Le projet peut être à tout moment évalué en terme de délai, de disponibilité des ressources et de coût.



La lisibilité n'est pas toujours évidente et le risque d'erreur existe toujours !

Les entreprises utilisent aujourd'hui des logiciels de gestion :

- GPAO : Gestion de Production Assistée par Ordinateur : SAP, ...
- GMAO : Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur : CARL Master, CosWin, Optimaint, ...

Ces logiciels intègrent beaucoup de fonctions (Gestion des stocks, ordonnancement, calculs des coûts, pilotage de la production et/ou de la maintenance) qui permettent la planification et le suivi des opérations de maintenance, mais ne permettent pas de construire des réseaux PERT ou MPM et exceptionnellement des diagrammes de GANTT.

### 9.3. Lissage des charges, analyse des charges et capacités :

L'adéquation **charge - capacité** est une vérification de la faisabilité d'une tâche, d'un projet, de la fabrication d'un lot ou d'une série. C'est une analyse cruciale pour un ordonnancement satisfaisant.

Pour cela on compare le besoin en ressources aux ressources de même type disponibles, sur l'horizon considéré.

L'adéquation charge - capacité peut aussi désigner le processus de décision qui fera rejeter tout ou partie du travail non exécutable par manque de moyens, ou à l'inverse, décider de se doter de la capacité à l'exécuter.

- Charge : volume de travail à exécuter x temps nécessaire pour l'exécuter (+ éventuellement le temps de préparation si la ressource est indisponible durant cette durée).
- Capacité : temps disponible pour exécuter un travail x nombre de ressources du même type.

On peut construire un plan directeur, basé par exemple sur la méthode MRP : On recherche l'équilibrage des charges / capacités, on parle également de « lissage ».

## 10. Optimiser les délais

### 10.1. Diminution du délai d'achèvement

Partant du principe maintes fois observé que le délai calculé est souvent plus long que celui imposé, une diminution du délai d'achèvement peut se faire :

- par négociation des activités critiques. S'il est possible de les scinder en tronçons, l'on peut ainsi répartir la charge par lissage. Il est possible de redéfinir les priorités en commençant par la ré-estimation de la charge et de la durée des activités critiques, ce qui peut conduire à la réduction de leur durée ;
- par la mise en parallèle d'activités successives. Cette technique a pour origine la réévaluation de la nature des dites activités qui de critiques deviennent normales. Il s'ensuit un ou plusieurs autres chemins critiques qui fournissent peut-être plus de souplesse, notamment en termes de répartition des ressources ;
- par la diminution de la durée des activités critiques en commençant par celles dont la durée est la plus longue. Cette technique est liée à la première et part du principe que les activités critiques étant réduites en durée sortent du chemin critique et font gagner de la marge quant au délai d'achèvement imposé.

### 10.2. Diminution de la durée

Une diminution de durée peut être issue :

- d'une nouvelle analyse des conditions de réalisation de l'activité. Elle implique une modification du planning initial en fonction des ressources ou d'une réévaluation de la logique du planning, ou encore une modification des profils affectés aux tâches ; de l'accroissement des ressources mises à la disposition d'une activité selon l'équation

$Durée = Charge / Ressources$

- d'une réestimation de la charge de travail associée à l'activité avec affectation de moyens plus performants.

### 10.3. Récapitulatif pour la construction d'un planning

Après avoir structuré le projet sur le plan technique, ce qui équivaut à le décomposer techniquement et à dresser la liste des contributeurs au projet, chaque gros module technique a un responsable identifié.

Après concertation du chef de projet avec lesdits intervenants, la planification va consister à :

- Lister toutes les tâches.
- Identifier les liens entre les tâches et bâtir la table d'antécédences.
- Tracer le réseau (avec les responsables techniques, car l'aspect visuel du réseau et la réflexion commune permettent d'identifier de nouvelles contraintes qui, sinon, seraient omises).
- Estimer les durées des tâches, renseigner le réseau avec ces durées. Les étapes suivantes sont essentiellement du traitement d'information, et ne nécessitent pas du travail de groupe.
- Obtenir la date de début du projet, et sa date de fin (ce sont souvent, en dehors du cahier des charges, les seuls éléments dont on dispose lorsque l'on s'attache à planifier un nouveau projet).
- Calculer les dates au plus tôt et les dates au plus tard.
- Calculer les marges totales et libres.
- Mettre en évidence le ou les chemins critiques.
- Porter les tâches sur un diagramme de Gantt.

## 11. Comment piloter un projet ?

Disposant de tous ces éléments d'aide à la décision, le chef de projet et son équipe doivent régulièrement anticiper les conditions de la poursuite du projet. Dans une démarche traditionnelle, le travail est planifié à l'avance ; le suivi et le pilotage consistent à contrôler que le projet se déroule conformément aux plans initiaux.

Tout écart constaté dans la performance, les coûts, les délais ou la qualité donne lieu à une série de mesures correctives visant à éviter que le projet ne s'enlise davantage.

Des scénarios sont alors élaborés, puis soumis au client, à un comité de pilotage ou toute autre instance d'arbitrage. Ces scénarios peuvent envisager l'ajout de ressources, le décalage d'une activité, le report d'une fonctionnalité, l'acquisition d'un nouvel outil, le recours à une expertise extérieure...

Mais, bien trop souvent, les contrôles, notamment qualité, surviennent trop tard dans le projet ; on entre alors dans une démarche curative, parfois trop tardive.

Dans un projet agile, on préfère effectuer ces contrôles le plus tôt possible et au fil de l'eau. On se trouve alors dans une démarche d'amélioration continue et l'on parle d'adaptations

plutôt que de mesures correctives, rendues nécessaires par les observations faites au cours du projet.

Cette démarche reconnaît l'apprentissage comme une évidence à chaque étape d'un projet pour améliorer et fiabiliser les pratiques à l'étape suivante. Le test de développement piloté et l'intégration continue s'inscrivent d'ailleurs dans cette démarche.

L'opportunité de mesurer l'avancement du travail réalisé et de noter toutes les actions nécessaires pour aider l'équipe à atteindre ses objectifs est donnée par le *Scrum*quotidien d'un projet agile.

Le *pilotage par les risques* s'inscrit aussi dans cette démarche.

À partir du moment où l'on accepte la grande part d'incertitude dans le projet et où l'on entrevoit la nécessité de s'adapter en permanence, on intègre la gestion des risques dans toutes les pratiques du projet au point de la rendre transparente. Ainsi, en sélectionnant, à chaque itération, les fonctionnalités ou les composants à développer en priorité, en fonction aussi du nombre de risques qu'ils permettent d'atténuer ou de supprimer, l'équipe avance, pas à pas, en sécurisant l'étape franchie.

L'approche agile de la gestion des risques poursuit les mêmes objectifs qu'une démarche classique, mais considère la gestion des risques comme une part intrinsèque du cycle de vie du projet. Les risques sont continuellement repérés et pris en charge par tous les membres de l'équipe au travers des différentes réunions de planification, de suivi et de bilan.

On ne trouve pas de plan formel de management des risques dans un projet agile ; l'identification des risques est permanente (chaque jour, à chaque itération) et le résultat est formalisé sur les tableaux blancs, ce qui donne une grande visibilité à chacun. Au cours des réunions quotidiennes ou lors du lancement d'une itération, les risques sont traités soit comme des obstacles à lever, soit comme des risques réels et sont alors analysés comme tels. À la différence d'une approche classique, l'ensemble de l'équipe détermine, beaucoup plus fréquemment, les actions à mener pour réduire les menaces. Le suivi des risques est intégré dans l'agenda des réunions de bilan de fin d'itération ; la liste est alors actualisée, et les modifications qui en résultent sont prises en compte dans la planification de l'itération suivante.

## 1. INTRODUCTION

Compléter un projet le plus rapidement possible demeure le souci constant et récurrent de tous gestionnaires.

En effet, aussi bien dans les revues scientifiques, spécialisées ou académiques, plusieurs auteurs affirment que les firmes/entreprises/organisations capables de développer de nouveaux produits dans un laps de temps très court profitent d'avantages concurrentiels substantiels.

Praticiens, académiciens et autres professionnels continuent de chercher des moyens, outils et/ou approches permettant de connaître, à priori, de combien de temps un projet peut être accéléré selon ses caractéristiques intrinsèques, notamment le budget, les ressources, etc. En effet, les exigences managériales contemporaines focalisant sur l'obtention d'avantages concurrentiels obligent les gestionnaires de projets à connaître les coûts d'accélération de chaque activité du projet en cours ou à venir.

Or, dans un contexte de criticité de ressources, le coût d'accélération dépend fortement du type de ressources assignées, de leurs disponibilités, de leurs quantités, etc.

## 2. MODILISATION DU Problème DE COMPROMIS DURE/RESSOURCE EN CONTEXTE DE RESSOURCES MULTIPLES :

### 2.1. fondements multi-objectifs du compromis dure/ressource

La réalité d'un projet est à points de vue multiples, ce qui fait de la gestion du projet en général et de la planification du projet en particulier, des activités. Objectifs multiples. Il va de soi alors que, l'agrégation uni-critère des couts des différents types de ressources impliqués dans le projet, plus qu'une simple façon de traquer la réalité. Travers un seul prisme, constitue un appauvrissement réel du problème posé, appauvrissement aux conséquences très lourdes. Dans la décision d'accélération, la prise en compte de la criticité de chaque type de ressource s'avoir très importante en gestion de projet si l'on veut éviter de pénaliser l'aboutissement et le succès du projet. La minimisation du co.t du projet sans la prise en compte de cette criticité pourrait devenir une décision dangereuse et forte préjudiciable. Elle n'aurait alors de sens que si elle prenait en compte la minimisation du niveau d'implication (utilisation) des types de ressources. Dès lors que ce montant de chaque type de ressources utilisé S'exprime plut.t mieux physiquement, nous pouvons alors conclure au fait que, ensemble avec la minimisation du co.t du projet, la minimisation du niveau de consommation des types de ressources est également un objectif fortement désir. Pour le gestionnaire de projet. De ce fait, la minimisation de la consommation de chaque type de ressources devient un objectif devant aller de pair avec celle de la durée du projet.

Malheureusement, peu de recherches ont abord. Le problème d'accélération sous l'aspect de compromis durée/ressource et le compromis durée/ressource sous l'aspect multi objectif que nous venons d'évoquer. La contribution de Pulat et Horn (1996) sur ce plan a .t. d'une grande portée.

Dans un contexte de multiplicité des types de ressources, une vision multi-objective du compromis durée/ressource serait incomplète si elle n'intégrait pas la non divisibilité.

Des ressources et l'impossibilité D'interchangeabilité. De ces dernières d'un type à l'autre. Il en découle alors deux hypothèses fondamentales. Prendre en compte :

Hypothèse 1 (hypothèse intra-type de ressources ou de non fragmentation): Pour un même type de ressources, il est impossible de fragmenter une unit. Pour l'utiliser simultanément sur des activités différentes.

Hypothèse 2 (hypothèse extra-type de ressources ou de non substituabilité.): .tant donné les différences physiques et utilitaires des types de ressources, il est impossible dans le processus de réalisation du projet, de substituer un type de ressources manquant par un autre type excédentaire pour résorber la pénurie du premier.

La multiplicité des types de ressources induit la nature multi-objective du problème de compromis durée/ressource. L'hypothèse 1 de non fragmentation signifie la nature entière des besoins et disponibilités en ressources de chaque type à chaque instant.

L'hypothèse 2 de non substituabilité. Quant à elle, dicte le pilotage du problème multi-objectif via des objectifs de rationalisation de ressources type par type. Toute approche de compromis durée/ressource développée, que ce soit optimale ou heuristique, doit par conséquent intégrer en un tout, tous ces trois éléments. Il devient dès lors clair que ces trois éléments constituent les fondements multi-objectifs du compromis durée/ressource.

Parmi les rares recherches ayant abord. Cette approche multi-objective du problème posé, celle de Pulat en Horn (1996) mentionnée plus haut s'est intéressée audit problème via la détermination de plans efficients du projet pour une série de temps de réalisation du projet. Leur approche qui associe à chaque activité sa durée normale, l'intervalle maximal d'accélération et le cout unitaire pour chaque ressource s'appuie sur la programmation linéaire multi-objective mais malheureusement, la solution obtenue par l'approche préconisée, bien que respectant l'hypothèse de non substituabilité, pourrait ne pas être entière.

Dans notre revue de littérature, la plupart des recherches qui traitent du problème d'accélération de projet utilisent un compromis durée/cout discret. Cela signifie que les durées des activités selon les options de réduction doivent être entières et non continues. C'est ce qu'ont suggéré des recherches comme celles de Demeulemeester, De Reyck et Herroelen (2000), de Demeulemeester, Herroelen et Elmaghraby (1996), de Burns, Liu et Feng (1996), de Phillips (1996) ou de Prabuddha, Dunne, Ghosh et Wells (1995).

Cependant, il n'en existe presque pas à notre connaissance qui considère la condition de non fragmentation des ressources, les ressources ayant été considérées jusqu'ici comme un ensemble agrégé sous une unité de mesure commune.

Enfin, la condition de non substituabilité des ressources n'est pas moins importante à cause du fait qu'elle traduise une des principales préoccupations des gestionnaires de projet quant à la décision à prendre lors de la réallocation des différents types de ressources engagées sur chaque activité Nous sommes d'avis qu'il n'est pas encore envisageable ni possible de pouvoir toujours remplacer une ressource humaine par une machine même si l'évolution technologique le permet de plus en plus.

De plus, chaque type de ressource engagée dans un projet a des fonctionnalités et des compétences qui lui sont propres. Une grue par exemple ne peut pas remplacer une

bétonneuse comme un maçon ne peut pas remplir les fonctions d'un ingénieur. Cette hypothèse signifie que, lors de la résolution du compromis durée/ressource, le gestionnaire à sa disposition, l'information quant au nombre minimum ou au coût minimum (dans le cas d'optimisation) de ressources de chaque type devant être alloué à l'activité pour une durée désirée.

Jusqu'ici, rares sont les approches qui ont traité. Le problème d'accélération de projet tel que nous le posons, avec la prise en compte de la condition de non substituabilité. Comme nous l'avons évoqué plus haut, en résolvant le problème via la programmation linéaire multi-objectifs, Pulat et Horn (1996) sont parmi les seuls à notre avis, à avoir pris en compte la nécessité de considérer les ressources type par type.

La prise en compte de tous ces aspects soulevés doit, selon nous, consister en l'élaboration d'outils nouveaux capables de contribuer à combler le vide instrumenta existant présentement tant sur le plan des approches optimales que sur le plan des approches heuristiques de compromis durée/ressource. Dans le sous chapitre suivant, nous nous proposons d'élaborer une approche optimale de compromis durée/ressource dans ce contexte précis, en utilisant la programmation linéaire multi-objectifs en nombres entiers que nous baptisons (Multi Objective Linear Integer Programming (MOLIP)).

## 2.2. Une approche optimale du compromis durée/ressource en contexte de ressources multiples : le MOLIP

Pour traiter ce problème de compromis durée/ressource, dans la grande famille des méthodes mathématiques, nous suggérons une approche d'optimisation plus réaliste et plus actuelle à notre avis, car intégrant les conditions citées ultérieurement. Notre approche s'inspire essentiellement des travaux de Pulat et Horn (1996) et intègre certains des aspects

qu'ils ont abordés. MOLIP va considérer séparément le niveau d'utilisation de chaque type de ressource. L'agrégation compensatoire via les coûts sera ainsi évitée et l'hypothèse de non substituabilité respectée. De plus, selon Burns, Liu et Feng (1996), dès lors que le problème consiste à accélérer des activités entières (durée entière), pour avoir une solution exacte à ce problème de compromis durée/ressource, il est nécessaire d'assigner des valeurs entières aux durées des activités accélérées. Sous ces différentes conditions et sous l'hypothèse de non fragmentation des ressources développée ultérieurement, pour résoudre ce problème de compromis durée/ressource, nous suggérons une approche basée sur la programmation linéaire multi-objectifs en nombres entiers (MOLIP). étant donné un réseau de  $n$  nœuds indiquant les réalisations d'événements, un ensemble de flèches  $A$  désignant les tâches à accomplir dans le projet avec chaque flèche  $(i,j) \in A$  représentant une tâche ou activité unique, un réseau de projet représenté de telle sorte que toutes les relations de précédence entre les tâches sont visibles, nous faisons l'hypothèse que le coût des ressources et la durée du projet sont liés de façon linéaire. Nous associons, chaque activité  $(i,j) \in A$ , une durée normale  $M_{ij}$  et une disponibilité d'accélération  $d_i$  sur la base desquelles le gestionnaire de projet se fixe comme objectifs de déterminer l'ordonnancement efficace du projet, c'est à dire celui pour lequel il n'existe aucun autre ordonnancement qui, pour la même durée  $t_n$ , aurait le coût le plus bas pour l'ensemble des ressources. Un tel objectif en contexte d'accélération de projet signifie compresser le projet à une durée désirée  $t_n(\min) \leq t_n \leq t_n(\text{normal})$  à un incrément de coût minimal pour toutes les ressources. Le  $t_n(\min)$  représente la durée minimale de



réalisation techniquement possible pour une activité donnée. L'incrément de cout minimal pour toutes les ressources implique la poursuite de cet objectif sur chaque type de ressource avec l'objectif précédemment mentionné à propos de la durée du projet, nous nous retrouvons ainsi en présence d'un problème à objectifs multiples.

Un tel problème peut être résolu selon nous via la programmation linéaire multi-objective en nombres entiers. C'est ce modèle que nous dénommons par la suite dans ce mémoire comme le MOLIP.

Le problème de compromis peut se formuler comme suit :

$$\text{Min } Z_1 = \sum a^1_{ij} y_{ij}$$

$$\text{Min } Z_2 = \sum a^2_{ij} y_{ij}$$

$$\text{Min } Z_k = \sum a^k_{ij} y_{ij}$$

$$\text{Min } Z_{k+1} = t_n$$

Sujet à :

$$t_j - t_i + y_{ij} = M_{ij}, \forall (i ; j) \in A$$

$$Y_{ij} \leq \delta_{ij}, \forall (i ; j) \in A$$

$$T_i \leq 0, \forall i = 1, n$$

$$Y_{ij} \leq 0, \forall (i ; j) \in A$$

$$T_i \text{ entier}, \forall i = 1, n$$

$$Y_{ij} \text{ entier}, \forall I = 1, n$$

Ou

$t_i$  = temps de réalisation du tache i

$M_{ij}$  = durée normale de l'activité (i,j)

$\delta_{ij}$  = accélération réelle sur l'activité (i,j)

$a^k_{ij}$  = cout d'une unité additionnelle de la ressource k requise pour accélérer l'activité (i,j)  
d'une unit é de temps,  $k= 1,2, \dots,k$

A= ensemble d'activités dans le réseau projet

n = nombre de tache dans le réseau du projet

Dans ce modèle, les fonctions-objectifs  $z_1, \dots, Z_k$  minimisent le cout de consommation des ressources de 1 à K et  $z_{k+1}$  minimise la durée totale du projet. Le modèle pourrait être utilisé pour énumérer sur  $z_{k+1}$  toutes les options entières de  $t_n$  comprises entre  $t_n$  (min) et  $t_n$  (normal) et ainsi obtenir la meilleure solution correspondant à chacune des options  $t_n$ . Cela signifie que pour un  $t_n$  donné, l'ensemble le moins couteux des activités est déterminé et accélérer dans les limites possibles, ce qui réduit le temps de réalisation du projet. Les contraintes utilis.es dans le modèle préservent les relations de précédence entre les activités et garantissent que ces dernières ne seront pas compressées au-delà de leurs limites et que le cout minimal du

projet est atteint dès lors que toutes les activités sur le chemin allant de la tâche 1 à la tâche  $n$  ont atteint leur temps de réduction permis. Ainsi, nous avons six catégories de contraintes principales dans ce modèle et qui pourraient se traduire comme suit :

- Catégorie 1 : pour une activité  $(i,j)$ , le temps de réalisation de l'événement tête  $j$  moins le temps de réalisation de l'événement queue  $i$ , plus la réduction réelle opérée sur cette activité devrait égaliser tout au moins la durée normale de cette activité à Traduite de façon littéraire, cela signifie que le délai entre l'occurrence des deux événements marquant une activité (début et fin) major. De la réduction réelle opérée sur cette activité devrait tout au moins égaliser la durée normale de cette dernière.
- Catégorie 2 : pour toute activité  $(i,j)$ , la réduction réelle opérée sur cette activité devrait au plus égaliser à la durée normale de cette activité.
- Catégorie 3 : aucun événement relié à une activité du projet ne saurait précéder le début du projet.
- Catégorie 4 : toute réduction sur une activité du projet devrait tout au moins être égale à zéro, cela veut dire de façon littéraire que sur une activité donnée, la réduction est possible ou impossible, c'est à dire qu'on ne peut pas décélérer une activité.
- Catégorie 5 : le début de tout événement (début ou fin) relié à une activité est un nombre entier d'unité de temps.
- Catégorie 6 : la réduction opérée sur toute activité du projet s'exprime en unités entières de temps.

La formulation d'un tel modèle, compte tenu des difficultés qu'elle comporte peut éventuellement décourager le gestionnaire non préparé à l'utilisation des outils robustes en contrôle et suivi des projets étant donné que de nos jours, cette catégorie de gestionnaires demeure malheureusement la catégorie majoritaire, combler le vide de compromis durée/ressource uniquement au plan optimal quoique certes une bonne chose, demeure cependant insuffisant. Il est donc nécessaire de réaliser cette tâche également au plan heuristique. C'est à cela que nous consacrons le sous-chapitre à suivre.

### 2.3. Une méthode heuristique de compromis durée/ressource en situation de ressources multiples : l'AMEC

Dans la famille des méthodes heuristiques, nous suggérons une approche intégrant un certain nombre d'aspects contenus dans Phillips (1996) et considérant aussi séparément la consommation de ressources par type de ressources. Elle évite également dans cette famille, l'agrégation compensatrice et respecte alors l'hypothèse de non substituabilité. L'outil que nous suggérons est une approche heuristique qui modifie l'exploration par coupe traditionnelle proposée par Phillips. Nous l'appelons de ce fait l'Approche Modifiée d'exploration par Coupe (AMEC).

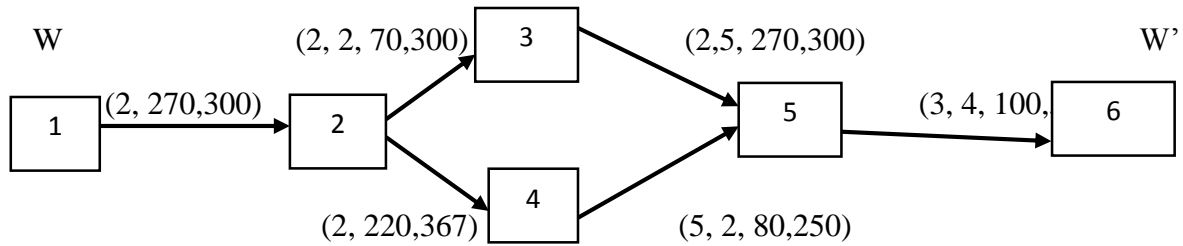
Nous utilisons également un mode de réseautage avec activités sur flèches et notons les activités sous la forme  $(i,j)$ .

Chacune de ces activités a sur chaque ressource  $k$ , trois paramètres : la durée normale  $n$ , la durée accélérée  $r$  et le taux d'utilisation de ressource (la pente de cout)  $c_k$ , ce qui conduit au



triplet  $(n, r, c_k)$ . L'algorithme que nous suggérons pour AMEC est composé des étapes suivantes :

1/- Construire le réseau avec activités sur flèches : il s'agit ici de préparer le réseau du projet et de lister les paramètres  $(n, r, c_k)$  pour chaque activité et pour chaque ressource. Cela pourrait s'illustrer à l'aide du projet suivant nous supposons l'utilisation de deux ressources, ce qui s'écrit comme suit  $(n, r, c_1 ; c_2)$  :

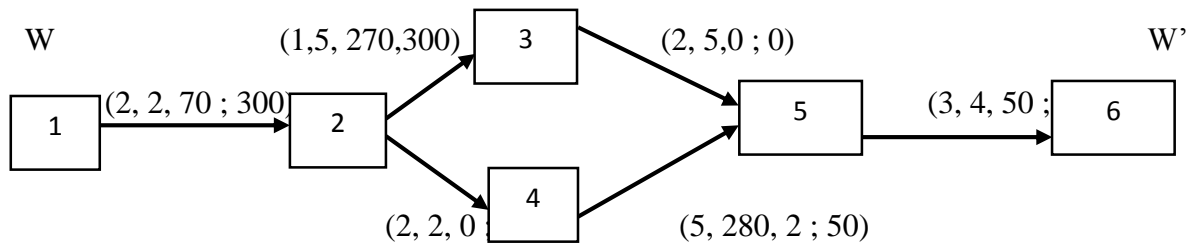


**Figure 1.4 : Réseau avec pentes de coûts**

2/- Identifier le chemin critique, fixer la nouvelle durée désirée du projet et tous les chemins de longueur supérieure à cette durée : le chemin critique est la séquence d'activités déterminant la durée totale du projet et représentant le ou les chemins avec la plus longue durée. Les autres chemins dont la longueur est supérieure à la durée accélérée désirée pour le projet sont également pris en compte parce que nécessitant eux aussi de réduction pour rentrer dans la durée désirée.

3/- Déterminer pour chacune des activités ayant une possibilité de réduction la pente effective de cout relative à chaque ressource  $e_k$  : la pente effective de cout relative à chaque ressource sur chaque activité est égale au taux d'utilisation de la ressource divisé par le nombre de chemins identifiés à l'étape 2 sur lesquels se trouve cette activité

4/- Substituer les pentes effectives de cout aux pentes de cout dans les paramètres de chaque activité : nous obtiendrons suite à cela dans le cas du réseau précédent les nouveaux paramètres  $(n, r, e_1 ; e_2)$  suivants :



**Figure 2.4 Réseau avec pentes effectives de cout**

5/- Déterminer les valeurs de paramètres de flux : les valeurs des paramètres de flux seront déterminées avec les paramètres obtenus par substitution des pentes effectives de cout relatives à chaque ressource sur chaque activité aux pentes de cout respectives.

Les paramètres de flux sont alors la borne inférieure  $l_k(i,j)$  et la borne supérieure  $S_k(i,j)$  pour chaque activité  $(i,j)$  et sont établis en se basant sur l'état de criticité de l'activité  $(i,j)$  dans le réseau actuel, et selon que la durée de cette activité : normale, intermédiaire ou accélérée Les valeurs de  $l_k(i,j)$  et de  $S_k(i,j)$  notées  $(l_k, s_k)$  sont déterminées à l'aide des règles suivantes :

(i,j) critique et normale :  $(l_k, s_k) = (0, e_k)$

(i,j) critique et intermédiaire :  $(l_k, s_k) = (e_k, e_k)$

(i,j) critique et accélérée :  $(l_k, s_k) = (e_k, \infty)$

(i,j) non critique :  $(l_k, s_k) = (0, 0)$

Les paramètres de flux dans le cas de notre exemple peuvent s'obtenir à partir de cette règle comme dans l'exemple suivant :

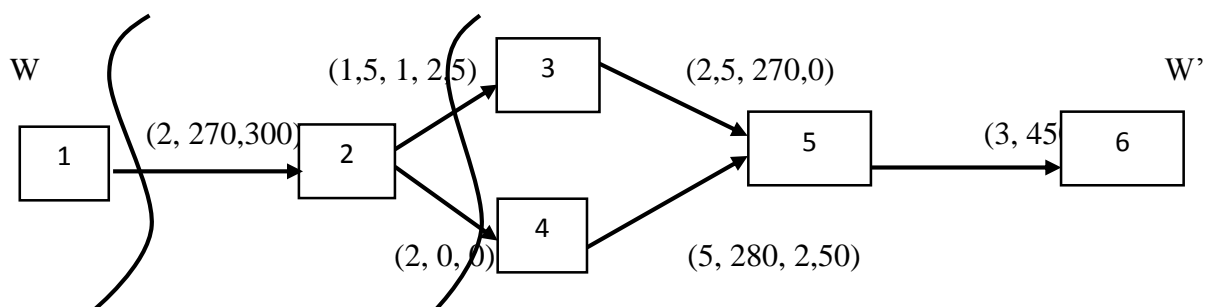
Activités	Etats	$(l_1, S_1)$	$(l_2, S_2)$
(1,2)	Critique et normale	(0,120)	(0,120)
(2,3)	Critique et normale	(0,250)	(0,300)
(2,4)	Non critique	(0,0)	(0,125)
(3,5)	Non critique	(0,0)	(0,125)
(4,5)	Critique et accéléré	(0,∞)	(0,∞)
(5,6)	Non critique	(0,0)	(0,0)

**Tableau 1.4 : Paramètres de flux du projet**

6/- Identifier les coupes dans le réseau de flux : le réseau de flux est préparé en utilisant les valeurs  $(l_k, s_k)$ .

La configuration de réseau de flux est la même que le réseau d'activités sur flèches, la seule différence que les paramètres de durées sont remplacés par les paramètres de flux  $(l_k, s_k)$ . Les coupes  $(W, W')$  dans le réseau sont opérées graphiquement La coupe  $(W, W')$  est définie comme l'ensemble des activités  $(i,j)$  telles que:

- W contient la source (S)
- W' contient la queue (Q)
- Le passage de chaque activité  $(i,j)$  entre W et W' empêcherait le flux d'aller de la source à La queue Dans notre exemple, nous pouvons localiser quelque coupes comme suit :



**Figure 3.4 : Réseau avec deux coupes**

7/- Localiser la valeur de la coupe minimale :

La valeur de la coupe minimale  $K_k^*(S, Q)$  est égale à

$$K^*(S, Q) = \min K(W, W')$$

Pour chaque ressource  $k$ ,  $K_k(W, W')$  est défini comme la somme des  $S_k(i, j)$  pour toutes les flèches allant de  $W$  à  $W'$  moins la somme des  $L_k(j, i)$  pour toutes les flèches allant de  $W'$  à  $W$  et se calcule comme suit:

$$K(W, W') = \sum_{t \in [w, j]} S_k(i, j) - \sum_{j \in [w, t]} L_k(i, j)$$

Dans le cas de notre exemple, les valeurs des deux coupes représentées ci-haut sont données dans le tableau suivant :

Activités	Etats	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
(1,2)	Critique et normale	$120+0=125$	$120+0=125$
(2,3) (2,4)	Critique et normale	$250+0+0=250$	$300+0+0=300$

**Tableau 2.4 : Valeurs des deux premières coupes**

8/- Test du critère de finition de la séquence : si pour chaque ressource  $k$  la somme des valeurs de  $K_k^*(S, Q)$  à chaque itération est tout au moins égale à un montant  $(F_k)$  alors nous allons directement à l'étape 15, sinon on continue le montant  $(F_k)$  est une limite fixe imposée au total des dépenses supplémentaires allouées à la ressource  $k$  pour réduire la durée totale du projet jusqu'à l'itération en cours. Il est soit un montant fixe ou illimité. La fixation de ce montant doit faire l'objet de négociation entre le gestionnaire de projet, son organisation et l'organisation cliente. Dans le cas de notre exemple, nous supposons  $(F_k)$  illimité pour chacune des deux ressources et dans ce cas, nous avons :  $K_1^*(S, Q) = 120$ ,  $K_2^*(S, Q) = 120$ .

9/- établir l'ensemble de modifications du réseau : Il s'agit d'identifier l'ensemble  $M_k$  des activités  $(i, j)$  qui existent entre  $W$  et  $W'$  pour la coupe correspondant à la valeur de  $K_k^*(S, Q)$ . Dans notre exemple,  $M_1 = M_2 = \{(1,2)\}$ .

10/-Vérification des coupes sur lesquelles se trouve chaque  $K_k^*(S, Q)$  : au tant donné.

La multiplicité des ressources, les valeurs des coupes minimales des différentes ressources peuvent soit se retrouver sur la même coupe (dans ce cas, les  $M_k$  seront identiques), ou sur des coupes différentes (dans ce cas, les  $M_k$  seront différents) à une itération donnée.

11/- Ajustement de la durée de la ou des activités du projet : la modification des ensembles  $M_k$  se fait sur la base de l'état de l'activité  $(i, j)$  à Les états de chaque activité  $(i, j)$  sont établis à partir du fait que la flèche dans le flux du réseau est une flèche entrante (allant de  $W$  à  $W'$ ) ou sortante (allant de  $W'$  à  $W$ ) et du fait que l'activité correspondante est critique ou non critique, en utilisant les règles suivantes :

(i,j) entrant et critique : réduire sa durée d'une unit.

(i,j) sortant et critique : augmenter sa durée d'une unit.

(i,j) entrant et non critique : pas de changement

(i,j) sortant et non critique : pas de changement

Notre exemple donne : (1,2) entrant et critique : réduire (1,2) d'un jour au cout total à calculer

12/- Ajuster la durée de la ou des activités du projet pour chacune des coupes sur lesquelles se trouvent un  $K_k^*$  (S,Q): dans le cas où la valeur de la coupe minimale pour chacune des ressources se trouverait sur plusieurs coupes différentes, reprendre l'ajustement de l'étape 1 pour chacune d'elles.

13/-Réviser le réseau avec activités sur flèches : cette révision consiste à Incorporer la ou les activités réduites du ou des ensembles  $M_k$ .

14/-Répéter la procédure : à partir de l'étape 2, répéter toutes les autres étapes.

15/- Déduire la courbe durée/ressource : pour chacune des différentes réductions faites, donner la durée et le cout total correspondant du projet.

Les principales différences entre la méthode AMEC ainsi connue et l'Exploration par Coupe Classique (ECC) sont les suivantes :

- ECC utilise une pente de cout unique pour l'ensemble des ressources, ce qui suppose l'agrégation de leur cout alors que AMEC utilise des pentes de couts relatives à chaque ressource sur chaque activité, ce qui suppose le respect de l'identité des ressources ;
- Dans ECC, la décision d'accélération est basée sur les pentes de cout des activités alors que dans AMEC, la décision d'accélération est basée sur les pentes effectives de cout relatives à chaque ressource sur chaque activité c'est à dire la pente de cout divisée par le nombre de chemins de durées supérieures.

La durée recherchée sur lesquelles se trouve cette activité. AMEC répercute de ce fait l'incrément de cout sur l'ensemble des chemins qu'affecte la réduction de cette activité.

- ECC utilise l'algorithme de Phillips (1996) tandis qu'AMEC utilise un algorithme modifié que nous proposons dans cette recherche.

### 3. Contribution des deux approches à l'amélioration de la performance de projet

Les deux approches ainsi développées viennent incontestablement combler un vide. Ce vide à première vue semble seulement méthodologique mais à y regarder profondément, il est porteur de grands espoirs dans l'amélioration de la performance de projet et du succès du projet.

Au plan pratique, la prise en compte de la multiplicité des ressources attire l'attention du gestionnaire de projet sur la nécessité de regarder le problème de gestion des ressources sous l'angle de leur appartenance identitaire, de leur profil et non seulement du point de vue de leur amalgame sous forme pécuniaire.

D'un autre côté, l'introduction de la notion de non substituabilité à des différents types de ressource avise le gestionnaire de projet sur la grande prudence et l'attention particulière à accorder à l'allocation de ces ressources dans le but d'éviter des pénuries fatales pour l'aboutissement du projet et par conséquent pour son succès. La chose est d'autant plus importante que dans un contexte de multiplicité des ressources, la pénurie en un seul type de ressource peut faire glisser tout le projet. Cette notion de non substituabilité souligne d'avantage l'importance de l'analyse de l'indice de criticité des ressources sur la performance du projet.

Enfin, l'impact du concept de non fragmentation de la ressource apparaît selon nous beaucoup plus évident. Il met l'emphase sur le fait que des ressources existent, comme la machinerie par exemple, qui ne saurait être engagées partiellement à une activité à d'un projet. Par rapport à de telles ressources, les calculs des besoins moyens sous forme fractionnaire peuvent à un certain moment donné devenir rédhibitoires et compliquer l'analyse de performance des projets. C'est l'ensemble de ces acquis qui nous ont amené à tirer comme conclusion que les deux approches MOLIP et AMEC contribuent à améliorer la gestion de projet tant sur le plan méthodologique que sur le plan pratique et représentent de ce fait, des outils précieux aux mains des gestionnaires de projet pour aborder la problématique d'accélération avec plus d'optimisme et de confiance.

#### 4. Contexte du projet d'application (VIADUC, société SERROR)

- VIADUC

Un **viaduc** est un ouvrage d'art routier passant au-dessus d'une rivière, un bras de mer ou tout autre obstacle et qui présente une hauteur ou une longueur, parfois les deux, plus grande que celle qu'exigerait la seule traversée de la rivière ou de la voie à franchir.

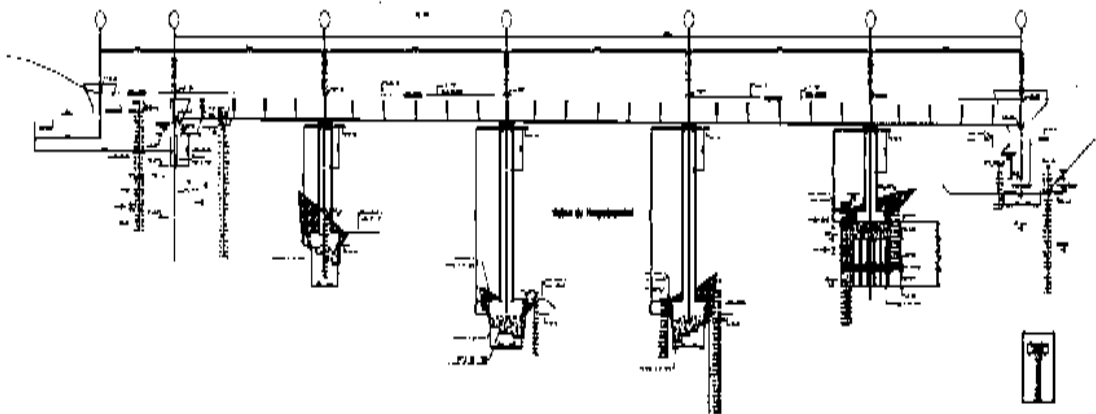


Figure 4.4 : un plan représente un Viaduc en béton

- SERROR











La société d'études et de réalisation d'ouvrages d'art de l'ouest par abréviation SEROR est implantée dans l'ouest algérien depuis 1983. Son siège se trouve à Tlemcen et son rayonnement commercial couvre l'ouest et le sud-ouest algérien, soit une vingtaine de wilayas.

### Aujourd'hui, la SEROR :

- La SEROR présente actuellement dans les dix wilayas à travers le pays et principalement à l'ouest sur des projets d'ouvrage d'art et une galerie technique aux environs de Tlemcen, son effectif global est de 1645 employés, son organigramme est présenté par la figure qui suit.
- Affiche un chiffre d'affaires consolidé de l'ordre de 1.8milliard de dinars pour l'année 2008.
- L'entreprise a achevé la certification de son système de management de la qualité(SMQ) selon la norme ISO 9000et ce à la fin de 2003
- SEROR compte développer et diversifier ses domaines d'intervention à moyen terme, l'objectif étant d'attirer de nouveaux partenaires sur des projets nationaux à grand potentiel tels que les grands projets d'infrastructures routières et hydrauliques et ainsi de bénéficier de transferts technologiques et du savoir-faire étranger

A titre d'exemple, illustrons les deux approches (MOLIP et AMEC) à l'aide d'un même projet qui est en cours de réalisation avec la société par action SERROR. En cet effet, nous prenons un grand projet du type VIADUC et on a basé seulement sur 8 grandes taches essentielles dans le projet qui regroupe l'ensemble de réalisation de ce projet, avec les relations de précédence, la durée normale et le cout normal.

Ce projet utilise deux types de ressources (humain et matériel) non substituables et non fragmentables (hypothèses 1 et 2). Les données de base ainsi que le réseau du projet sont les suivantes :

		Mode Tâche	Nom de la tâche	Durée	Début	Fin	Prédécesseurs
1			A	2 mois	Mar 08/12/15	Lun 01/02/16	
2			B	4 mois	Mar 02/02/16	Lun 23/05/16	1
3			C	3 mois	Mar 02/02/16	Lun 25/04/16	1
4			D	1 mois	Mar 02/02/16	Lun 29/02/16	1
5			E	3 mois	Mar 24/05/16	Lun 15/08/16	2
6			F	5 mois	Mar 16/08/16	Lun 02/01/17	3;5;2
7			G	4 mois	Mar 03/01/17	Lun 24/04/17	6
8			H	3 mois	Mar 25/04/17	Lun 17/07/17	7

**Tableau 3.4 : Donnée de base de projet avec MS Project**

Taches	Prédécesseur	durée	COUT
A		2	3200000
B	A	4	25900000
C	A	3	98500000
D	A	1	1052000
E	B	3	159000000
F	B,C,D	5	379500000
G	F	4	259500000
H	G	3	3420000

Tableau 4.4 : Donnée de base de projet

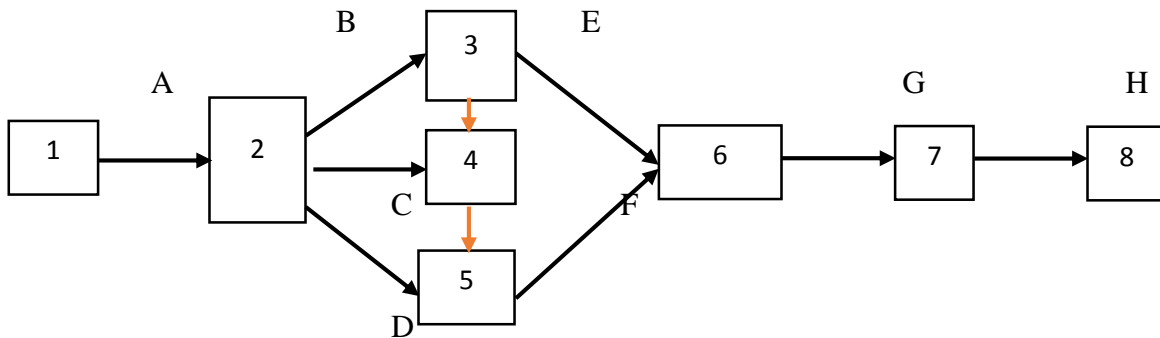


Figure 5.4 : Réseau de PERT de notre projet

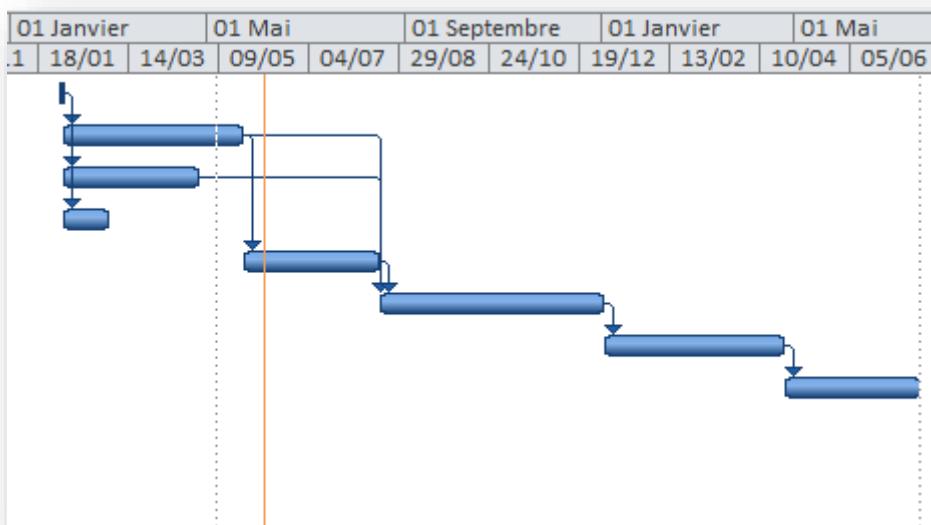


Figure 6.4 : diagramme de GUNTT de notre projet

Les calculs CPM pour déterminer le chemin critique et la durée du projet sont comme l'indiquent le tableau ci-après :

Marge libre	Marge totale	Fin au plus tôt
0 mois	0 mois	Lun 01/02/16
0 mois	0 mois	Lun 23/05/16
4 mois	4 mois	Lun 25/04/16
18 mois	18 mois	Lun 29/02/16
0 mois	0 mois	Lun 15/08/16
0 mois	0 mois	Lun 02/01/17
0 mois	0 mois	Lun 24/04/17
0 mois	0 mois	Lun 17/07/17

**Tableau 5.4 : les marges libre et marges total de projet**

Comme l'indiquent les calculs CPM, la durée du projet est de 15 mois et le chemin critique est A-B-E-F-G-H. Le cout normal du projet est de 713 million de DA Prenant en considération les paramètres d'accélération, appliquons le modèle MOLIP au projet avec comme objectif l'accélération du projet à une durée totale de 11 mois.

### 4.1. Application de l'approche optimale sur notre projet

Les données complémentaires requises pour l'application du modèle MOLIP figurent dans le tableau ci-après :

Taches	Prédécesseur	Durée	COUT normale	Cout de 1 ressource	Cout de 2 ressources	Accélération MAX
A		2	320000	80000	260000	1
B	A	4	5900000	200000	650000	1
C	A	3	98500000	350000	1050000	2
D	A	1	10520000	280000	1140000	1
E	B	3	159000000			
F	B, C, D	5	249500000	390000	1090000	1
G	F	4	239500000			
H	G	3	3420000	950000	800000	1

**Tableau 6.4 : Notre exemple avec les nouveaux Paramètres requis pour l'application de MOLIP au projet**



Sur la base de ces paramètres du projet et de son réseau, nous pouvons formuler le problème d'accélération comme suit :

$$y_{12} \leq 1$$

$$y_{23} \leq 1$$

$$y_{24} \leq 2$$

$$y_{25} \leq 1$$

$$y_{36} \leq 0$$

$$y_{56} \leq 1$$

$$y_{67} \leq 0$$

$$y_{78} \leq 1$$

$$(t_1 \leq 0$$

$$t_2 \leq 0$$

$$t_3 \leq 0$$

$$t_4 \leq 0$$

$$t_5 \leq 0$$

$$t_6 \leq 0$$

$$t_7 \leq 0)$$

$$\text{Min } Z_1 = 80000Y_{12} + 200000Y_{23} + 350000Y_{24} + 280000Y_{25} + 390000Y_{56} + 950000Y_{78}$$

$$\text{Min } Z_2 = 260000Y_{12} + 650000Y_{23} + 1050000Y_{24} + 1140000Y_{25} + 1090000Y_{56} + 800000Y_{78}$$

$$\text{Min } Z_3 = t_7$$

Sujet à

$$t_2 - t_1 + Y_{12} = 2$$

$$t_3 - t_2 + Y_{23} = 4$$

$$t_4 - t_2 + Y_{24} = 3$$

$$t_5 - t_2 + Y_{25} = 1$$

$$t_6 - t_2 + Y_{56} = 5$$

$$t_6 - t_3 + Y_{36} = 3$$

$$t_8 - t_7 + Y_{78} = 3$$

$$t_7 - t_6 + Y_{67} = 4$$

L'approche MOLIP énumère toutes les valeurs discrètes de  $t_n$ , de  $t_n$  (min) à  $t_n$  (normal) et génère l'ensemble des solutions optimales correspondant à chaque valeur. Pour cela Nous

avons programmé la résolution de ce modèle avec le programme C++ pour faciliter le calcul d'accélération de chaque ressources.

Le programme est les solutions générées sont les suivants :

```
// Programme d'un Problème COMPROMIS DURE/RESSOURCE EN CONTEXTE DE  
RESSOURCES MULTIPLES
```

```
//method Multi Objective Linear Integrer Programming
```

```
#include <iostream>
```

```
#include <cmath>
```

```
using namespace std ;
```

```
unsigned int sol_y12,
```

```
sol_y23,
```

```
sol_y24,
```

```
sol_y25,
```

```
sol_y36,
```

```
sol_y56,
```

```
sol_y67,
```

```
sol_y78 ;
```

```
unsigned int sol_t1,
```

```
sol_t2,
```

```
sol_t3,
```

```
sol_t4,
```

```
sol_t5,
```

```
sol_t6,
```

```
sol_t7;
```

```
long int sol_Z1=10000000 , sol_Z2= 10000000, sol_Z3=15;
```

```
int Z1(int y12, int y23, int y24, int y25, int y36, int y56, int y67, int y78);
```

```
int Z2(int y12, int y23, int y24, int y25, int y36, int y56, int y67, int y78);
```

```
int sa(int t_fin, int t_debut, int reduction_reelle, int duree_normale);
```

```
void checkMin(int t1,int t2,int t3,int t4,int t5,int t6,int t7);
```

```
main()
```

```
{
cout<<"debut"<<endl;
for(int t1=0 ; t1<=15 ; t1++)
for(int t2=t1 ; t2<=15 ; t2++)
for(int t3=t2 ; t3<=15 ; t3++)
for(int t4=t2 ; t4<=15 ; t4++)
for(int t5=t2 ; t5<=15 ; t5++)
for(int t6=t2 ; t6<=15 ; t6++)
for(int t7=t6 ; t7<=15 ; t7++)
checkMin(t1,t2,t3,t4,t5,t6,t7);
cout<<"fin"<<endl;
cout<<"Voici les t1,t2,..."<<endl;
cout<<"t1 = "<<sol_t1<<endl;
cout<<"t2 = "<<sol_t2<<endl;
cout<<"t3 = "<<sol_t3<<endl;
cout<<"t4 = "<<sol_t4<<endl;
cout<<"t5 = "<<sol_t5<<endl;
cout<<"t6 = "<<sol_t6<<endl;
cout<<"t7 = "<<sol_t7<<endl<<endl;
cout<<"Voici les y1,y2,..."<<endl;
cout<<"y12 = "<<sol_y12<<endl;
cout<<"y23 = "<<sol_y23<<endl;
cout<<"y24 = "<<sol_y24<<endl;
cout<<"y25 = "<<sol_y25<<endl;
cout<<"y36 = "<<sol_y36<<endl;
cout<<"y56 = "<<sol_y56<<endl;
cout<<"y67 = "<<sol_y67<<endl;
cout<<"y78 = "<<sol_y78<<endl<<endl;
cout<<"Voici les Z1,Z2,..."<<endl;
cout<<"Z1 = "<<sol_Z1<<endl;
```

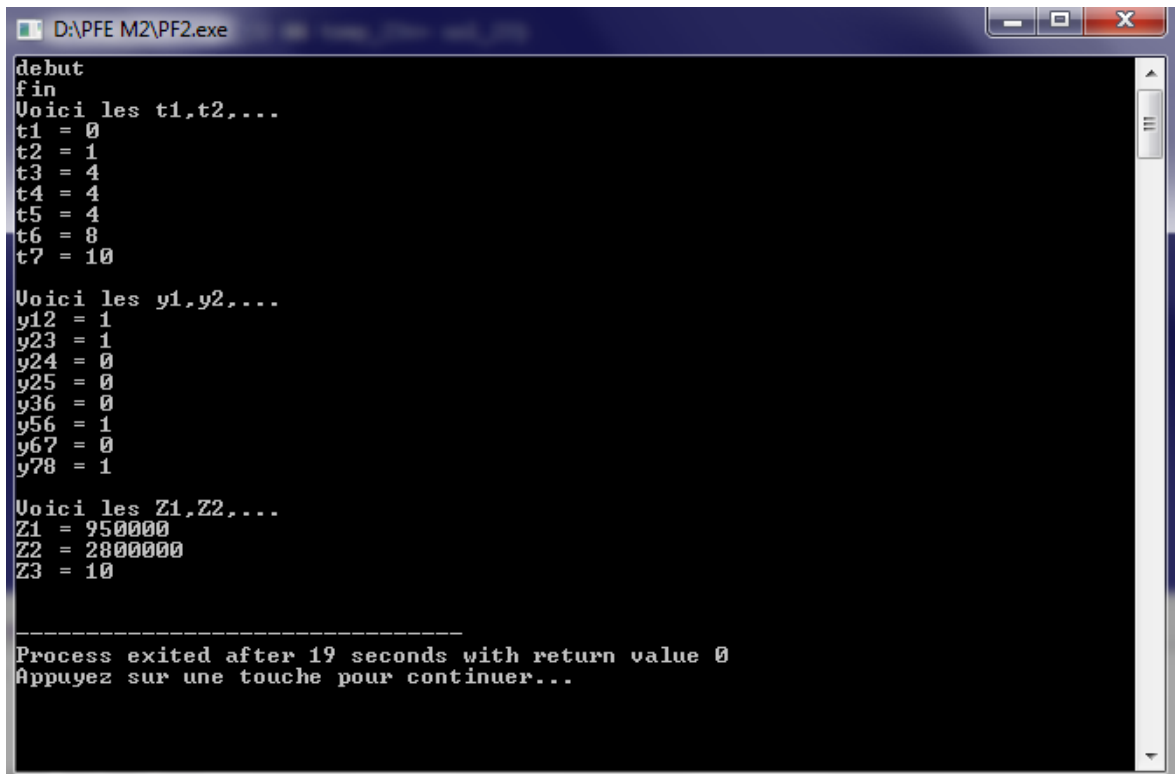
```
cout<<"Z2 = "<<sol_Z2<<endl;
cout<<"Z3 = "<<sol_Z3<<endl<<endl;
}
int Z1(int y12, int y23, int y24, int y25, int y36, int y56, int y67, int y78)
{
return(80000*y12 + 200000*y23 + 350000*y24 + 280000*y25 + 0*y36 + 390000*y56 +
0*y67, 950000*y78) ;
}
int Z2 (int y12, int y23, int y24, int y25, int y36, int y56, int y67, int y78)
{
return(260000*y12 + 650000*y23 + 1050000*y24+ 1140000*y25+ 0*y36 + 1090000*y56+
0*y67 + 800000*y78) ;
}
void checkMin(int t1,int t2,int t3,int t4,int t5,int t6,int t7)
{
int temp_Z1;
int temp_Z2;
int temp_Z3;
for(int y12=0; y12<=1 ; y12++)
for(int y23=0; y23<=1 ; y23++)
for(int y24=0; y24<=2 ; y24++)
for(int y25=0; y25<=1 ; y25++)
for(int y34=0; y34<=0 ; y34++)
for(int y45=0; y45<=0 ; y45++)
for(int y36=0; y36<=0 ; y36++)
for(int y56=0; y56<=1 ; y56++)
for(int y67=0; y67<=0 ; y67++)
for(int y78=0; y78<=1 ; y78++)
if( sa(t2,t1,y12,2) && sa(t3,t2,y23,4) && sa(t4,t2,y24,3) && sa(t5,t2,y25,1) &&
sa(t6,t3,y36,3) && sa(t6,t5,y56,5) && sa(t4,t3,y34,0) && sa(t5,t4,y45,0) &&
sa(t7,t3,y67,4) && sa(t7,t6,y78,3) )
```

```
{
temp_Z1 = Z1(y12, y23, y24, y25, y36, y56, y67, y78);
temp_Z2 = Z2(y12, y23, y24, y25, y36, y56, y67, y78);
temp_Z3 = t7;
if(temp_Z1<= sol_Z1 && temp_Z2<= sol_Z2 && temp_Z3<= sol_Z3)
{

sol_Z1 = temp_Z1;
sol_Z2 = temp_Z2;
sol_Z3 = temp_Z3;
sol_y12= y12;
sol_y23= y23;
sol_y24= y24;
sol_y25= y25;
sol_y36= y36;
sol_y56= y56;
sol_y67= y67;
sol_y78= y78;
sol_t1 = t1;
sol_t2 = t2;
sol_t3 = t3;
sol_t4 = t4;
sol_t5 = t5;
sol_t6 = t6;
sol_t7 = t7;
}
}
}
int sa(int t_fin, int t_debut, int reduction_reelle, int duree_normale)
{
```

```
if ((t_fin-t_debut+reduction_reelle)>=duree_normale)
return 1;
else
return 0;
}
```

La figure suivant donne les solutions optimales générées pour chaque durée  $t_n$ , de  $t_n$  (min) à  $t_n$  (normal) et les couts totaux du projet correspondants.



```
D:\PFE M2\PF2.exe
debut
fin
Voici les t1,t2,...
t1 = 0
t2 = 1
t3 = 4
t4 = 4
t5 = 4
t6 = 8
t7 = 10

Voici les y1,y2,...
y12 = 1
y23 = 1
y24 = 0
y25 = 0
y36 = 0
y56 = 1
y67 = 0
y78 = 1

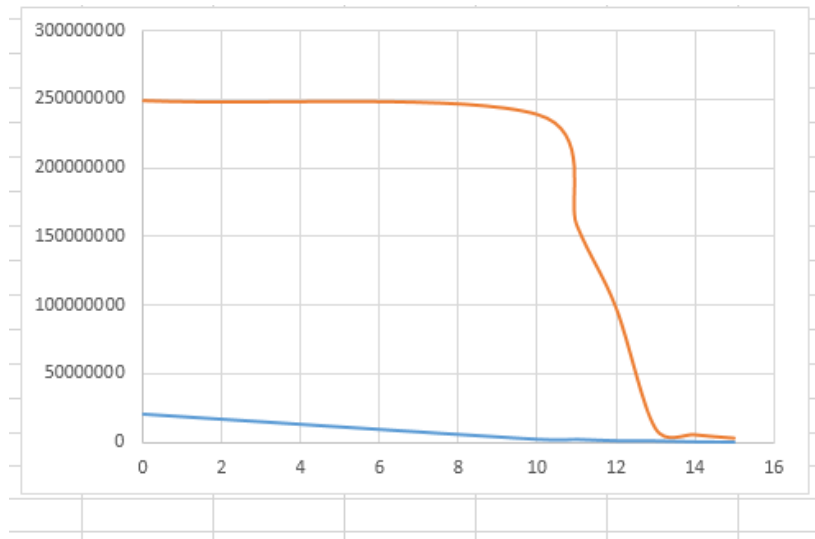
Voici les Z1,Z2,...
Z1 = 950000
Z2 = 2800000
Z3 = 10

-----
Process exited after 19 seconds with return value 0
Appuyez sur une touche pour continuer...
```

**Figure 7.4 : Solutions optimales du 1er programme selon les différents données**

La figure ci-après illustre le domaine réalisable, c'est à dire celui entre la frontière optimale et la frontière pessimiste. Les différentes solutions trouvées dans le tableau ci-dessus délimitent la frontière optimale ou efficiente, c'est à dire celles correspondant à La courbe des couts directs minimaux du projet selon les différentes options de réduction. Cette courbe est la courbe MOLIP. La frontière supérieure ou frontière pessimiste correspond à La courbe tout accéléré, c'est à dire celle représentant le cout accéléré de toutes les activités excepté les activités critiques. Elle correspond de ce fait à la courbe des couts directs maximaux du projet selon les différentes options de réduction.

Dans ce cas, tous les employés sont autorisés à faire des heures supplémentaires.



**Figure 8.4 : Illustration graphique des solutions avec excel**

Mais ces deux courbes représentent deux frontières séparant les coûts possibles du projet de ceux impossibles. De ce fait, le domaine entre les deux représente la région de coûts directs possibles.

### 4.2. Application heuristique

Appliquons maintenant l'approche AMEC de façon explicite au même projet pour réduire sa durée de 15 à 10 mois. Les paramètres requis sont les suivants :

Activité	Durée Normale n	Durée accéléré R	Coût normale	Coût Accélérée	Pente des coûts C <sub>1</sub>	Pente des coûts C <sub>2</sub>
(1,2)	2	1	320000	300000	80000	260000
(2,3)	4	1	5900000	850000		
(2,4)	3	2	98500000	20065000	350000	1050000
(2,5)	1	2	10520000	1955000	280000	1140000
(3,6)	3	3	159000000	20000		
(5,6)		1	249500000	2050000	200000	650000
(6,7)	4	3	239500000	34000	390000	1090000
(7,8)	3	1	3420000	995000	950000	800000

**Tableau 7.4 : Paramètres requis pour l'application d'AMEC au projet**

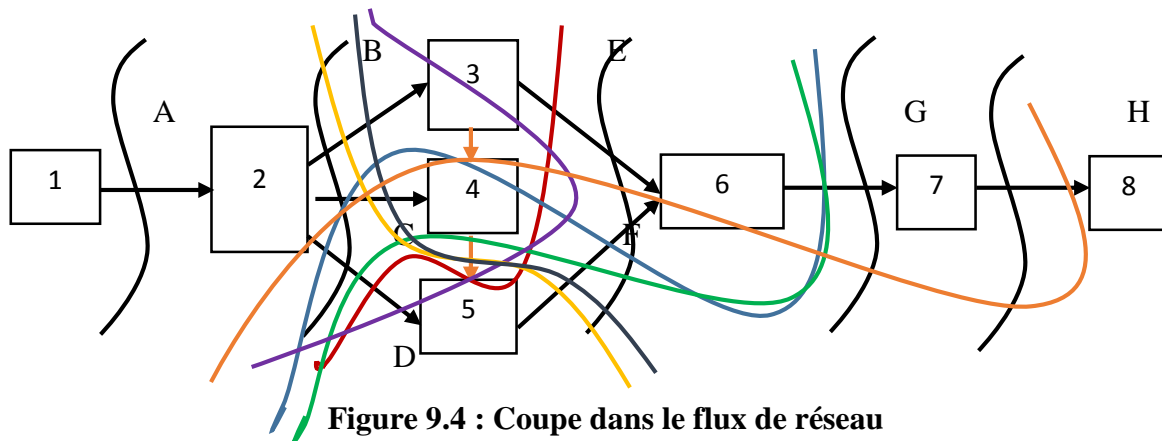
Activité	Durée Normale n	Durée accéléré R	Coût normale	Coût Accélérée	Pente effective des coûts E <sub>1</sub>	Pente effective des coûts E <sub>2</sub>
(1,2)	2	1	320000	300000	26660	86660
(2,3)	4	1	5900000	850000		
(2,4)	3	2	98500000	20065000	350000	1050000
(2,5)	1	2	10520000	1955000	280000	1140000
(3,6)	3	3	159000000	20000		
(5,6)	5	2	249500000	2050000	200000	650000

(6,7)	4	3	239500000	34000	390000	1090000
(7,8)	3	1	3420000	995000	475000	400000

**Tableau 8.4 : paramètre avec pentes effective de cout**

Activité	Etat	Flux 1	Flux 2
(1,2)	2	(0, 26660)	(0,86660)
(2,3)	4	(0,0)	(0,0)
(2,4)	3	(0,0)	(0,0)
(2,5)	1	(0, 280000)	(0,1140000)
(3,6)	3	(0,0)	(0,0)
(5,6)	5	(0, 200000)	(0,650000)
(6,7)	4	(390000,0)	(1090000,0)
(7,8)	3	(0, 475000)	(0,400000)

**Tableau 9.4 : Paramètre initiaux de flux du projet**



**Figure 9.4 : Coupe dans le flux de réseau**

Coupe	Activités	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
1	(1,2)	$26660+0=26660$	$86660+0=86660$
2	(2,3) (2,4) (2,5)	$0+0+280000=280000$	$1140000+0+0=1140000$
3	(2,5) (3,6)	$280000+0=280000$	$0+1140000=1140000$
4	(2,4) (2,5) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
5	(2,5) (6,7)	$0+390000=390000$	$0+1090000=1090000$
6	(3,6) (5,6)	$0+200000=200000$	$0+650000=650000$
7	(2,3) (2,5)	$0+280000=280000$	$0+1140000=1140000$
8	(6,7)	$390000+0=390000$	$1090000+0=1090000$
9	(2,3) (2,4) (5,6)	$0+0+200000=200000$	$0+0+650000=650000$
10	(2,3) (2,4) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
11	(7,8)	$475000+0=475000$	$400000+0=400000$
12	(2,5)(5,6)(7,8)	$280000+200000+475000=955000$	$1140000+650000+400000=2190000$



A cette première exploration, les valeurs de la coupe minimale avec les deux ressources sont  $K1^*(S, Q) = 26660$ ,  $K2^*(S, Q) = 26660$  et  $M1 = M2 = \square\square(1,2)\square$ . Nous allons réduire (1,2) d'un jour au cout de  $(80000 + 260000) = 340000$  DA La durée du projet. Cette itération est alors de 14 mois et nous passons à l'itération suivante.

Coupe	Activités	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
1	(1,2)	$\infty+0=\infty$	$\infty+0=\infty$
2	(2,3) (2,4) (2,5)	$0+0+280000=280000$	$1140000+0+0=1140000$
3	(2,5) (3,6)	$280000+0=280000$	$0+1140000=1140000$
4	(2,4) (2,5) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
5	(2,5) (6,7)	$0+390000=390000$	$0+1090000=1090000$
6	(3,6) (5,6)	$0+200000=200000$	$0+650000=650000$
7	(2,3) (2,5)	$0+280000=280000$	$0+1140000=1140000$
8	(6,7)	$390000+0=390000$	$1090000+0=1090000$
9	(2,3) (2,4) (5,6)	$0+0+200000=200000$	$0+0+650000=650000$
10	(2,3) (2,4) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
11	(7,8)	$475000+0=475000$	$400000+0=400000$
12	(2,5)(5,6)(7,8)	$280000+200000+475000=955000$	$1140000+650000+400000=2190000$

A cette première exploration, les valeurs de la coupe minimale avec les deux ressources sont  $K1^*(S, Q) = 200000$ ,  $K2^*(S, Q) = 200000$  et  $M1 = M2 = \square\square(5,6)\square$ . Nous allons réduire (2,3) d'un jour au cout de  $(200000 + 650000) = 850000$  DA La durée du projet. Cette itération est alors de 13 mois et nous passons à l'itération suivante.

Coupe	Activités	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
1	(1,2)	$\infty+0=\infty$	$\infty+0=\infty$
2	(2,3) (2,4) (2,5)	$0+0+280000=280000$	$1140000+0+0=1140000$
3	(2,5) (3,6)	$280000+0=280000$	$0+1140000=1140000$
4	(2,4) (2,5) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0=1090000$
5	(2,5) (6,7)	$0+390000=390000$	$0+1090000=1090000$
6	(3,6) (5,6)	$0+\infty=\infty$	$0+\infty=\infty$
7	(2,3) (2,5)	$0+280000=280000$	$0+1140000=1140000$
8	(6,7)	$390000+0=390000$	$1090000+0=1090000$
9	(2,3) (2,4) (5,6)	$0+0+\infty=\infty$	$0+0+\infty=\infty$
10	(2,3) (2,4) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
11	(7,8)	$475000+0=475000$	$400000+0=400000$
12	(2,5)(5,6)(7,8)	$280000+\infty+475000=\infty$	$1140000+\infty+400000=\infty$

A cette première exploration, les valeurs de la coupe minimale avec les deux ressources sont  $K1^*(S, Q) = 390000$ ,  $K2^*(S, Q) = 390000$  et  $M1 = M2 = \square\square(2,5)\square$ . Nous allons réduire (5,6) d'un jour au cout de  $(280000 + 1140000) = 1420000$  DA La durée du projet. Cette itération est alors de 11 mois et nous passons à l'itération suivante.

Coupe	Activités	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
1	(1,2)	$\infty+0=\infty$	$\infty+0=\infty$
2	(2,3) (2,4) (2,5)	$0+0+\infty=\infty$	$\infty+0+0=\infty$
3	(2,5) (3,6)	$\infty+0=\infty$	$0+1140000=\infty$
4	(2,4) (2,5) (6,7)	$0+\infty+390000=\infty$	$0+\infty+1090000=\infty$
5	(2,5) (6,7)	$\infty+390000=\infty$	$\infty+1090000=\infty$
6	(3,6) (5,6)	$0+\infty=\infty$	$0+\infty=\infty$
7	(2,3) (2,5)	$0+\infty=\infty$	$0+\infty=\infty$
8	(6,7)	$390000+0=390000$	$1090000+0=1090000$
9	(2,3) (2,4) (5,6)	$0+0+\infty=\infty$	$0+0+\infty=\infty$
10	(2,3) (2,4) (6,7)	$0+0+390000=390000$	$0+0+1090000=1090000$
11	(7,8)	$475000+0=475000$	$400000+0=400000$
12	(2,5)(5,6)(7,8)	$\infty+\infty+475000=\infty$	$\infty+\infty+400000=\infty$

A cette première exploration, les valeurs de la coupe minimale avec les deux ressources sont  $K1^*(S, Q) = 400000$ ,  $K2^*(S, Q) = 475000$  et  $M1 = M2 = \square\square(6,7)\square$ . Nous allons réduire (7,8) d'un jour au cout de  $(390000 + 1090000) = 1480000$  DA La durée du projet. Cette itération est alors de 10 mois et nous passons à l'itération suivante.

Coupe	Activités	$K_1(W, W')$	$K_2(W, W')$
1	(1,2)	$\infty+0=\infty$	$\infty+0=\infty$
2	(2,3) (2,4) (2,5)	$0+0+\infty=\infty$	$\infty+0+0=\infty$
3	(2,5) (3,6)	$\infty+0=\infty$	$0+\infty=\infty$
4	(2,4) (2,5) (6,7)	$0+\infty+\infty=\infty$	$0+\infty+\infty=\infty$
5	(2,5) (6,7)	$\infty+\infty=\infty$	$\infty+\infty=\infty$
6	(3,6) (5,6)	$0+\infty=\infty$	$0+\infty=\infty$
7	(2,3) (2,5)	$0+\infty=\infty$	$0+\infty=\infty$
8	(6,7)	$\infty+0=\infty$	$\infty+0=\infty$
9	(2,3) (2,4) (5,6)	$0+0+\infty=\infty$	$0+0+\infty=\infty$
10	(2,3) (2,4) (6,7)	$0+0+\infty=\infty$	$0+0+v=\infty$
11	(7,8)	$475000+0=475000$	$400000+0=400000$
12	(2,5)(5,6)(7,8)	$\infty+\infty+475000=\infty$	$\infty+\infty+400000=\infty$

Le cout total de réduction du projet de 15 à 10 mois est de :  $(340000+850000+1420000 +1480000)= 4090000$  DA.

Le cout total du projet après réduction est alors égal :

$$(766660000+3545000) = 770750000 \text{ DA}$$

Comme l'on peut le constater, les deux approches MOLIP et AMEC répondent à une même préoccupation du gestionnaire de projet à savoir, réaliser un compromis durée/ressource permettant de prendre en considération la multiplicité, la non fragmentation et la non substituabilité des ressources d'un type à l'autre.

Cependant, elles utilisent des voies différentes pour y parvenir. En d'autres termes, elles réalisent différemment ce compromis.

## 5. Développer un algorithme pour ACCÉLÉRATION DE PROJETS – COMPROMIS DE TYPE DURÉE/COÛT

Traditionnellement le gestionnaire de projets exécute son mandat à l'intérieur des contraintes de portée, répondre et respecter les spécifications ; d'échéancier, terminer l'ouvrage dans une fenêtre temporelle préétablie et d'une allocation budgétaire pré-planifiée.

Souvent, bien que lors de la planification la durée prévue pour terminer le projet est supérieure à la durée du chemin critique, les projets ne respectent pas le triptyque classique de la gestion de projet et sont en retard.

Afin de contourner cette lacune, nous pouvons accélérer le temps de réalisation pour rattraper les retards potentiels. Par accélération de projet nous voulons dire terminer le projet plus tôt que planifié initialement. Avant d'accélérer un projet, il faut disposer de toutes les informations sur les activités composant un projet dont : les types de ressources, leurs quantités, les coûts unitaires, les durées, les relations de précédences, etc.

Habituellement, la méthode usuelle permettant d'accélérer une activité d'un projet et de lui assigner un plus grand nombre de ressources et/ou des ressources ayant une expertise et/ou des compétences meilleures que celles dont dispose le manager de projets. Cela implique, inévitablement, une augmentation de coûts. Or, l'accélération de certaines activités d'un projet peut entraîner une réduction des coûts indirects matérialisés par les salaires, l'amortissement de l'équipement/infrastructure, etc.

Récemment, certains auteurs ont proposé d'accélérer des projets en superposant les activités. Cette approche est, essentiellement, utilisée dans des projets de développement de nouveaux produits et/ou services. La superposition des activités consiste à mener (partiellement) en parallèle ou en superposant carrément les activités qui étaient organisées de manière séquentielle sur le réseau du projet. Une autre technique d'accélération recourt à la substitution de certaines activités par une et/ou plusieurs autres activités. Ainsi, un projet peut être accéléré de manière classique, par la superposition d'activités et par la substitution de certaines tâches.

Plusieurs approches existent dans la littérature pour résoudre le problème de compromis temps/coût. Toutefois, peu d'approches prennent en compte les caractéristiques particulières, i.e., les spécificités des ressources du projet. Nous pouvons citer l'approche modifiée d'exploration par coupe et le modèle de programmation linéaire.

Toutefois, la plupart de ces approches présente des lacunes et est difficilement applicable lorsque la taille des projets devient très importante (une centaine de tâches). En particulier, le temps de calcul augmente considérablement. Il devient dès lors intéressant d'utiliser de nouvelles méthodes de résolution du problème d'accélération de projets de grande taille et pour lesquels plus de deux ressources sont disponibles, et cela tout en minimisant les temps de calcul.

### 5.1. MÉTHODOLOGIE

La méthode, c'est à dire la procédure logique usuelle utilisée pour résoudre le problème de compromis durée/coût en gestion de projets est la résolution simultanée des équations mathématiques, une représentant le temps et l'autre le coût du projet. Le temps de réalisation des tâches dépend de la relation de précedence et de la durée des tâches, tandis que le coût dépend des ressources assignées à chaque tâche et bien attendu de la durée des tâches. Plusieurs méthodes ont été développées dans la littérature pour traiter le problème

d'accélération de projets (compris temps/coût). La règle générale utilisée dans toutes ces méthodes est la détermination et ce de façon rigoureuse et exacte (équation mathématique) du temps de réalisation des tâches ainsi que de la durée totale du projet. La principale différence entre ces méthodes réside dans les techniques d'optimisation utilisées pour choisir les tâches à accélérer pour déterminer de combien d'unités de temps les accélérer. Parmi ces méthodes et techniques, nous pouvons citer les méthodes CPM/PERT, la technique de la programmation exacte linéaire et non linéaire, la méthode des coupes, les techniques algorithmiques et heuristiques.

Toutefois, certaines méthodes comme celles basées sur la programmation mathématique exacte, deviennent très limitées lorsque la taille des projets (nombre de tâches) augmente car le problème devient NP-difficile. C'est pourquoi pour ce type de projets, le recours à des techniques d'optimisation algorithmique telle que la recherche Tabou est privilégié. L'utilisation de ce type d'algorithme permet de minimiser le temps de résolution des problèmes tout en déterminant la meilleure solution possible.

### 5.2.Modèle mathématique

Ce modèle mathématique a pour objectif de calculer le coût total du projet. Nous décrivons ci-dessous les paramètres, variables et la fonction objectif du modèle.

$t_i$  = l'instant que l'activité  $i$  est planifiée pour commencer (depuis le début du projet).

$x_i$  = le nombre d'unités de temps que l'activité  $i$  est accélérée.

Soient les paramètres :

$d_i$  = la durée normale de l'activité  $i$ .

$c_i$  = le coût unitaire pour accélérer l'activité  $i$ .

$u_i$  = le nombre maximum d'unités de temps que l'activité  $i$  peut être accélérée.

$n$  = le nombre d'activités (1 est la première activité et  $n$  est la dernière).

$T$  = la durée normale du chemin critique du projet sans accélération.

$T_m$  = la durée du projet après la  $m$ ème itération, avec  $m = 1, 2, 3, \dots, M$

$T_m = T_a$  la durée optimale atteignable en accélérant le projet.

$P(j)$  = l'ensemble d'activités prédécesseurs immédiats de l'activité  $j$ .

$c_{ki}$  = le coût normal de la ressource  $k$  par unité de temps assignée à l'activité  $i$ .

$a_{ki}$  = le coût de la ressource  $k$  par unité de temps pour accélérer l'activité  $i$  d'une unité de temps.

$K_{ki}$  = le nombre total de ressources  $k$  assignées à l'activité  $i$ .

$N_a$  = le nombre total de tâches pouvant être accélérées.

$$\sum_{k=1}^k c_k * d_i = \text{coût normal pour réaliser l'activité } i$$

$$\sum_{k=1}^k a_k * x_i = \text{coût additionnel pour accélérer l'activité } i \text{ de } x_i \text{ unités de temps.}$$

$$C_{net} = \sum_{k=1}^k c_k * d_i + x_i \sum_{k=1}^k (a_k - c_i)$$

$B$  = budget additionnel disponible pour accélérer le projet.

Fonction objectif :

$$\text{minimiser Catot} = \sum_{t=1}^N x_i \sum_{k=1}^k (a_k - c_i) \quad (1)$$

$$t_j \geq t_i - x_i \quad \forall (i,j) \in P(j) \quad (2)$$

$$t_n \leq T : \text{est l'instant de fin de la dernière activité du projet.} \quad (3)$$

$$T \leq T_{m=1} \leq T_m \quad \text{avec } T_m = T_a \quad (4)$$

$$x_i \leq u_i \quad (5)$$

$$0 \leq x_i \leq u_i \quad (6)$$

$$(7) \quad C \quad \quad \quad \text{TOT} \quad \quad \quad \leq \quad \quad \quad B$$

Avec :

$t_1 = 0$  : est le début de la première activité du projet.

$$t_i \geq 0 \quad \forall i$$

Le problème revient à minimiser la durée totale du projet tout en restant dans les limites du budget additionnel B. Est calculé en utilisant la méthode CPM, c'est-à-dire la durée du  $T_m$

Projet selon le chemin critique. La fonction objective pour minimiser  $T_m$  selon  $T \leq T_m \leq T_{m+1}$  consiste à choisir une activité sur le chemin critique et l'accélérer d'une unité de temps. Une fois que la méthode de calcul de la durée du projet et de son coût définies, notre objectif est de trouver une nouvelle approche pour optimiser la solution du problème de compromis entre le temps de réalisation du projet et son coût avec la finalité de diminuer le temps à moindre coût. C'est cette étape que nous utilisons la méthode Tabou pour déterminer l'option qui présente le moindre coût lorsque le projet est accéléré. Dans la section qui suit, nous présentons l'approche basée sur l'algorithme Tabou.

### 5.3. Combinaison entre l'Algorithme Tabou et le modèle mathématique

L'algorithme Tabou est une méta-heuristique de recherche locale qui explore le voisinage d'une solution au-delà de l'optimum obtenu.

Cette méthode de recherche se déplace de la solution actuelle vers une solution voisine présentant un meilleur objectif à travers un processus itératif. Pour éviter la présence de cycles, l'existence de solutions similaires à celles préalablement examinées, la recherche avec les tabous établit une liste interdite, dite "liste tabou", dans laquelle sont placés mouvements et solutions antérieures obtenus d'itérations antérieures. L'établissement de la "liste tabou" est un principe associé à l'implantation d'une mémoire locale à court terme.

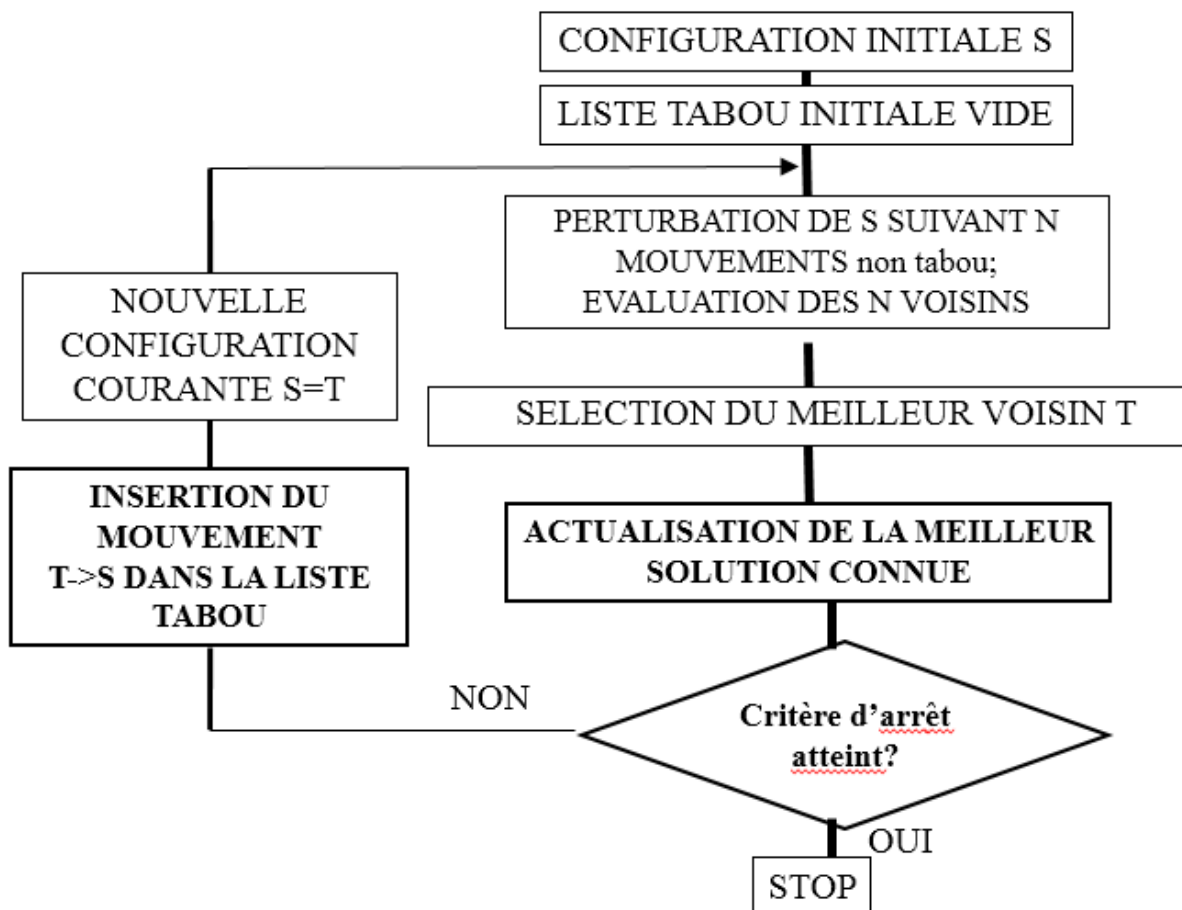


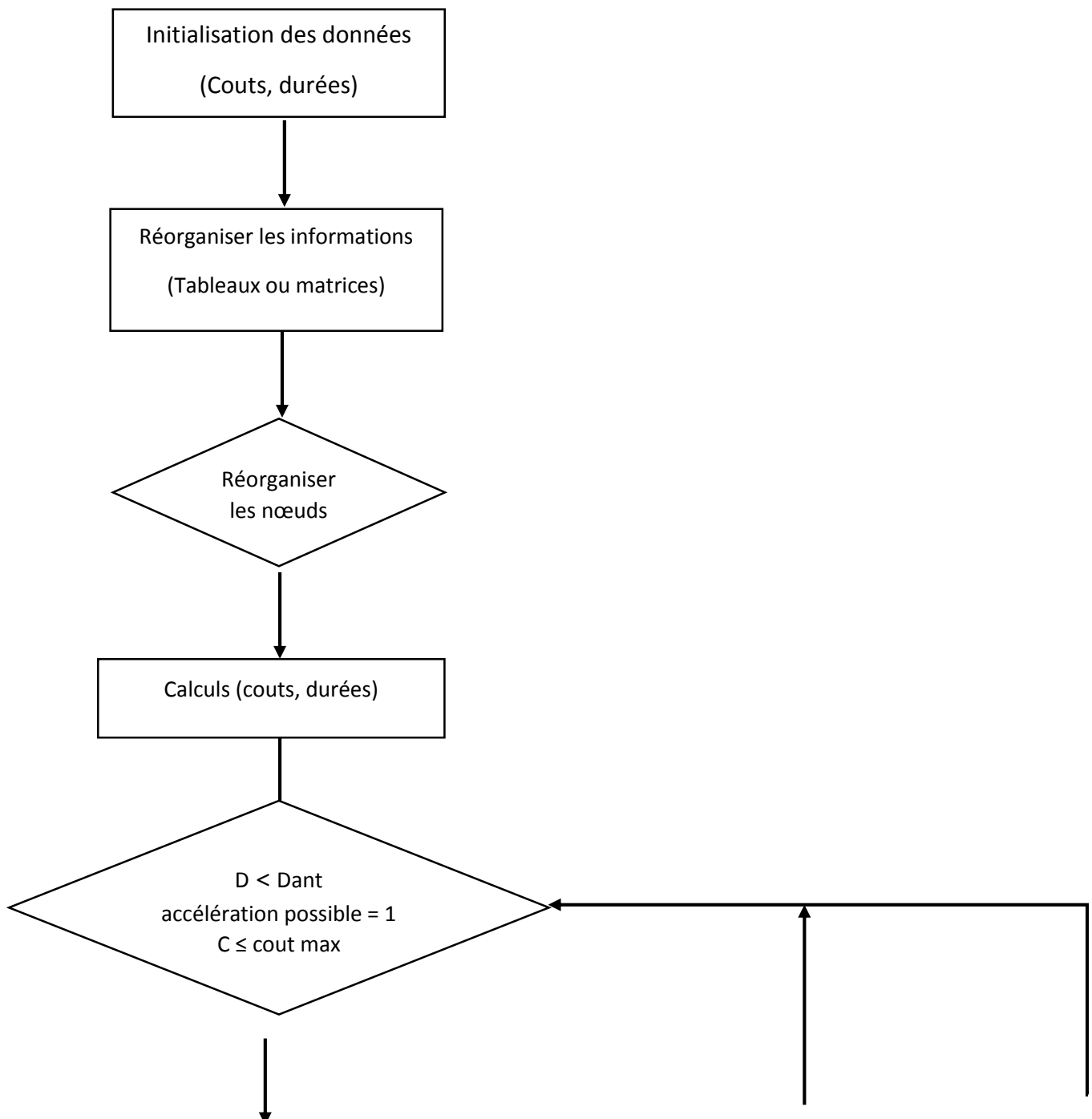
Figure 10.4 : algorithme recherche tabou

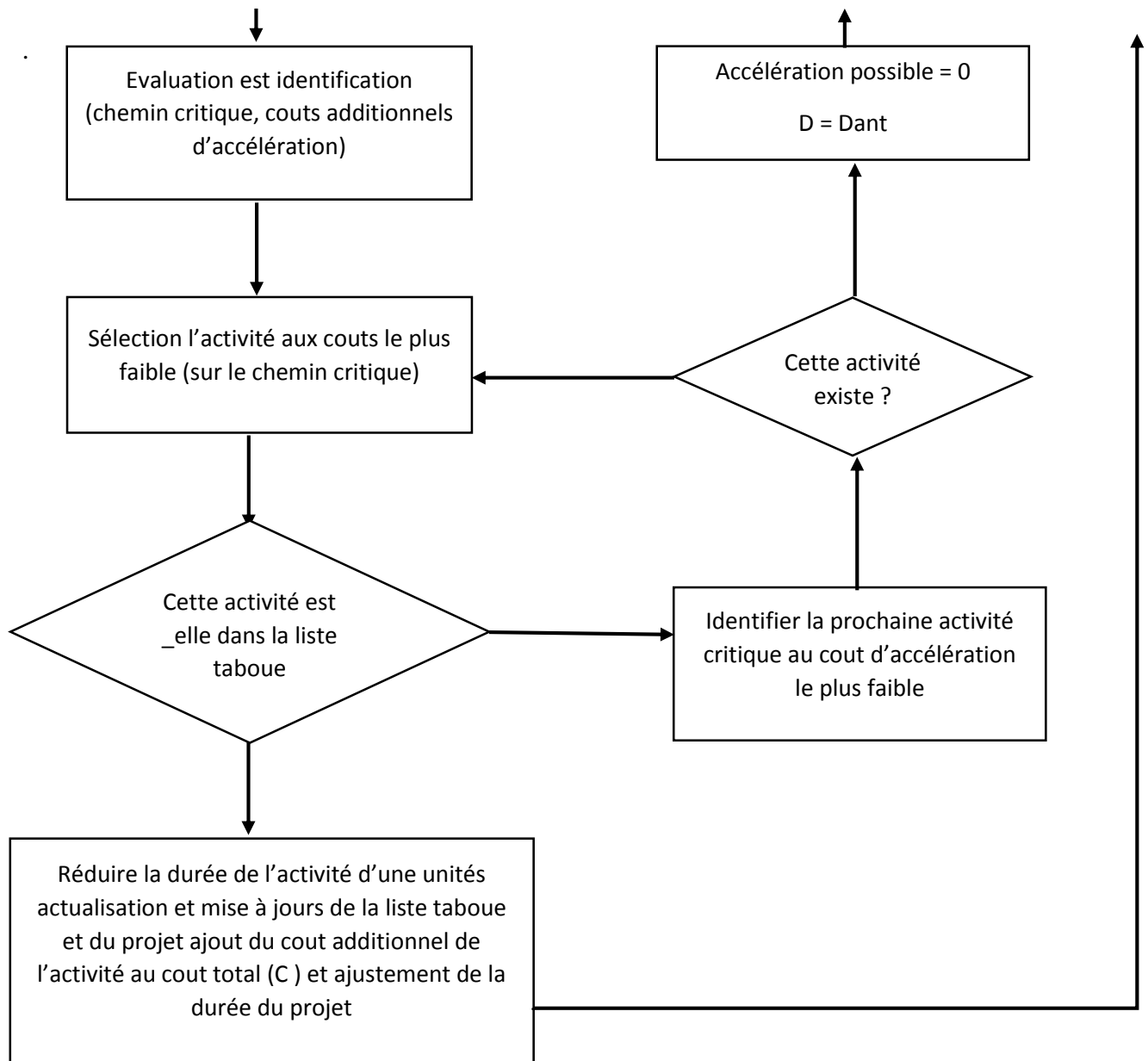
Pour améliorer l'efficacité du processus itératif, l'algorithme tabou maintient un suivi tant sur l'information locale que sur le processus d'exploration de recherche lui-même. Les autres

principes de recherche avec les tabous, à savoir l'aspiration, l'intensification et la diversification sont largement abordés dans des différents travaux.

Dans chaque itération, notre algorithme Tabou explore d'abord tout l'espace de solutions (tout le réseau du projet) et définit la meilleure zone dans laquelle il intensifie ensuite la recherche de l'activité à accélérer. Les résultats (durées, coûts) obtenus après cette intensification permettent d'actualiser l'information du projet tant sur la configuration en réseau que sur le coût total suite à l'accélération de l'activité considérée.

Les conditions d'arrêt sont relatives à l'atteinte d'une valeur de cout de projet selon les disponibilités budgétaires prédéfinies et/ou le manque d'activités pouvant être accélérer dans la zone globale de recherche





**Figure 11.4 : algorithme COMPROMIS DE TYPE DURÉE/COÛT**

Voici la programmation avec le logiciel C++ qui correspond à notre algorithme de minimisation

```

#include<stdio.h> //d'utiliser printf fonction
#include<conio.h> //d'utiliser getch fonction
#include<stdlib.h>
#include<math.h> // d'utiliser rand fonction
#include<time.h>
#define DIM_POP 4
#define PAR_MIN -15.0 // étudier la fonction dans l'intervale [-2^3, 2^3]
  
```



```
#define PAR_MAX 15.0

#define TABU_SIZE 4

#define TABU_TENURE 3 // espace d'occupation

#define STEP_SIZE_MAX 0.1 // le pas

#define RANGE_MAX (1/4)*STEP_SIZE_MAX // le champ

typedef struct
{
    float point[2]; //vecteur cordination
    float fitness;
    int tabu_tenure;
}info;

info tabu_list[TABU_SIZE];

int iter_best=0;          /* best ittération */

info best;               /* best valeur de la fonction dans le voisinage */

int S;                   // générer le voisinage

int itcall=0;           //calcule la fonction objectif

float neighbor[2][DIM_POP];

float z(float x, float y, float z);

void tabu_search(int max_iter, float seed_x, float seed_y, float seed_z, float fseed);

void neighborhood(info curr_best, info curr_neighborhood[DIM_POP]);

void insert_tabu(info p);

float distance(float p_gen[2], float point_tabu[2]);

void best_object_function(info curr_neighborhood[DIM_POP]);

int main()                // fonction principale
{
    int num;               // le pas d'iterations
```

```
int i,j;
float seed_x;
float seed_y;
float seed_w;
float fseed;

printf("\nMinimum of the function z = x*(y -w) ");           // la fonction objectif

enter: printf("\nPlease enter the no. of iterations: ");
scanf("%d",&num);           // enter the no. of iterations in num

if(num<1)           // si la valeur du numéro est incorrect .. enter le numéro
une 2 fois
goto enter;

srand(time(NULL));           //initialiser le générateur

seed_x=(PAR_MAX-PAR_MIN)*(((float)rand())/RAND_MAX)+PAR_MIN;
//printf("\nseed=%f", seed_x);
seed_y=(PAR_MAX-PAR_MIN)*(((float)rand())/RAND_MAX)+PAR_MIN;
fseed=z(seed_x,seed_y,seed_w);

tabu_search(num, seed_x, seed_y,seed_w, fseed);

printf("\nPress any key to end ! ");

getche();           // attendre un caractère à partir du clavier jusqu'à la fin

}           //fin de fonction
```

```
float z(float x, float y, float w) // la fonction y que nous recherchons son minimiser les  
valeursvalue qui prend (x,y,w)
```

```
{  
    float t;  
    t=(x*x)*((y*y)-w) ;  
    return(t);  
} // la fin
```

```
void tabu_search(int max_iter, float seed_x, float seed_y, float seed_w, float fseed)
```

```
{  
    int iter=0; // calcule d'ittération ' */  
    info curr_neighborhood[DIM_POP];  
    for(int i=0;i<TABU_SIZE;i++) //initialisation de la liste tabu  
        tabu_list[i].tabu_tenure=0;  
  
    best.point[0]=seed_x;  
    best.point[1]=seed_y;  
        best.point[0]=seed_w;  
    best.fitness=fseed;  
    printf("\n seed=(%f,%f) with fitness=%f", seed_x, seed_y, seed_w, best.fitness);  
    neighborhood(best, curr_neighborhood);  
    iter++;  
    do{  
        neighborhood(best, curr_neighborhood);  
        for(int k=0;k<TABU_SIZE;k++)  
        {  
            if(iter-tabu_list[k].tabu_tenure>TABU_TENURE)
```

```
        tabu_list[k].tabu_tenure=0;
    }
    best_object_function(curr_neighborhood);
    itcall=itcall+S;
    printf("\n no. iter=%d no. neigh=%d\n", iter, S);
    iter++;
}while(iter<max_iter);
printf("\n best point (x,y,w)=(%f,%f) and best fitness f(x,y,w)=%f ",
        best.point[0], best.point[1], best.fitness);
}

void neighborhood(info curr_best, info curr_neighborhood[DIM_POP]) /* faire un voisinage
de chaque point du quartier de voisinage */
{
    int i;
    int j;
    int k;
    float gen[2];
    int M=0;
    double dist;
    int flag_tabu=0;
    int flag_step=0;
    float step_size=STEP_SIZE_MAX;
    float point_tabu[2];
    int counter=0;
    S=0;
    srand(time(NULL));
    while(S!=DIM_POP && M!=5*DIM_POP ) //la boucle arrête les quartiers lorsque S =
DIM_POP
    {
```

```
switch (counter)
{
    case 0:
        gen[0]=curr_best.point[0]+(step_size*(PAR_MAX-PAR_MIN)); /* générer un
voisinage du point axe dans l'intervalle établi [PAR MAX, PAR MIN]
        if(gen[0]>PAR_MAX)
            gen[0]=PAR_MAX;
        else if(gen[0]<PAR_MIN)
            gen[0]=PAR_MIN;
        gen[1]=curr_best.point[1];
        counter++;
        break;
    case 1:
        gen[0]=curr_best.point[0];
        gen[1]=curr_best.point[1]+(step_size*(PAR_MAX-PAR_MIN)); /* générer un
voisinage du point axe dans l'intervalle établi [PAR MAX, PAR MIN] */
        if(gen[1]>PAR_MAX)
            gen[1]=PAR_MAX;
        else if(gen[1]<PAR_MIN)
            gen[1]=PAR_MIN;
        counter++;
        break;
    case 2:
        gen[0]=curr_best.point[0]-(step_size*(PAR_MAX-PAR_MIN)); /* générer un
voisinage du point axe dans l'intervalle établi [PAR MAX, PAR MIN] */
        if(gen[0]>PAR_MAX)
            gen[0]=PAR_MAX;
        else if(gen[0]<PAR_MIN)
            gen[0]=PAR_MIN;
        gen[1]=curr_best.point[1];
```

```
        counter++;
        break;
    case 3:
        gen[0]=curr_best.point[0];
        gen[1]=curr_best.point[1]-(step_size*(PAR_MAX-PAR_MIN)); /* générer un
voisinage du point axe dans l'intervalle établi [PAR MAX, PAR MIN]*/
        if(gen[1]>PAR_MAX)
            gen[1]=PAR_MAX;
        else if(gen[1]<PAR_MIN)
            gen[1]=PAR_MIN;
        counter++;
    default:
        break;
}

M++;
for(j=0;j<TABU_SIZE;j++)
{
    if(tabu_list[j].tabu_tenure!=0)
    {
        for(k=0;k<2;k++)
            point_tabu[k]=tabu_list[j].point[k];
        dist=distance(gen, point_tabu);
        if(dist<RANGE_MAX)
            flag_tabu++;
    }
}
if(flag_tabu==0)
{
    for(k=0;k<2;k++)
```

```
        neighbor[k][S]=gen[k];
    S++;
}
flag_tabu=0;
}

for(i=0;i<S;i++)
{
    for(k=0;k<2;k++)
        curr_neighborhood[i].point[k]=neighbor[k][i];
    curr_neighborhood[i].fitness=z(curr_neighborhood[i].point[0],
    curr_neighborhood[i].point[1],curr_neighborhood[i].point[2]);
}
best_object_function(curr_neighborhood);

}

void insert_tabu(info p)    //créer la liste tabu
{
    int i=0;
    while(tabu_list[i].tabu_tenure!=0)
        i++;
    for(int k=0;k<2;k++)
        tabu_list[i].point[k]=p.point[k];
    tabu_list[i].fitness=p.fitness;
    tabu_list[i].tabu_tenure=TABU_TENURE;
}

float distance(float p_gen[2], float point_tabu[2])
```

```
{  
    float dist;  
    dist=sqrt(pow(p_gen[0]-point_tabu[0],2)+pow(p_gen[1]-point_tabu[1],2));  
    return (dist);  
}
```

```
void best_object_function(info curr_neighborhood[DIM_POP])  
{  
    for(int i=0;i<S;i++)  
    {  
        if(curr_neighborhood[i].fitness>best.fitness)  
        {  
            insert_tabu(best);  
            best.fitness=curr_neighborhood[i].fitness;  
            for(int k=0;k<2;k++)  
                best.point[k]=curr_neighborhood[i].point[k];  
            iter_best=itcall;  
        }  
        else  
        {  
            insert_tabu(curr_neighborhood[i]);  
        }  
    }  
    printf("\n Current best point=(%f,%f)", best.point[0], best.point[1]);  
}
```



```
D:\PFE M2\recherche tabou.exe
Minimum of the function  $z = x*(y - w)$ 
Please enter the no. of iterations: 12

seed=(6.895504,-8.492233) with fitness=0.000000
Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
no. iter=1 no. neigh=-1056448464

Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
no. iter=2 no. neigh=4

Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
no. iter=3 no. neigh=4

Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
no. iter=4 no. neigh=4

Current best point=(0.000000,-8.492233)
Current best point=(0.000000,-8.492233)
no. iter=5 no. neigh=4

Current best point=(1.500000,-8.492233)
Current best point=(1.500000,-8.492233)
no. iter=6 no. neigh=4

Current best point=(1.500000,-8.492233)
Current best point=(1.500000,-8.492233)
no. iter=7 no. neigh=4

Current best point=(3.000000,-8.492233)
Current best point=(3.000000,-8.492233)
no. iter=8 no. neigh=4

Current best point=(3.000000,-8.492233)
Current best point=(3.000000,-8.492233)
no. iter=9 no. neigh=4

Current best point=(4.500000,-8.492233)
Current best point=(4.500000,-8.492233)
no. iter=10 no. neigh=4

Current best point=(4.500000,-8.492233)
Current best point=(4.500000,-8.492233)
no. iter=11 no. neigh=4

best point (x,y,w)=(4.500000,-8.492233) and best fitness  $f(x,y,w)=483623904.000000$ 
Press any key to end !
```

Figure 12.4 : Solutions optimales du 2<sup>er</sup> programme selon les différents données

Les résultats dans la figure si dessus représente le nouveaux budget du projet après 12 itérations et on a réussi de minimiser la durée de projet jusqu'au 484 million DA.

## Conclusion générale :

Dans un monde de plus en plus concurrentiel, le délai de mise à disposition de nouveaux produits et de services innovants sur le marché devient un élément essentiel de la performance et de la réussite d'une organisation. La maîtrise des délais d'un projet nécessite des savoir-faire en stratégie et en organisation, ainsi que l'adoption de comportements permettant l'anticipation et l'implication des parties prenantes, qui vont bien au-delà de la simple maîtrise des techniques et outils de planification et de pilotage. La mise en place d'un pilotage de projet par les délais, basé sur une planification détaillée et une maîtrise rigoureuse des livrables est une décision stratégique qui relève du chef de projet. Elle est un des éléments clés de la réussite des projets complexes.

Un projet de qualité répond aux besoins Qualité, Coût, Délai : ces mots vous semblent peut être familiers, il s'agit d'un triptyque connu de la gestion de projet. Un projet réussi est un projet réalisé dans le temps imparti, avec le budget prévu et un résultat de qualité. En gros : un projet pas cher, sans bug, livré hier.

La qualité ne concerne pas seulement le livrable final, elle passe également par : les compétences des développeurs, le professionnalisme des différents acteurs (commercial, directeur technique, chef de projet, développeur, ...), la qualité des livrables (spécifications fonctionnelles et techniques, guide d'industrialisation, compte-rendus de réunions, etc.). Bien évidemment, il s'agit également de la qualité du produit / service (site web, logiciel bureautique, application mobile, audit, conseil, ...).

Le coût du projet est estimé en amont, et souvent sans mission de cadrage. C'est là que réside la difficulté : l'estimation est souvent réalisée à partir d'un besoin théorique, et souvent incomplet. Pour autant, cette étape est nécessaire pour que le financeur du projet puisse prendre la décision d'investir ou non. La notion de coût englobe le temps de conception (spécifications fonctionnelles et techniques), de réalisation (développement, recette), le suivi (gestion de projet, suivi des équipes), ainsi que les frais d'exploitation (amortissement du matériel, hébergement).

Le délai est souvent fixé par le sponsor du projet qui a déjà communiqué à la presse la date de lancement de l'application lors d'un grand événement. Parfois, le délai découle du nombre de jours estimé et du nombre d'intervenants sur le projet. Dans le cas où le délai imposé par le client est trop court, il faut réfléchir conjointement à une solution réaliste comme, par exemple, découper le projet en lots afin de pouvoir livrer une première version simplifiée de l'application en respectant les jalons.

Le risque fait partie intégrante de la gestion de projet. Toute nouvelle création génère des incertitudes et des zones d'ombres. Il convient donc de bien maîtriser les menaces potentielles pour atteindre les objectifs fixés. Focus sur des principes clés. Pour cela pour atteindre l'objectif fixé, la planification est une phase indispensable. Sans cela, rien n'est maîtrisé, le chef de projet et son équipe, navigueraient à vue.

En effet, la planification a pour objectif d'organiser le déroulement des étapes du projet dans le temps. Une tâche fondamentale pour la maîtrise des délais.

# Bibliographie

- **Le management de projet**, Afnor gestion, 1997
- **Annales de la certification en gestion de projet**, 1994
- **Estimer le coût d'un projet**, Afnor, 2001
- **Management des projets informatiques**, Afnor, 2e éd., 1995
- **La sociologie des organisations**, 5e éd., Seuil, 1985
- **Gestion des conflits**, Liaisons, 2000
- **La gestion des risques dans les projets**, Economica, 1998
- **Mettre en oeuvre la qualité du management de projet, NF ISO 10 006**, Afnor, 1999
- **Gestion de projets**, Economica, 1991
- **Comment réussir des projets de changement**, Nathan, 1994
- **La stratégie du projet latéral**, Dunod, 2e éd., 1998
- **Sociologie des organisations**, Nathan Université, 2002
- **Gérez un projet gagnant**, Afnor, 2000
- **Gestion d'un projet système d'information**, Dunod, 2e éd., 2000
- **Manager une équipe projet**, Dunod, 1999
- **Le chercheur et le quotidien. Phénoménologie des sciences sociales**, Paris, Méridiens Klincksieck, 1987
- **Économie et société**, Agora, 2000
- **Gestion de projet**, Weka, 1999
- **Coûts et durée des projets informatiques. Pratique des modèles d'estimation**, Hermès, 2003.
- **Estimating Software Costs**, Mc Graw-Hill, 1998.
- **Guide du corpus des connaissances en management de projet**, 3e édition (Guide (PMBOK®), PMI.
- **Project Management, A systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling.**
- **Software Project Management, a unified framework**, Addison Wesley, 1998.
- **Software Project Survival Guide**, Microsoft Press, 1998.
- **Techniques et suivi de projets. Assurer les conditions d'achèvement d'un projet**, Dunod, 2e édition, 2003.
- **Adaptive Software Development. A collaborative approach to managing complex systems**, Dorset House, 2000.
- **Agile Software Development: Principles, Patterns and Practices**, Prentice Hall, 2003.
- **Agile Estimating and Planning**, Prentice Hall, 2004.
- **Agile & Iterative Development. A managers' guide**, Addison Wesley, 2003.
- **Agile Software Development With Scrum**, Prentice Hall/Series in agile software development, 2001.
- **Agile Project Management with Scrum**, Microsoft Professional, 2004.

- **Alistair Cockburn, Crystal Clear, a Human-Powered Methodology for Small Teams,**
- Addison Wesley, 2004.
- The DSDM consortium, **DSDM, Business focused development, 2nd édition,** Addison Wesley, 2003.
- **Estimation et architecture des développements Agiles,** Hermès, 2005.
- **Extreme Programming Explained: Embrace change,** Addison Wesley, 1999.
- **Gestion de project, extreme Programming, Eyrolles,** 2002.
- **Lean Software Development. An agile toolkit,** Addison Wesley, 2003.
- **Le Processus unifié de développement logiciel,** Eyrolles, 2003.
- **Rédiger des cas d'utilisation efficaces,** Eyrolles, 2001.
- **The Rational Unified Process, an introduction,** Addison Wesley/O.T. series, 1998.
- **The Unified Software Development Process,** Addison Wesley/O.T. series, 1999.
- **Taming wild software schedules,** Microsoft Press, 1996.
- Steve McConnell, **Software Estimation: Demystifying the Black Art,** Microsoft Press,
- **Collaboration Explained, Facilitation Skills for Software Project Leaders,** Addison Wesley, 2006.
- Jérôme Barrant, **Le Manager agile. Vers un nouveau management pour affronter la turbulence,** Dunod, 2006.
- **L'Entreprise multiculturelle,** Éditions Maxima, 1993.
- **The Wisdom of Crowds: Why the Many Are Smarter Than the Few and how Collective Wisdom Shapes Business, Economies, Societies and Nations** Doubleday, 2004.
- **The Wisdom of Teams: Creating the high-performance organization,** Harpercollins, 1993.
- Tom De Marco & Timothy Lister, **Pepoleware : Productive Projects and Teams,** Dorset.
- **Piloter un projet d'organisation ,** Maders, H.-P., 2008.**Contrôle interne des risques ,** Maders, H.-P., Masselin, J.-L., 2006, 2 e édition.
- **Pratiquer la conduite de projet,** Maders, H.-P., Clet, E., 2005, 2 e édition.
- **Comment manager un projet,** 2005, 2 e édition.**Manager une équipe projet,** Maders, H.-P., 2003, 3 e édition.
- **Conduire un projet d'organisation,** Maders, H.-P., Gauthier E., Le Gallais, C., 2002 (épuisé), 3 e édition.
- **Conduire un projet dans le tertiaire,** Maders, H.-P., Lemaître, P., 2000 (épuisé), 2 e édition.
- **Le management d'un projet,** Maders, H.-P., Clet, E., 1998 (épuisé), 4 e édition. Assistant : **organiser, gérer, faciliter,** Maders, H.-P., Garcia, C., 1995 (épuisé), (livre du maître avec disquette et livre de l'élève).
- **Audit opérationnel dans les banques,** Maders, H.-P., 1994 (épuisé).**Améliorer l'organisation administrative, 100 fiches outils,** Lemaître, P., Maders, H.-P., 1994 (épuisé), 2 e édition.

- **L'organisation de l'unité de travail**, Maders, H.-P., Boix, D., 1992 (épuisé). **L'efficacité du tertiaire par l'analyse de la valeur des processus, 103 fiches outils**, Lemaître, P., Maders, H.-P., 1991 (épuisé)
- **Psychologie de la communication théories et méthodes**, Armand Colin, 2003.
- **Indicateurs et tableaux de bord**, AFNOR, 2003. – A ÌM (R.), **Pilotage des grands projets. Risques et Enjeux, mémentos « À savoir »**, AFNOR, 2003.
- **Dictionnaire des sciences économiques**, Armand Colin, 2002.
- **Psychologie des conduites à projet**, Éditions PUF, collection « Que sais-je ? ».
- **Gestion de projet en action**, Village Mondial, 2000.
- **Gestion des grands projets**, Cépadués Éditions, 1986.
- **Dictionnaire de la qualité**, AFNOR, 2003.
- **Le management de projet**, Repère, 2003.
- **L'encyclopédie de l'art**, éditions de la Martinière, 1997. – G IRARD (V.), **Gestion de projet**, Économica, 1991.
- **Des réunions plus efficaces**, 3 e édition, Chroniques sociales, 2002.
- **La conduite des réunions les fondamentaux du travail en groupe**, ESF Éditeur, 2000.
- **Concevoir le tableau de bord**, Dunod, 2002.
- **Concevoir le tableau de bord**, Dunod, 2002.
- **Les cahiers français Management et organisation des entreprises n° 287**, 1998. – **Lexique d'économie**, 7 e édition, Dalloz, 2002.
- **Lexique de gestion**, Dalloz, 5 e édition.
- **le management de projets, principes et pratique**, AFITEP Paris
- Archibald, R.D. (2003),
- **Managing high-technology programs and projects**, John Wily end Sons
- Basteson G. (1980).
- **Vers une Ecologie de l'esprit**, tomes 1 et 2, éditions de seuil Cauvin P. Cailoux G (1995)
- **les types de personnalités**, Editeurs ESF

## **Résumé :**

Le management de projet permet de répondre aux exigences de compétitivité des entreprises, et de s'adapter aux évolutions du marché, dans un environnement de plus en plus complexe et incertain. Pour cela, on doit respecter un certain nombre de modèles théoriques et de méthodes d'organisation qui exigent des outils communs : outils normalisés de planification, de contrôle et d'ordonnancement, outils de management et d'optimisation, afin de minimiser les coûts, réduire les délais et améliorer la qualité de projets.

L'objectif de ce travail est d'organiser le déroulement des étapes d'un projet dans le temps où on assure la réalisation des différentes tâches fondamentales du projet avec tout en respectant des contraintes et en maîtrisant les délais et les coûts de réalisations.

**Mots clés :** management, planification, ordonnancement, optimisation, coûts & délais.

## **Abstract :**

The project management can meet the requirements of business competitiveness, and adapt to market changes in an environment increasingly complex and uncertain. For this, we must comply with a number of theoretical models and organizational methods that require common tools: standardized tools for planning, control and scheduling, management and optimization tools, to minimize costs, reduce delays and improve project quality.

The objective of this work consist to organize the sequence steps of a project in time when we ensure the implementation of different fundamental tasks of the project with respect of constraints where we control the time of accomplishments and costs.

**Key Words:** management, planning, scheduling, optimization, costs & deadlines.